

OBSERVATORIO UAM-VÍA CÉLERE  
para la Sostenibilidad  
Ambiental de la  
Edificación Residencial

INFORME:

**ESTIMACIÓN  
DE LA HUELLA HÍDRICA  
DE UNA PROMOCIÓN  
RESIDENCIAL**





# ÍNDICE

---

Resumen ejecutivo.	7
<b>1. Presentación.</b>	<b>9</b>
1.1. Objetivos y planteamiento inicial.	9
1.2. El proyecto de huella hídrica.	11
<b>2. Metodología de cálculo de la huella hídrica.</b>	<b>13</b>
2.1. Huella hídrica, agua virtual, exógena y tipos de agua.	13
2.2. Metodologías de cálculo.	16
2.2.1. La huella hídrica de productos del sector primario.	17
2.2.2. La huella hídrica de un producto: sector industrial.	18
2.2.3. La contabilización de la huella hídrica nacional.	19
2.2.4. La huella hídrica de un sector o empresa.	20
2.2.5. Evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica.	20
<b>3. El agua en España.</b>	<b>22</b>
3.1. Evolución del consumo.	23
3.2. Comparativa internacional.	25
3.3. Detalle por ramas de actividad.	26
<b>4. Huella hídrica de las promociones.</b>	<b>29</b>
4.1. Datos generales de la promoción de Villaverde.	30
4.2. Estimación por el enfoque de valor.	32
4.3. Estimación por el enfoque de peso.	38
<b>5. Consideraciones finales.</b>	<b>44</b>
Referencias bibliográficas.	46

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

---

Gráfico 1. Esquema de cálculo aplicado.	12
Gráfico 2. Los distintos componentes de la huella hídrica.	15
Gráfico 3. Árbol de productos del girasol.	18
Gráfico 4. Cálculo de la huella hídrica de los productos secundarios derivados de un sistema productivo.	18
Gráfico 5. Sistema de contabilidad de la huella hídrica nacional.	19
Gráfico 6. Descripción general de los principales flujos de agua.	22
Gráfico 7. Flujos de agua en España en 2010.	23
Gráfico 8. Agua potable distribuida.	24
Gráfico 9. Consumos relativos de agua potable.	24
Gráfico 10. Consumo de agua en el sector productivo en 2010.	25
Gráfico 11. Consumo de agua en los hogares en 2010.	25
Gráfico 12. Coeficientes de uso de agua azul en las actividades productivas.	27
Gráfico 13. Enfoques alternativos de cálculo de la huella hídrica de las promociones residenciales.	29
Gráfico 14. Estimación del consumo total de agua por el enfoque de valor.	37
Gráfico 15. Huella hídrica azul de diversos materiales de construcción.	40
Gráfico 16. Huella hídrica gris de diversos materiales de construcción.	40
Gráfico 17. Distribución de la huella hídrica total.	42

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Los tres niveles de resolución de la huella hídrica.	16
Tabla 2. Adquisiciones de bienes y servicios por ramas de actividad.	30
Tabla 3. Principales flujos físicos de materiales.	31
Tabla 4. Estimación de los consumos de agua incorporados.	33
Tabla 5. Estimación de la producción indirecta.	34
Tabla 6. Consumo indirecto de agua.	36
Tabla 7. Materiales seleccionados. Peso y porcentaje sobre el total.	39
Tabla 8. Cálculo de la huella hídrica de la madera utilizada en la promoción Villaverde.	41
Tabla 9. Cálculo de la huella hídrica de la promoción inmobiliaria de Villaverde.	43



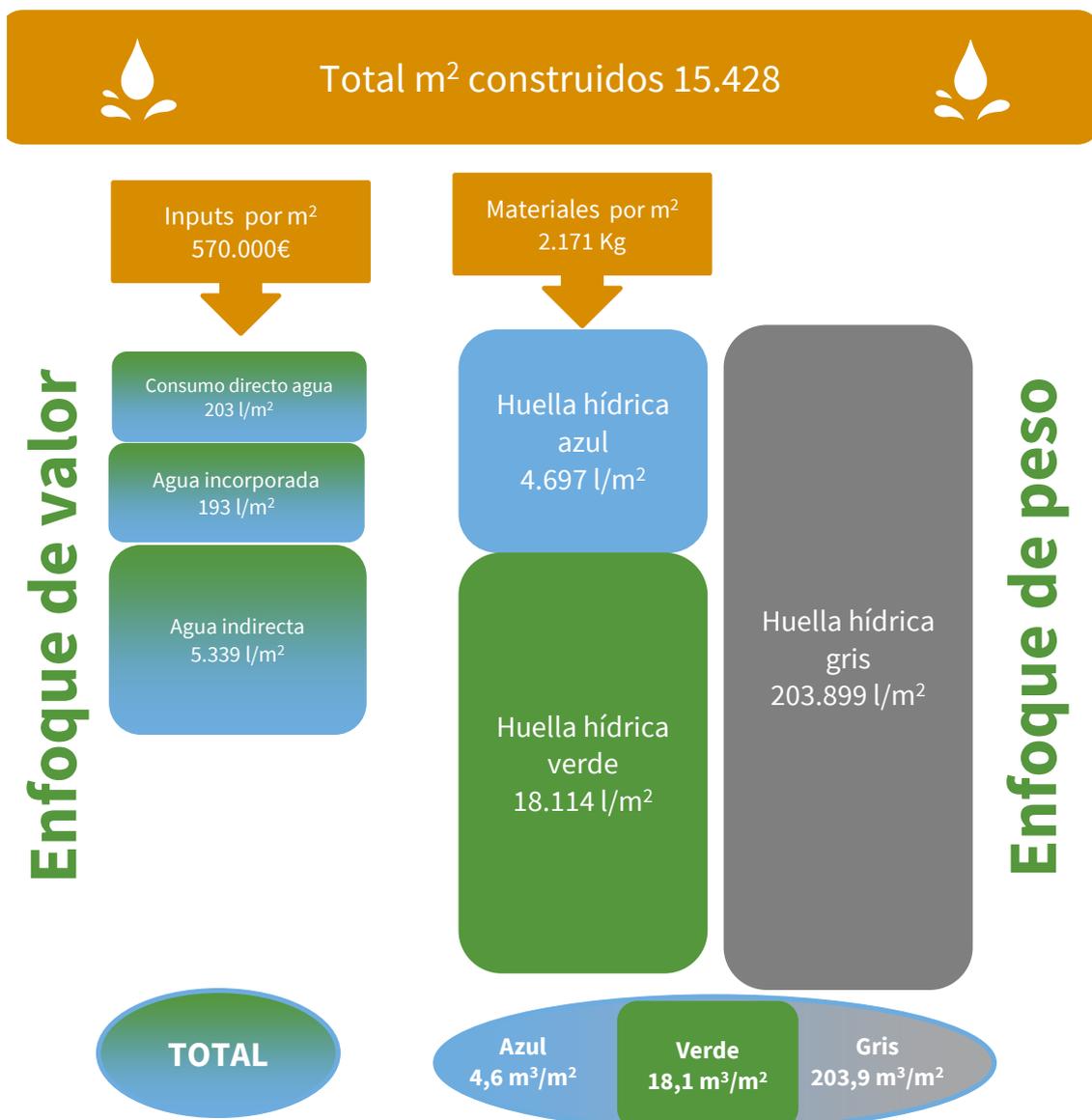
## RESUMEN EJECUTIVO.

- El presente estudio es, hasta donde se ha podido constatar, **el primer estudio específico** de la huella hídrica (HH) vinculada a la etapa de construcción de las promociones residenciales en nuestro país, y que esperamos que se convierta en la referencia de partida para la profundización en el análisis de los impactos medioambientales de esta actividad.
- El objetivo establecido inicialmente contemplaba la doble perspectiva de identificar y analizar las principales **propuestas metodológicas** recogidas en la literatura especializada e ilustrar las posibilidades y limitaciones de cada una de ellas mediante la **aplicación práctica** a una promoción concreta desarrollada por Vía Célere, y que sirviera como **referencia extrapolable** a otras edificaciones similares.
- En términos metodológicos existe un amplio consenso a la hora de identificar, al menos, tres tipos de **HH: la azul** que se corresponde con el agua distribuida por cañerías e incorporada en los procesos productivos, la **HH verde**, definida como el agua procedente de la precipitación y que es evaporada de forma directa durante el proceso productivo, y la **HH gris**, que hace referencia a la contaminación que se genera sobre los recursos hídricos a lo largo de un proceso productivo y que se determina como el volumen total de agua necesario para asimilar la concentración de contaminantes vertidos al medio receptor.
- Para la estimación de la HH de la promoción seleccionada como referencia se han desarrollado **dos aproximaciones alternativas**, denominadas, respectivamente, **enfoque de valor y enfoque de peso**, habiéndose recopilado de forma detallada la información necesaria para cada uno de ellos a partir del análisis de más de 5.900 albaranes de compra y unas 3.500 facturas de proveedores.
- Bajo el **enfoque de valor** se trataría de **identificar la cadena de valor** generada en la economía a partir de los flujos económicos **de adquisición de bienes y servicios** originados en las promociones inmobiliarias -tanto de forma **directa, como indirecta-**, estimada mediante metodologías de tipo Input-Output, y aplicar a estos flujos económicos los diferentes **ratios de consumo de agua por unidad producida**. Con esta finalidad se han analizado con detalle todas las adquisiciones de bienes y servicios a los diferentes proveedores diferenciados por tipología de actividad en función de la clasificación CNAE a dos dígitos.
- En el **enfoque de peso**, al combinar las metodologías de la Evaluación del Ciclo de Vida de los Productos y la Evaluación de la HH (también conocidas como LCA y WFA por sus siglas en inglés) se trataría de determinar **el volumen total de agua que incorporan los diferentes materiales** utilizados en el proceso de construcción a lo largo de todo su proceso productivo. En esta ocasión ha sido necesario realizar un análisis minucioso de los diferentes materiales incorporados en el proceso de construcción, hasta identificar un total de 32 materiales principales, con un peso total de más de 33.500 Tn, y de los que, finalmente, se calculó de forma directa la HH de los 11 materiales con mayor aportación en términos de peso (que representan el 99,38% del total), y a los que se aplicaron los **valores unitarios de HH por unidad de peso** identificados en la literatura especializada.
- El **consumo total de agua** de la promoción analizada estimado mediante la aproximación de **valor** ascendería a unos **88.500 m<sup>3</sup>**, de los que el 93,1% serían consumos indirectos, otro 3,4% serían consumos incorporados por los proveedores de bienes y servicios y el 3,5% restante, consumo directo en la obra, lo que supondría en torno a los **5,7 m<sup>3</sup> de agua por cada metro cuadrado** construido.
- Por su parte, la aproximación de **peso** nos ofrecería una HH **azul** de unos **72.465 m<sup>3</sup>**, una huella **verde** de **279.475 m<sup>3</sup>** y una huella **gris** teórica, si no se utilizaran sistemas de depuración, de **3.145.925 m<sup>3</sup>**, lo que supondría respectivamente **4,6; 18,1 y 203,9 m<sup>3</sup>** por cada metro cuadrado construido, tal como se ilustra en la imagen que presentamos a continuación.
- Asumiendo que la promoción analizada podría considerarse como un **estándar medio** de las actuales edificaciones residenciales, los datos obtenidos en el presente estudio podrían servir de referencia, por elevación, para estimar la

**HH global de una promotora como Vía Célere**, o incluso como una aproximación al impacto global de la **actividad de construcción residencial** en nuestro país.

Bajo las premisas asumidas en este estudio, se puede decir, por lo tanto, que la HH azul de una promoción inmobiliaria tipo asciende a  $4,6 \text{ m}^3/\text{m}^2$  -  $5,7 \text{ m}^3/\text{m}^2$ .

- Durante la realización de este trabajo se ha podido constatar la **elevada sensibilidad** que tendrían estos cálculos de HH frente a la **tipología de materiales utilizados**, especialmente en la denominada huella verde y en la gris, donde la madera o el acero presentan una elevada incidencia.
- Este primer trabajo abre toda una nueva línea de investigación de especial interés en el análisis de la **innovación medioambiental en la edificación** y que haría necesaria una **valoración conjunta** de las diferentes **externalidades ambientales** que, en algunas ocasiones, podrían generar **efectos contrapuestos** y donde reducciones en la HH podrían generar aumentos de las emisiones de gases de efecto invernadero, o viceversa.



# 1. PRESENTACIÓN.

La **Universidad Autónoma de Madrid** tradicionalmente ha mostrado un especial interés y compromiso con la sostenibilidad ambiental, tal como lo demuestra la creación en 1997 del Proyecto ECOCAMPUS estructurado en torno a dos grandes líneas de actuación: la mejora de la situación ambiental de los diferentes campus y equipamientos de la UAM, y la sensibilización de la comunidad universitaria para impulsar la participación e intervención en el debate y la búsqueda de soluciones a los conflictos ambientales globales y locales.

Es precisamente dentro de esta segunda línea de actuación, que recoge explícitamente el objetivo de fomentar la investigación en sostenibilidad, donde se enmarca el **Observatorio UAM - Vía Célere para la Sostenibilidad Ambiental de la edificación residencial**.

Vía Célere es una compañía inmobiliaria especializada en el desarrollo, inversión y gestión de activos residenciales, que desde su inicio ha apostado claramente por un innovador modelo de negocio que le ha convertido en una de las empresas de referencia en el nuevo entorno y ciclo inmobiliario. La sostenibilidad ambiental es uno de los focos fundamentales de su estrategia de responsabilidad social y su compromiso con un modelo de edificación que contribuya a crear ciudades y entornos urbanos más sostenibles, en línea con la Nueva Agenda Urbana y los ODS.

Esta confluencia de intereses entre ambas instituciones justificó, plenamente, la creación del presente Observatorio que se gestionaría desde la **Fundación de la Universidad Autónoma de Madrid (FUAM)**, creada el año 1991 con la misión fundamental de servir de puente entre la Universidad Autónoma de Madrid y la sociedad, y que, adicionalmente, recoge también entre sus valores fundamentales la sostenibilidad y la solidaridad.

Con el fin de poner en marcha el funcionamiento efectivo del Observatorio, la FUAM solicitó la colaboración del **Instituto Universitario de Predicción Económica “L.R.Klein”**, que acumula una trayectoria de más de 35 años de experiencia en la realización de todo tipo de análisis cuantitativos, y que le convierten en un candidato idóneo para la realización de estudios específicos del impacto ambiental de las actividades de construcción residencial.

## 1.1. Objetivos y planteamiento inicial.

El objetivo básico del Observatorio UAM-Vía Célere es la creación de un entorno continuado de análisis y reflexión multidisciplinar sobre las implicaciones de la actividad de construcción residencial sobre la sostenibilidad medioambiental, con la finalidad última de generar conocimiento para la sociedad y contribuir a mejorar la sostenibilidad medioambiental del sector.

Este objetivo general se concretaría en un conjunto, inicialmente abierto, de actividades específicas entre las que se encontrarían las siguientes:

- Fomentar el desarrollo de proyectos específicos de investigación centrados en el análisis y la prospectiva del impacto ambiental de las actividades de construcción.
- Promover la creación de foros de debate que contribuyan a la acumulación y difusión del conocimiento sobre las implicaciones ambientales de la construcción residencial.
- Contribuir a la sensibilización social, tanto de los usuarios finales, como de los empresarios de la actividad inmobiliaria, con los objetivos genéricos de la sostenibilidad ambiental.

Para la puesta en marcha efectiva de las actividades del Observatorio, el Instituto “L.R.Klein” ha desarrollado un proyecto específico de investigación centrado en el análisis y cuantificación de la denominada “huella ambiental” de los proyectos típicos de promoción inmobiliaria ejecutados por Vía Célere.

El análisis y la cuantificación de la huella ambiental de las diferentes actividades sociales y económicas es un tema de interés creciente en la investigación desarrollada por distintos organismos públicos y privados, tanto en el ámbito profesional, como académico, tal como lo demuestran la multitud de trabajos aplicados y proyectos académicos que, desde diferentes disciplinas, son publicados regularmente en los diferentes medios, tanto generales, como especializados.

De forma específica, las actividades de construcción residencial han sido objeto de multitud de análisis encaminados a la cuantificación de la huella ambiental general, tanto durante los procesos de construcción, como durante la fase de uso y vida útil de los inmuebles residenciales.

Generalmente, estos estudios abordan diferentes dimensiones tales como el consumo de recursos naturales, las emisiones de contaminantes, la generación de residuos o las externalidades paisajísticas.

Una primera revisión general de la bibliografía especializada, tanto a nivel nacional, como internacional, nos aporta algunas líneas generales que nos permiten focalizar el objetivo del presente proyecto y que podemos concretar en los siguientes puntos:

**- Los diferentes estudios pueden abordarse desde una perspectiva agregada o macroeconómica, o desde una óptica específica o microeconómica.**

En el primer caso, el objetivo básico consistiría en la estimación de los impactos totales generados por la actividad constructora en un determinado ámbito geográfico (país, región, etc.), utilizando, para ello, datos generales de actividad inmobiliaria, junto con información de los recursos naturales, emisiones, residuos, etc., tratando de identificar la proporción de dichos impactos ambientales vinculados de dicha actividad.

Por su parte, los estudios microeconómicos parten del análisis de la información detallada de unas construcciones tipo sobre las que se intenta cuantificar, mediante coeficientes específicos, las necesidades de consumo de recursos naturales, energéticos, emisiones, generación de residuos, etc.

De esta forma, bajo el primer enfoque se determinarían los impactos ambientales con una perspectiva de desagregación o “Top-Down”, distribuyendo los impactos totales por la tipología de construcciones realizada; mientras que, con el segundo enfoque, se determinarían estos impactos por elevación de los resultados específicos establecidos para cada tipología “Bottom-Up”.

**- Aunque los diferentes estudios contemplan una visión global del impacto ambiental, mayoritariamente se centran en un aspecto concreto.**

La mayoría de los estudios analizados se focalizan en una línea concreta de impacto ambiental, consumo de agua, consumos energéticos, emisiones, generación de residuos, etc.

En esta misma línea, los diversos estudios se centran, o bien en el proceso de construcción, o bien en el periodo de uso de los inmuebles residenciales.

Adicionalmente, esta primera revisión de la literatura, tanto nacional como internacional, parece señalar que es más profusa la investigación realizada sobre el impacto ambiental del uso de las edificaciones residenciales, que sobre el proceso de construcción de los mismos; mientras que, en la misma línea, son proporcionalmente más elevados los análisis centrados en consumos energéticos y emisiones que los dedicados al consumo de recursos naturales en general y del agua en particular.

**- Los análisis del impacto ambiental deben considerar, no sólo los efectos directos, sino los efectos indirectos vinculados a las cadenas productivas.**

Nuevamente, la revisión bibliográfica realizada nos alerta de la necesidad de considerar, no sólo los efectos directos generados por la actividad de construcción; es decir, el uso directo de recursos productivos, sino los recursos utilizados por proveedores de los diferentes inputs productivos incorporados al proceso.

En este punto, nos encontramos también con dos enfoques diferentes a la hora de considerar estos efectos “indirectos”. Así, algunos estudios mantienen un enfoque desagregado, identificando los consumos específicos realizados por los proveedores tipo de los diferentes inputs productivos incorporados en cada una de las construcciones analizadas; mientras que otros optan por un enfoque más general donde se identifican las cadenas productivas globales, recogidas en las Tablas Input-Output y se aplican coeficientes genéricos para las diferentes ramas de actividad implicadas.

Esta revisión inicial de la literatura previa disponible nos ayudó a concertar los objetivos de este primer trabajo del Observatorio UAM-Vía Célere, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- **La necesidad de disponer de unos resultados tangibles en un plazo relativamente corto** nos llevó a focalizar el análisis en un aspecto concreto de los impactos ambientales de la actividad de construcción, siguiendo una práctica bastante extendida en los trabajos revisados, y sin perjuicio de que pueda realizarse un planteamiento introductorio más amplio y que presente las diferentes fuentes de impacto ambiental.

- Teniendo en cuenta los intereses expresados por Vía Célere, junto con los escasos trabajos localizados hasta el momento centrados en el impacto hídrico, consideramos que el **centrar el análisis en el consumo de agua** era la alternativa más interesante, tanto desde el punto de vista metodológico, como aplicado.

- La posibilidad de acceder a la información directa de las promociones de Vía Célere nos ofrece una oportunidad única de realizar una **aplicación de tipo micro-económica o desagregada**, en línea con una buena parte de los trabajos previos analizados, y de la que puede derivarse una metodología tipo extrapolable a otras promociones.

- Los resultados obtenidos por diversos trabajos previos señalan que los mayores impactos hídricos se registran a través del consumo de agua incorporado en los procesos productivos de los diferentes materiales de construcción empleados, por lo que se hace necesaria la **consideración explícita de los procesos productivos y la incorporación de todos los efectos indirectos**.

Partiendo de estas consideraciones globales y teniendo en cuenta tanto la disponibilidad de información específica de las promociones ejecutadas por Vía Célere, así como la experiencia acumulada por el equipo de investigación del Instituto "L.R.Klein", se decidió, finalmente, plantear un primer estudio de la HH de alguna de las promociones tipo ejecutadas por Vía Célere, con las características que se describen a continuación.

## 1.2. El proyecto de huella hídrica.

---

El objetivo básico del proyecto desarrollado consiste en la cuantificación del consumo total de agua derivado de un proyecto típico de promoción inmobiliaria de Vía Célere, en este caso el desarrollado entre los años 2017 y 2018 en Villaverde (Madrid).

Este objetivo general se concretó en las siguientes fases de ejecución.

**Fase 1.** Contextualización de la investigación y revisión de la literatura identificando alternativas metodológicas, necesidades y fuentes de información, así como posibles estudios similares que permitan el establecimiento de análisis comparativos.

**Fase 2.** Creación de la base de datos con las características básicas de la promoción analizada como los flujos básicos de materiales y factores productivos incorporados.

**Fase 3.** Localización y procesamiento de los datos indirectos de consumos de agua por unidad producida para los diferentes inputs incorporados en el proceso de construcción.

**Fase 4.** Elaboración del modelo específico de cálculo del consumo, directo e indirecto, de agua vinculado con las promociones analizadas.

**Fase 5.** Análisis de los resultados obtenidos y elaboración del informe final.

De acuerdo con este planteamiento se realizaron las siguientes acciones específicas:

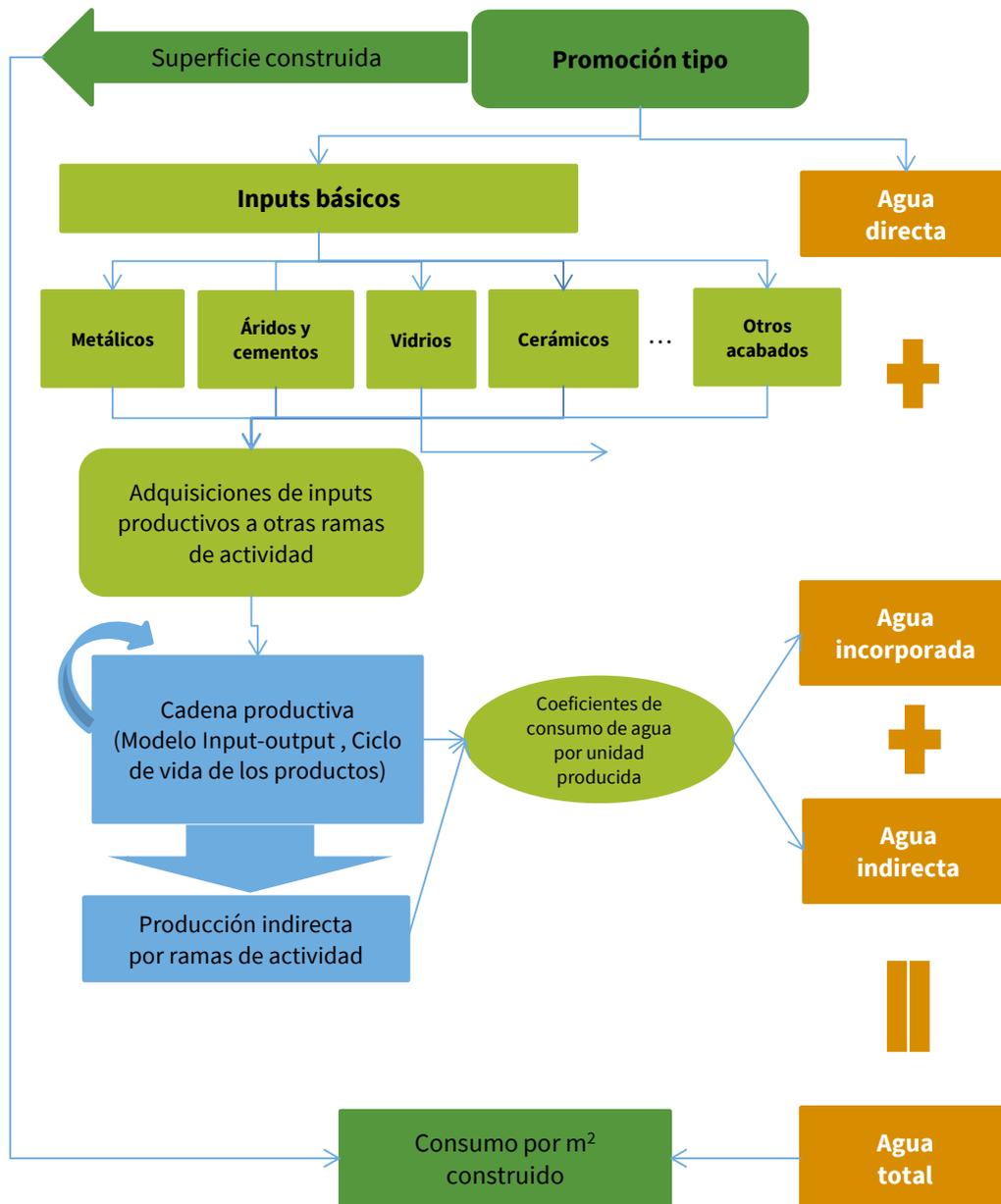
**1.** Cuantificación de los consumos directos medios, tanto de agua, como de otros materiales, de las promociones tipo ejecutadas por Vía Célere y expresados, tanto en unidades físicas, como en valor económico.

**2.** Determinación de los consumos de agua incorporada e indirecta mediante dos planteamientos alternativos: cadenas productivas de valor y ciclo de vida de los productos.

3. Consolidación de los consumos totales de agua (directos, incorporados e indirectos) y relativización de los mismos en función de la superficie construida.

De forma esquemática, el proceso metodológico propuesto quedaría reflejado en la figura que aparece a continuación.

Gráfico 1. Esquema de cálculo aplicado.



Fuente: Elaboración propia.

## 2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA.

El agua es vida. Es un elemento fundamental para la supervivencia y la dignidad humanas y la base de la resiliencia de las sociedades y del medio ambiente. A diferencia de otros recursos naturales, el agua no tiene sustituto: el único sustituto del agua es el agua.

El agua potable es escasa: alrededor de dos mil millones de personas aún carecen de un acceso seguro al agua potable. La mayoría de ellos viven en regiones del mundo frágiles, a menudo violentas, donde el agua es una cuestión de vida o muerte. La falta de recursos hídricos se considera cada vez más como un problema fundamentalmente político y de seguridad, y ya no es simplemente un problema de desarrollo humano y sostenibilidad ambiental. A mediados de este siglo, cerca de cuatro mil millones de personas -alrededor del 40 por ciento de la población mundial- vivirán en cuencas con estrés hídrico. Este número será probablemente mayor cuando los efectos proyectados del cambio climático conduzcan a menores rendimientos de los cultivos, unidos a los efectos de las sequías, inundaciones y otros fenómenos meteorológicos extremos.

Sin embargo, frente a todos estos problemas, la humanidad tiene que encontrar la forma para producir un 50 por ciento más de alimentos en los próximos 25 años, así como de duplicar la producción de energía. Estas actividades requerirán recursos hídricos masivos, tanto para satisfacer las necesidades de la población en crecimiento como para mantener las condiciones ambientales críticas para el funcionamiento de los sistemas de soporte vital. Como consecuencia, para esas fechas diversos autores prevén que cerca de la mitad de la población mundial residirá en áreas con un estrés de agua severo y con un grado de contaminación de los recursos hídricos elevado, como consecuencia de los problemas de eutrofización derivados de la pérdida de nutrientes (OECD, 2012; Seitzinger et al., 2010).

La escasez de agua agrega una enorme presión a la competencia existente entre los diferentes usos del agua, incluidos el consumo humano, la producción de alimentos y el riego, la minería y la manufactura, la producción de energía y los servicios ambientales. Esto inevitablemente lleva a tensiones.

El agua dulce representa solo el 2,53 % del agua total del mundo. Más de dos tercios de esta agua (68,7 %) está congelada en capas polares, capas de hielo continental, permafrost y glaciares de montaña. El agua dulce líquida se encuentra principalmente bajo tierra (más del 90 %). El agua superficial en ríos y lagos (0,26 %) y el agua atmosférica (0,04 %) representan solo un pequeño volumen de agua dulce total.

La disponibilidad global de agua dulce es de aproximadamente 5.500 m<sup>3</sup> por persona por año. Esto representa una disminución del 37 % desde 1970 y el número se está reduciendo aún más. Si bien el tamaño de la población mundial se ha triplicado en el último siglo, la extracción de agua se ha incrementado en un factor de seis.

El agua dulce también se distribuye de forma desigual en todo el mundo. Nueve países (Brasil, Rusia, Estados Unidos, Canadá, China, Indonesia, India, Colombia y Perú) acumulan el 60 % de las reservas de agua del mundo. Este es solo un aspecto de la distribución desigual del agua. Asia representa el 61 % de la población mundial, pero tiene solo el 36 % de los recursos hídricos disponibles, mientras que América Latina, con el 6 % de la población mundial, acumula el 26 %. Oriente Medio y el Norte de África son los más expuestos a los peligros que resultan de la escasez de agua.

### 2.1. Huella hídrica, agua virtual, exógena y tipos de agua.

El concepto de Agua Virtual (AV) fue inicialmente utilizado por Allan (Allan, 1997. 2011) con el objeto de evaluar los flujos de agua asociados con la importación de productos agroalimentarios. Es un término relacionado con el comercio internacional que permite estimar el concepto de “ahorro de agua” que se deriva de la importación de una determinada mercancía en lugar de consumir esa agua si dicho bien se produce en el país donde se importa. Algunos autores prefieren usar el término de AV desde el punto de vista del país consumidor y no del país productor, definiendo el AV como el total de agua que se necesitaría para producir el bien consumido en el propio país consumidor y no en el país productor (Oki & Kanae, 2004).

Haddadin (2003) propuso el término de agua exógena (exogenous water) para referirse al agua importada por un país en forma de mercancías. Posteriormente el mismo autor introdujo el término agua en la sombra (shadow water) con una concepción muy similar (Haddadin, 2006 y 2007).

El término AV se relaciona esencialmente con el concepto de la producción, mientras que desde el punto de vista del consumo se utiliza como referencia el concepto de huella hídrica (HH) desarrollado por Hoekstra (Hoekstra, 2003). Para este autor, la HH de un consumidor o grupo de consumidores se define como el volumen total de agua dulce consumido o contaminado para producir todos los bienes y servicios requeridos por dichos consumidores (Hoekstra & Chapagain, 2008). De esta forma, es factible cuantificar la HH de un individuo, familia, colectivo, una empresa, ciudad, región, sector económico o país. Este indicador evalúa la utilización y el consumo de los recursos hídricos como consecuencia de las actividades humanas, incluyendo aspectos derivados de posibles procesos de contaminación. Enlaza así a los consumidores finales, los comerciantes, las empresas intermedias y los productores a través del uso del agua y del impacto generado a todo lo largo de la cadena productiva. Su cálculo se debe realizar con un enfoque espacial y temporal, lo que permite relacionarlo con la disponibilidad o vulnerabilidad del recurso hídrico (Hoekstra et al., 2011).

La mayor parte de los estudios se refieren al término HH como un indicador utilizado para medir la presión generada por una actividad sobre los recursos hídricos y aplican el concepto de AV para referirse a los flujos asociados al intercambio de mercancías (Zhao et al., 2010).

La HH es un indicador volumétrico que permite cuantificar el volumen de agua consumido o contaminado por parte del ser humano en sus actividades cotidianas. Dicho volumen puede proceder de distintas fuentes o compartimentos ambientales. La HH de un producto o proceso puede dividirse a su vez en tres colores o componentes: el agua verde, el agua azul y el agua gris, los cuales deben ser diferenciados para una correcta interpretación de los resultados (Hoekstra, 2009).

El agua verde (HHverde) se define como el agua procedente de la precipitación y que es evaporada de forma directa durante el proceso productivo (Hoekstra et al., 2011). El uso de agua verde se encuentra por lo general asociado a la agricultura o a la silvicultura y se refiere al volumen total de agua que proviene de la lluvia, es almacenada en el suelo en forma de humedad y posteriormente evapotranspirada por las plantas o acumulada en su estructura vegetal.

El agua azul (HHazul) se define como el volumen de agua, ya sea de origen superficial o subterráneo, que es consumida durante el proceso de producción y que necesita de una infraestructura más o menos compleja para su utilización (Hoekstra et al., 2011). Para el sector de la agricultura, el agua azul hace referencia al consumo de agua aplicada mediante riego. Al igual que en el caso del agua verde, la componente azul se refiere exclusivamente a la parte realmente evapotranspirada por el cultivo, no contabilizando los volúmenes que reingresan al sistema en forma de retornos de riego, ya sean mediante escorrentía superficial o percolación. Por tanto, sólo se tendrá en cuenta el volumen de riego aplicado, que posteriormente será transpirado por la planta o evaporado directamente del suelo en el proceso de aplicación. De la misma forma, la utilización de agua es para la producción de un bien a través de un sistema o proceso industrial o urbano, la componente azul sólo hace referencia al agua evaporada o incorporada al producto y que por tanto no retorna al sistema. Si el retorno del agua se produce en un sistema diferente al que se está evaluando (evacuación mediante emisarios hacia el mar, por ejemplo) este retorno sí debería ser contabilizada. La componente azul puede a su vez ser dividida en función de la procedencia del recurso, distinguiendo entre aguas superficiales y aguas subterráneas. Estas últimas algunos autores también las clasifican entre agua subterránea renovable y no renovable (fósil), aunque por lo general, la falta de información hace muy difícil este último paso.

Otra clasificación utilizada por algunos autores permite diferenciar el término agua azul con distintos matices, diferenciando entre "light-blue", "dark-blue" y "black-blue" en función de si el agua es de origen superficial, subterránea renovable, o subterránea no renovable (Hoekstra et al., 2011).

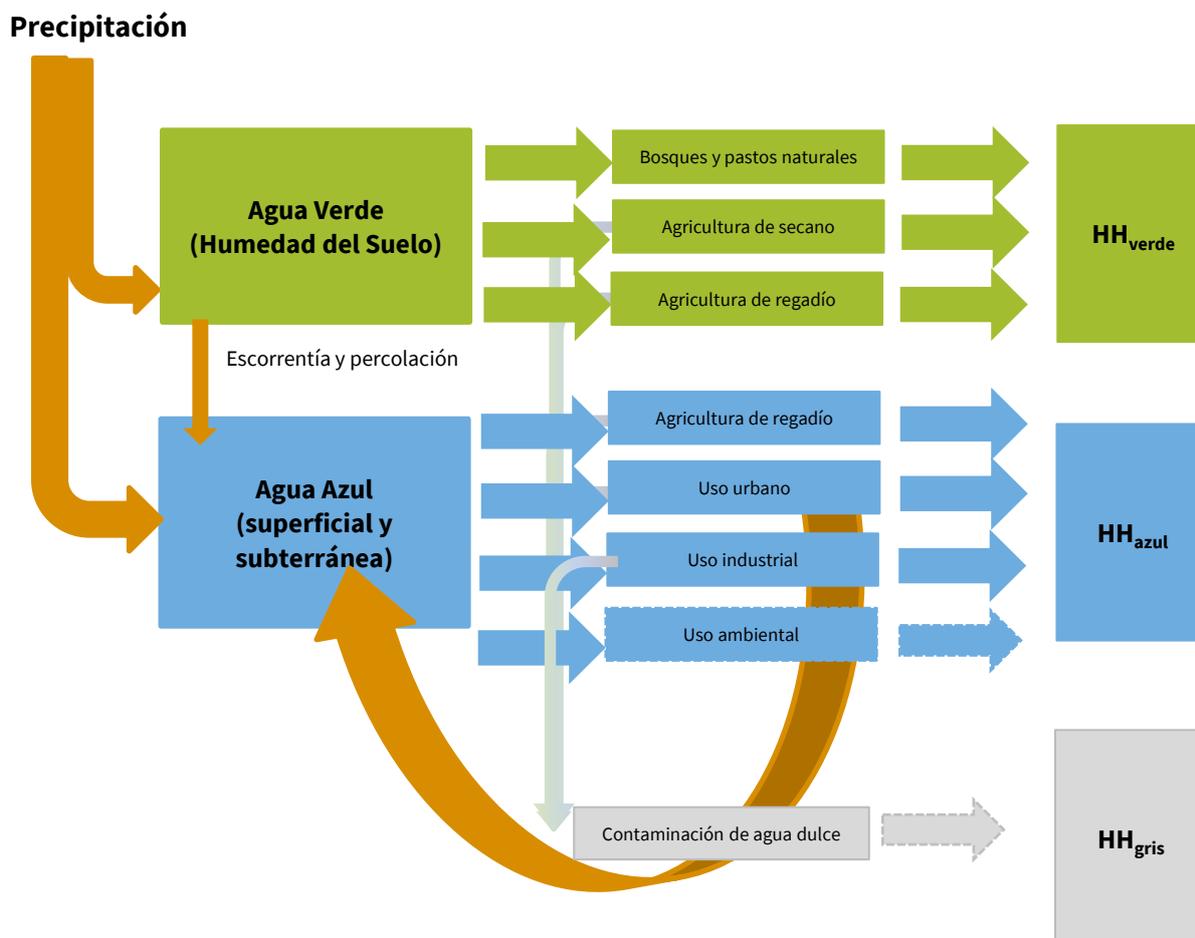
Por último, el agua gris (HHgris) hace referencia a la contaminación que a lo largo de un proceso productivo se genera sobre los recursos hídricos utilizados. Se define como el volumen total de agua necesario para asimilar la concentración de contaminantes vertidos al medio receptor, en función de la calidad intrínseca de dicho medio, a partir de un límite ambiental máximo preestablecido (Hoekstra et al., 2011). Este concepto, expresado como un volumen de agua, es proporcional al volumen y a la carga contaminante del vertido, al expresar el volumen total de agua necesario para diluir la carga contaminante vertida hasta un límite ambiental legal determinado. Puede ser aplicado tanto a contaminantes químicos como físicos y a procesos con vertidos puntuales o de contaminación

difusa. Como es obvio, los sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en los vertidos influirán de forma positiva en la reducción final de esta componente.

La HH puede ser expresada como un único valor, o de forma desagregada presentando sus tres componentes por separado. Pero es importante remarcar, que independientemente de cómo sea expresada, este indicador volumétrico no se traduce en una medida de impacto en sí misma (Hoekstra et al., 2011). Es, por tanto, fundamental contextualizarla, localizándola temporal y geográficamente, para comprender sus posibles implicaciones económicas, sociales o ambientales, en lo que se conoce como evaluación de sostenibilidad. De esta forma, el posible impacto derivado de la HH dependerá de numerosos factores, como las características climáticas y geológicas, la topografía, la disponibilidad de agua, la vulnerabilidad de los ecosistemas asociados, los niveles de contaminación existentes o del coste de oportunidad del agua, entre otros (Chapagain & Tickner, 2012).

Se conocen varias corrientes metodológicas que permiten la evaluación de la HH, destacando fundamentalmente la propuesta por la comunidad de análisis de ciclo de vida (LCA) y el enfoque metodológico propuesto por la Water Footprint Network (WFN) (Hoekstra et al., 2011). El más utilizado es el enfoque de la WFN, al tener una mayor proyección internacional, así como un mayor grado de madurez y estandarización de sus metodologías.

Gráfico 2. Los distintos componentes de la HH.



Fuente: A. de Miguel, (2013).

## 2.2. Metodologías de cálculo.

La metodología de evaluación de la HH se encuentra muy desarrollada a partir de los múltiples trabajos publicados en los últimos 15 años. Como consecuencia, en el año 2008 se creó la “Water Footprint Network” (WFN), como una red internacional formada por instituciones académicas, organismos públicos, ONGs, organizaciones internacionales y empresas privadas, con el objeto de ahondar en el conocimiento de la HH como indicador que permita medir los impactos de las actividades humanas sobre los recursos hídricos. La WFN ha desarrollado un manual “The Water Footprint Assessment Manual” (Hoekstra et al., 2011) que recopila y estandariza los principales conceptos y avances metodológicos relacionados con la evaluación de la HH. Dicho manual es revisado y ampliado de forma continua, recopilando los cambios metodológicos que se producen en la materia.

Para el manual de la WFN, el proceso de evaluación de la HH se puede dividir en cuatro pasos fundamentales:

1. Definición del objetivo y alcance del análisis.
2. Contabilidad de la HH, seleccionando la metodología apropiada según el ámbito de aplicación elegido.
3. Análisis de la sostenibilidad social, ambiental y económica de la HH evaluada.
4. Formulación de respuestas que permitan minimizar los impactos detectados.

La mayor parte de los estudios realizados se centran únicamente en las dos primeras fases de la evaluación de la HH, al ser las que tienen un mayor carácter descriptivo, siendo el tercero clave si se desea realizar una interpretación de posibles impactos y el cuarto para poder corregir los efectos e impactos detectados.

Como se ha mencionado con anterioridad, la HH es un indicador multidimensional, que permite evaluar el volumen de agua dulce consumido por una actividad humana en función de su procedencia, así como el volumen de agua dulce contaminado a partir de distintos procesos.

La aplicación de la metodología de cálculo de la HH la podemos aplicar a un proceso, producto, individuo o grupo de consumidores, sector o empresa, o zona geográfica, como una región o país. Para cada caso concreto será necesario identificar la escala espacio-temporal y los límites y resolución del análisis, en todo caso dependiendo del alcance perseguido y de la tipología y calidad de la información disponible (Tabla 1).

**Tabla 1. Los tres niveles de resolución de la HH.**

	Resolución espacial	Resolución temporal	Fuente de información	Objetivo
Nivel A	Escala Global	Datos anuales	Información bibliográfica disponible o bases de datos internacionales sobre consumo de agua y contaminación en procesos y producciones.	Sensibilización; identificación de los principales componentes que intervienen en la HH global; proyecciones sobre el consumo de agua a nivel global.
Nivel B	Nacional, regional o cuenca hidrográfica	Datos anuales o mensuales	Igual que la anterior pero adaptada a las características de la zona. Estadísticas nacionales o regionales.	Identificación de los principales componentes de la HH; variabilidad espacio-temporal de la HH; información de base para la identificación de “hotspots” y toma de decisiones.
Nivel C	Pequeñas cuencas o estudios a escala de campo	Datos mensuales o diarios	Datos empíricos o mediciones en campo sobre consumo de agua y contaminación.	Información de base para llevar a cabo análisis de sostenibilidad de la HH; formulación de estrategias concretas para disminuir la HH y los impactos locales asociados.

Fuente: Hoekstra et al. (2011).

## 2.2.1. La huella hídrica de productos del sector primario: agricultura, sector forestal y ganadería.

La determinación de la HH de la producción del sector primario nos sirve como base de cálculo para la evaluación de la contabilidad de la HH, al ser estos productos los utilizados como materias primas en los posteriores procesos industriales. Es importante señalar que son los productos derivados del sector agropecuario los que mayor impacto tienen sobre los recursos hídricos del planeta.

La HH de un cultivo se corresponde con el agua total utilizada y evapotranspirada por dicho cultivo durante su ciclo vegetativo, más el agua necesaria para asimilar y diluir la posible contaminación generada como consecuencia de los procesos de lixiviación de fertilizantes, herbicidas o plaguicidas aplicados a dicho cultivo. Aunque la HH debe incluir el agua contenida en la estructura vegetal de dicho cultivo, este valor suele ser despreciado al suponer que su volumen es menor al 0,1% del total evapotranspirado Hoekstra et al. (2011). El consumo de agua por parte de un cultivo depende de sus necesidades de agua, de variables climáticas, prácticas agrícolas y de la disponibilidad temporal del recurso. Es, por tanto, muy distinta para cultivos de secano, donde sólo el agua de precipitación estará disponible para la planta y cultivos de regadío, donde parte de las necesidades del cultivo serán aportadas mediante riego.

Para conocer el consumo de agua de un cultivo es necesario calcular los requerimientos teóricos de dicho cultivo. Para el cálculo del requerimiento hídrico se suele utilizar la metodología del coeficiente de cultivo (Allen et al., 1998) que permite evaluar la demanda de agua potencial de un cultivo, ya sea en condiciones ideales (donde no existe restricción de agua) o en condiciones de estrés (donde factores como la falta de agua, limitaciones en nutrientes u otros afectan de forma negativa al desarrollo del cultivo). Una vez evaluada la demanda potencial del cultivo, a partir de la realización de un balance hídrico a nivel del suelo, se puede estimar el consumo real de agua. En caso de cultivos en secano, dicho consumo se corresponde exclusivamente con la componente verde de la HH, mientras que para cultivos en regadío será imprescindible diferenciar entre la componente verde y la componente azul.

Para el cálculo de la evapotranspiración de un cultivo es teóricamente necesaria la medición de variables climáticas, como la precipitación y evapotranspiración potencial; variables edafológicas, como la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y profundidad del suelo; o variables vegetativas, como el coeficiente del cultivo, altura del cultivo, profundidad de las raíces y rendimiento. Pero se trata de un proceso complejo y que raramente se hace a nivel de campo. Por lo general se utilizan modelos que permiten calcular el consumo teórico en función de las variables introducidas. Los modelos más utilizados son el modelo EPIC (Williams et al., 1989), el modelo CROPWAT (FAO, 2010b) que se basa en los cálculos propuestos por Allen et al. (1998) y el modelo AQUACROP (FAO, 2010a), especialmente diseñado para el cálculo de la evapotranspiración en condiciones de falta de agua.

Para el cálculo de la HHgris es preciso conocer las tasas de aplicación de fertilizantes, herbicidas o plaguicidas y mediante la estimación de coeficientes de lixiviación es posible determinar qué cantidad de un contaminante determinado acaba en el medio receptor y, por tanto, el volumen de agua necesario para asimilar ese contaminante hasta un límite legal establecido. La HHgris puede ser evaluada para cualquier sustancia contaminante. Para ello, cada sustancia debe ser calculada de forma independiente, seleccionando finalmente como valor resultante el obtenido por la sustancia más limitante. Pero la metodología de la HHgris aún se encuentra en desarrollo, por lo que su cuantificación e interpretación debe realizarse con mucha precaución.

Las componentes verde, azul y gris de un cultivo pueden expresarse como un valor total o por unidad de producto ( $m^3/ton$ ). Para ello es necesario dividir el consumo total de agua, por parte del cultivo, o el volumen de agua necesario, para asimilar los contaminantes, entre el rendimiento del cultivo.

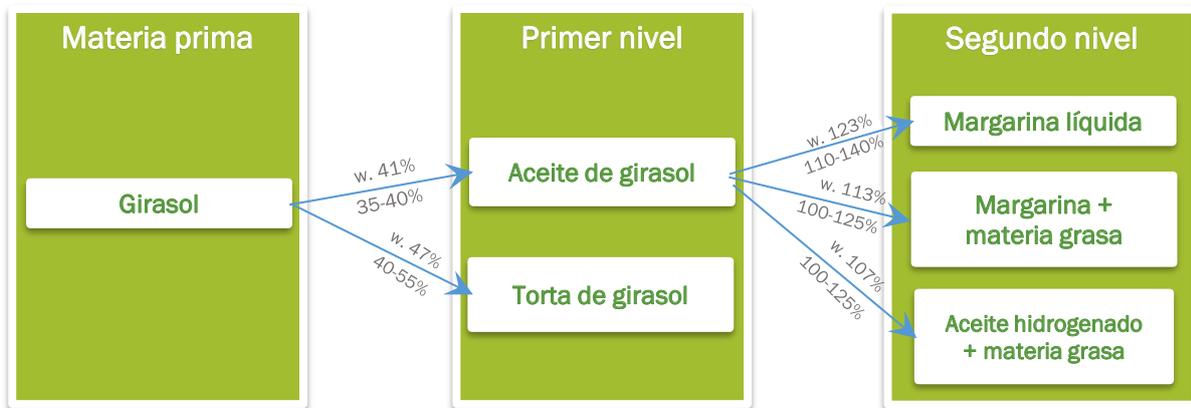
Por otro lado, la HH de la ganadería se calcula a partir de los consumos de agua utilizados durante todo su ciclo de vida, ya sean de forma directa como de forma indirecta; hay que tener en cuenta el volumen de agua necesario para producir su alimentación, el agua consumida por el propio animal, el agua utilizada para la limpieza y mantenimiento de sus instalaciones, en caso de que se encuentren estabulados. Se puede también calcular la HH asociada al consumo energético, transporte o la construcción de sus instalaciones, siempre que estos elementos supongan un porcentaje relativamente importante sobre la HH del sector. Adicionalmente, será necesario evaluar el volumen de agua necesario para la asimilación de las sustancias contaminantes lixiviadas durante las fases de elaboración de su alimentación y durante la gestión de sus residuos.

## 2.2.2. La huella hídrica de un producto: sector industrial.

La HH de un producto se define como la suma del agua dulce necesaria para elaborar todas las materias primas y todos los productos derivados utilizados en su proceso de producción, así como el agua directamente utilizada en su fabricación. Al igual que en la HH de un producto primario, podemos diferenciar entre las tres componentes de la HH. Para el cálculo de la HH de un producto es preciso delimitar con precisión su sistema productivo. Como norma general se suele utilizar el “árbol de productos”, una representación esquemática de todos los procesos, materias primas o productos secundarios que intervienen en la elaboración de un determinado bien.

En el Gráfico 3 que aparece a continuación, puede verse un árbol de productos para el girasol. Una vez cosechado sus semillas pueden ser transformadas en diversos productos, como aceite o torta de girasol en la primera fase, o margarinas en una segunda fase. En cada una de las fases de procesado se podrá calcular la tasa de extracción o fracción de producto ( $w$ ), es decir, el volumen de producto procesado que se obtiene por unidad de volumen de producto de partida. En algunos casos este valor puede ser superior al 100%, como consecuencia de la incorporación de otros productos.

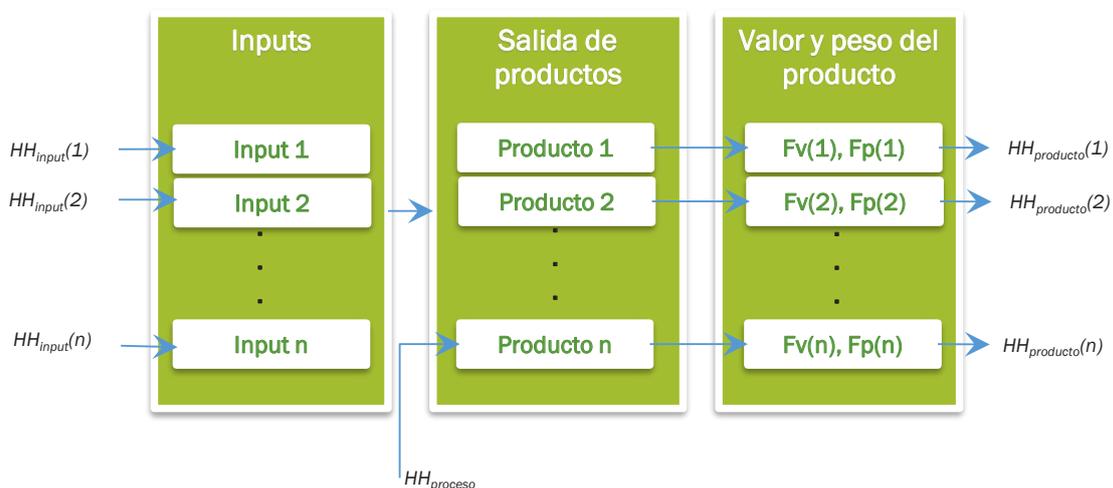
Gráfico 3. Árbol de productos del girasol.



Fuente: Elaboración propia.

Normalmente todo proceso productivo no genera un único producto, sino que produce varios subproductos de forma complementaria, siendo muy complejo establecer qué flujos de agua son realmente utilizados para cada uno de los subproductos generados. Una forma de distribuir la HH utilizada en el proceso productivo entre los distintos subproductos generados la podemos realizar aplicando la metodología del factor de producto ( $F_p$ ) y del factor de valor ( $F_v$ ).  $F_p$  es la cantidad de subproducto generado por cantidad de materia prima utilizada, mientras que  $F_v$  se define como el valor de mercado de cada uno de los subproductos individuales generados entre el valor de todos los subproductos que se derivan del proceso productivo.

Gráfico 4. Cálculo de la HH de los productos secundarios derivados de un sistema productivo.



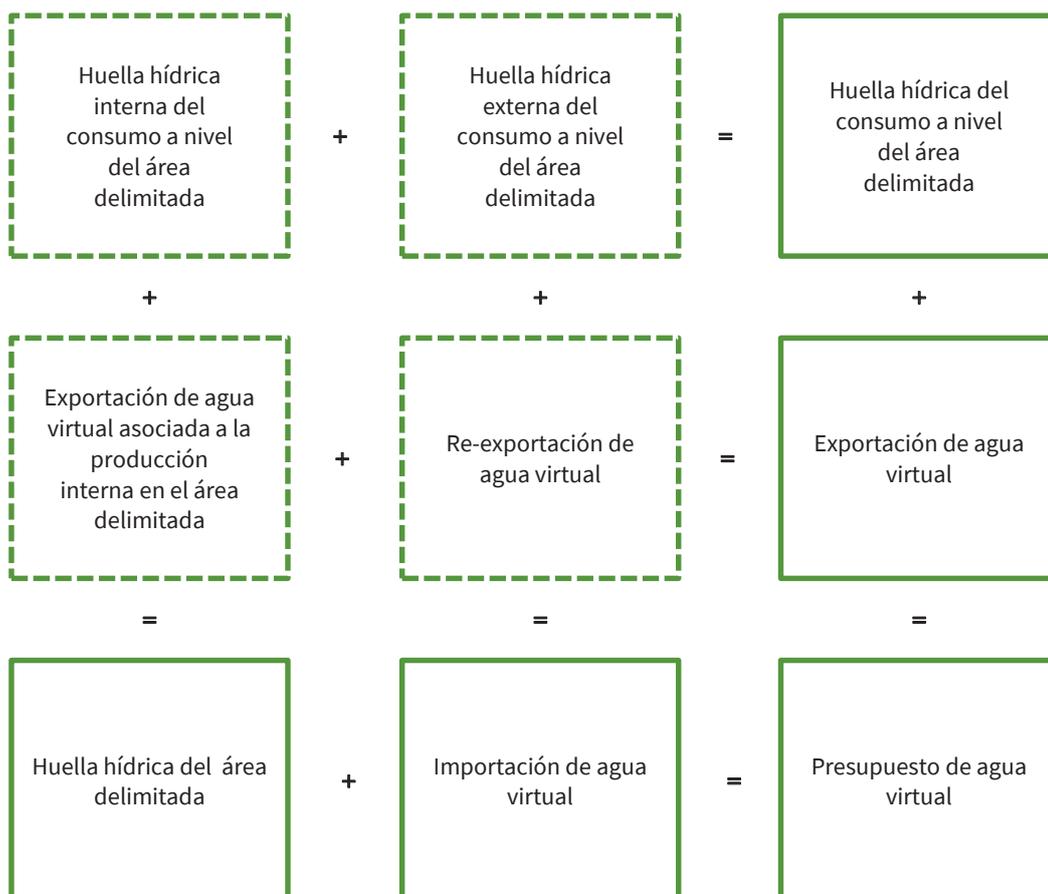
Fuente: Hoekstra et al. (2011).

Combinando ambos factores es posible realizar un reparto de la HH teniendo en cuenta la relevancia de cada subproducto a lo largo de todo el sistema productivo, al utilizar el volumen generado y valor de mercado de los mismos (Gráfico 4). De esta forma, el volumen total de agua consumido o contaminado en el proceso productivo, ya sea de forma directa (HHproceso) o de forma indirecta asociado a las materias primas utilizadas (HHinput), será repartido entre todos los subproductos en función de la relevancia de cada uno de ellos sobre el total de productos generados en el sistema productivo.

### 2.2.3. La contabilización de la huella hídrica nacional.

La contabilización de la HH nacional se obtiene combinando la contabilidad de la HH desde el punto de vista del consumo y la HH desde el punto de vista de la producción. De esta forma podremos evaluar la HH de una población, región o país. Todas las entradas de agua deberán ser evaluadas en cualquier área delimitada, tanto las fuentes de agua propias, como los ríos y/o un acuífero, como el agua virtual (AV), asociada al comercio de mercancías. De esta forma, podremos calcular la HH total de un área, la HH del consumo dentro del área, la HH interna y externa -en función de si los recursos hídricos consumidos provienen del interior o exterior del área-, y todos los flujos de agua asociados a la importación o exportación (Gráfico 5). Podremos determinar el balance de AV de una zona concreta, de tal forma que un balance positivo significará que el área geográfica evaluada importa más agua de la que exporta, lo que implicará que una parte relevante de su consumo doméstico se realiza a partir de recursos hídricos externos.

Gráfico 5. Sistema de contabilidad de la HH nacional.



Fuente: A. de Miguel, (2013).

El cálculo de la HH en un área delimitada, especialmente cuando se realiza a nivel de una región o de un país, puede hacerse mediante dos enfoques en función de sus características y del tipo de información disponible:

- bottom-up approach o enfoque elemento a elemento, donde la HH se calcula como la suma de todos los consumos directos e indirectos de los habitantes de dicha región.
- top-down approach o enfoque compuesto, donde la HH se definirá como la suma del uso total de agua en dicha región, más el flujo de AV asociado a la importación de productos, menos el flujo de AV asociado a la exportación.

Con la primera metodología será necesario evaluar todos los consumos de agua realizados por su población de forma directa, más todos los volúmenes de agua asociados a la fabricación de todos los productos, procesos y servicios demandados por dicha población. Los resultados se expresan por habitante. En el segundo caso, después de evaluar todos los consumos de agua directamente producidos en la región, se deberán identificar todos los flujos de agua asociados a las importaciones de AV y restar las exportaciones. Se obtiene así la HH total, que también se presenta en términos de HH per cápita.

## 2.2.4. La huella hídrica de un sector o empresa.

---

También es factible poder calcular la HH de un sector o de una empresa. En este caso se define como el volumen total de agua dulce consumida de forma directa o indirecta durante el desarrollo de su actividad empresarial.

Podemos distinguir dos componentes principales: la HH operacional, que se define como el volumen de agua consumida y/o contaminada de forma directa a lo largo del proceso de producción; y la HH de la cadena de suministro, que se define como el volumen de agua consumida y/o contaminada de forma indirecta, como consecuencia de la utilización de todos los bienes y servicios necesarios para el mantenimiento de su actividad.

Además, es posible diferenciar entre la HH directamente asociada a un producto concreto y la HH asociada a las actividades generales de la propia empresa, que no se pueden asociar directamente a un producto o servicio concreto (overhead water footprint).

También es factible avanzar más allá de los límites de la propia empresa, identificando el concepto de la HH de uso final (end-use water footprint), que nos permite calcular el volumen de agua consumida y/o contaminada por los usuarios al utilizar dicho bien o servicio.

La medición de la HH a nivel sectorial o a nivel de empresa es un instrumento de gestión empresarial muy útil, al permitir identificar las principales presiones ejercidas por la actividad de dicho sector o empresa sobre los recursos hídricos, y plantear medidas que mitiguen los impactos identificados.

## 2.2.5. Evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica.

---

El análisis de la sostenibilidad nos permite interpretar de forma adecuada los cálculos y los resultados de la contabilidad de la HH. La HH es únicamente un indicador volumétrico que aglutina en uno o varios valores, la apropiación de agua dulce causada en un determinado lugar por un proceso, la elaboración de un producto o una actividad. Pero este indicador ofrece en sí mismo una información de reducido valor sino es puesto en contexto y comparado con los posibles impactos derivados de dicha apropiación hídrica. Así, el volumen total de agua dulce consumido, o contaminado como consecuencia de la fabricación de un producto, proceso o actividad, carece de significado si no es comparado con el volumen y la calidad de los recursos hídricos disponibles en el momento y lugar de producción, así como con otros criterios de carácter socio-económico y ambiental.

La sostenibilidad se define como la capacidad de satisfacer las necesidades presentes sin sacrificar la capacidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades. Dado que calculamos la HH para sus tres componentes (agua verde, azul y gris), teniendo en cuenta todos sus impactos y afecciones directos e indirectos, el análisis de sostenibilidad se deberá desarrollar obedeciendo a los mismos criterios. En esencia, la evaluación de la sostenibilidad

de la HH de una región, producto, proceso o actividad debe permitir establecer si el valor de HH que le hemos calculado se encuentra dentro de los límites que los recursos hídricos locales disponibles pueden soportar de forma sostenible. Dichas afecciones se producirán, por definición, en un determinado contexto temporal y geográfico y afectarán a una o a varias cuencas hidrográficas, por lo que esta unidad geográfica de la cuenca hidrográfica deberá ser el punto de partida de nuestra evaluación de sostenibilidad.

Siguiendo a Hoekstra et al. (2011), para realizar un análisis de sostenibilidad completo deberían seguirse cuatro pasos consecutivos:

1. Identificación de los criterios de sostenibilidad a evaluar.
2. Identificación de los puntos calientes (hotspots).
3. Identificación y cuantificación de impactos primarios.
4. Identificación y cuantificación de impactos secundarios.

Al igual que ocurre con la metodología de cálculo de la HH, la aplicación de estas fases consecutivas de análisis estará limitada por la tipología del análisis realizado así como de la disponibilidad y calidad de la información utilizada. Los dos primeros pasos serán siempre los más fáciles de desarrollar.

Como hemos señalado, el análisis de sostenibilidad de la HH se debe desarrollar incorporando criterios relacionados con la sostenibilidad ambiental, con la sostenibilidad social y con la sostenibilidad económica. Desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, para evaluar la componente azul se pueden utilizar criterios que, por ejemplo, garanticen el cumplimiento de los caudales ecológicos en aquellos cursos de agua que se puedan ver afectados por la actividad analizada. Para la componente gris se pueden utilizar criterios como el grado de contaminación o la capacidad de asimilación de contaminantes, en función de los estándares fijados por el Plan Hidrológico de Cuenca correspondiente para los vertidos en los cauces que se vean afectados. También para la componente verde se pueden fijar criterios relacionados como el consumo de agua de boca. En el caso de la evaluación económica se pueden incluir criterios relacionados con la valoración económica de los servicios ambientales afectados.

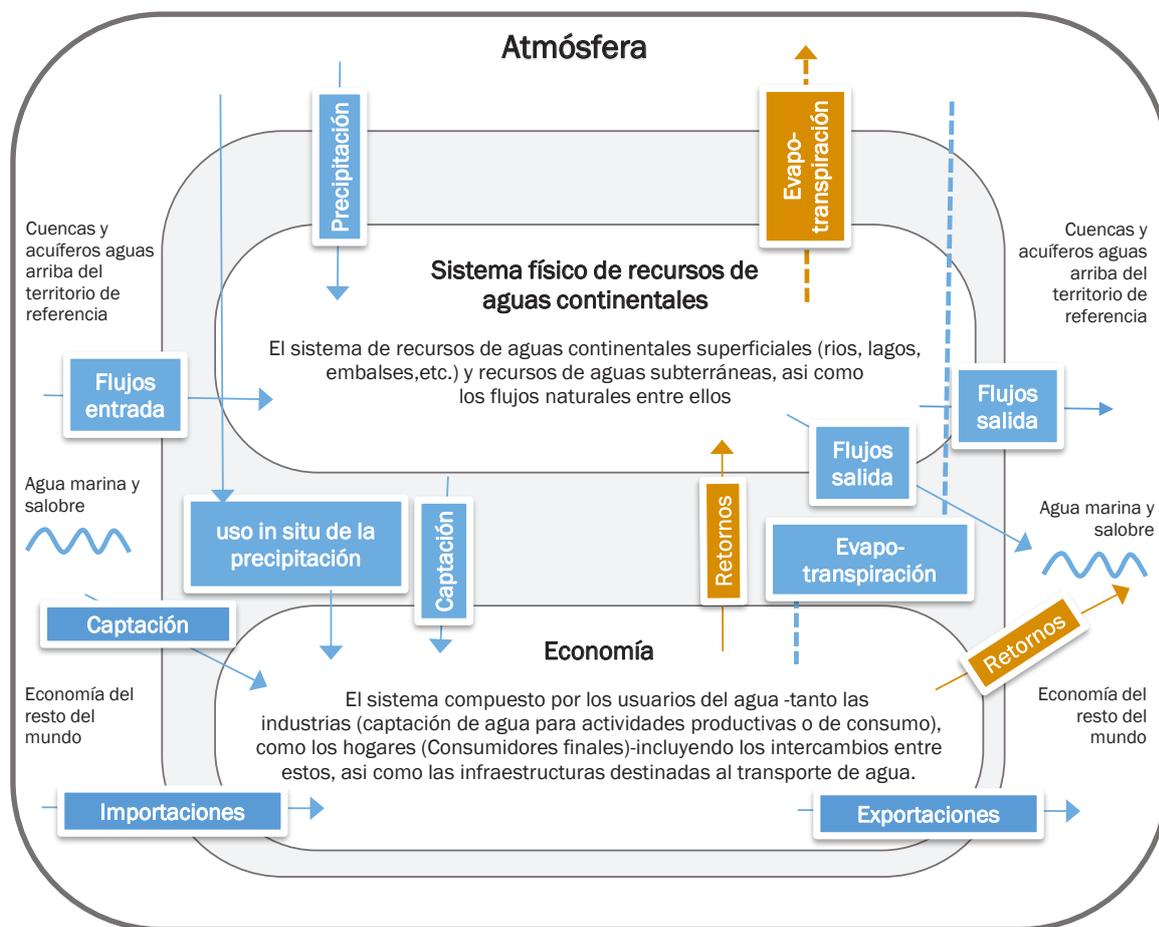
Una vez establecidos y cuantificados los criterios de sostenibilidad, en la segunda fase se deberán determinar, en su caso, los denominados “hotspots”. Estos serán aquellos momentos o lugares en los que la HH se identifica como insostenible, en función de unos criterios previamente establecidos. En el caso de los impactos primarios, la evaluación deberá centrarse en las consecuencias directas sobre el ciclo hidrológico, es decir, sobre las afecciones producidas sobre la cantidad y la calidad del agua. Respecto a los impactos secundarios se evaluarán aquellos efectos que se puedan producir de forma diferida, ya sean ecológicos, sociales o económicos, del tipo de pérdida de biodiversidad, afecciones a la salud, seguridad alimentaria, actividades económicas, etc.

### 3. EL AGUA EN ESPAÑA.

Una vez planteado el objetivo general a cubrir y revisada la metodología básica de cálculo de la HH consideramos que es necesario dimensionar el problema a analizar realizando un breve resumen de la situación hídrica española tomando como referencia los datos más recientes recogidos por el INE en las Cuentas Satélites del Agua. INE (2014).

Para realizar este dimensionamiento tomaremos como referencia la definición del ciclo hidrológico recogida por la Organización de Naciones Unidas en 1992 “la sucesión de etapas a través de las cuales el agua pasa desde la atmósfera a la tierra y regresa a la atmósfera: evaporación desde la tierra, el mar o las aguas continentales, condensación de las nubes, precipitaciones, acumulación en el suelo o en las masas de agua, re-evaporación”. INE (2014).

Gráfico 6. Descripción general de los principales flujos de agua.

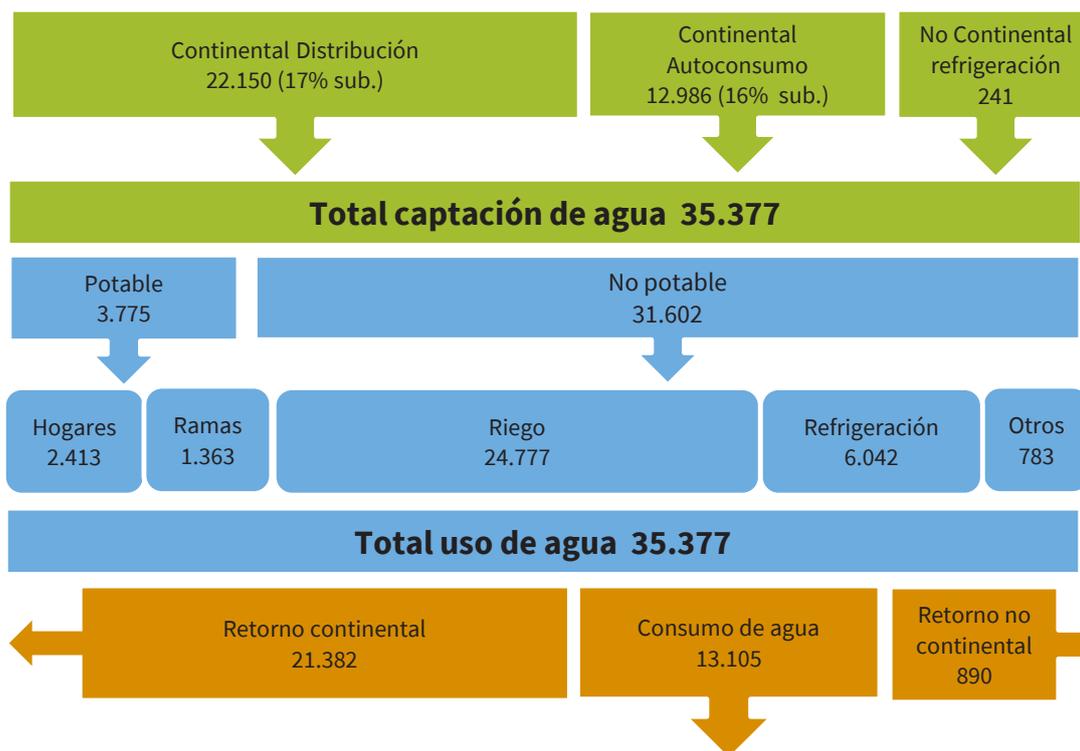


Fuente: INE (2014).

Dentro de este ciclo hidrológico, el sistema económico a su vez interactúa con los diferentes flujos captando recursos hídricos y generando retornos, tanto al sistema continental (lagos, embalses, ríos y acuíferos), como no continental (agua marina y salobre), tal como se ilustra en el gráfico 6.

Siguiendo este esquema y de acuerdo con los datos recogidos por el Instituto Nacional de Estadística, reflejados en el gráfico 7 durante el año 2010 se captaron algo menos de 35.400 millones de m<sup>3</sup> de agua en España, de los que el 99,3% procedían del sistema continental y únicamente el 0,7% de medios marinos; utilizada, fundamentalmente, para refrigeración.

**Gráfico 7. Flujos de agua en España en 2010. Millones de m<sup>3</sup>.**



Fuente: Elaboración propia con datos de la Cuenta Satélite del Agua del INE.

A su vez, dentro de la captación de aguas continentales, de las que entre un 16 y un 17% se obtiene de fuentes subterráneas; un 63% se destina a la distribución mientras que el 39% restante serían autoconsumos por parte de los agentes productivos, fundamentalmente agua para riego.

De este total de agua captada, únicamente el 10,7%, (3.775 millones de m<sup>3</sup>) serían aguas potables distribuidas por cañerías, mientras que el 89,3% restante, en su mayor parte, se destinaría al riego (24.777 millones de m<sup>3</sup>) y el resto a refrigeración, pérdidas y otros usos (6.825 millones de m<sup>3</sup>).

Por su parte, de los algo menos de cuatro millones de m<sup>3</sup> de agua potable distribuida por cañerías, un 64% (2.413 millones de m<sup>3</sup>) se destinaría al consumo directo de los hogares, mientras que el 36% restante se destinaría al resto de ramas productivas.

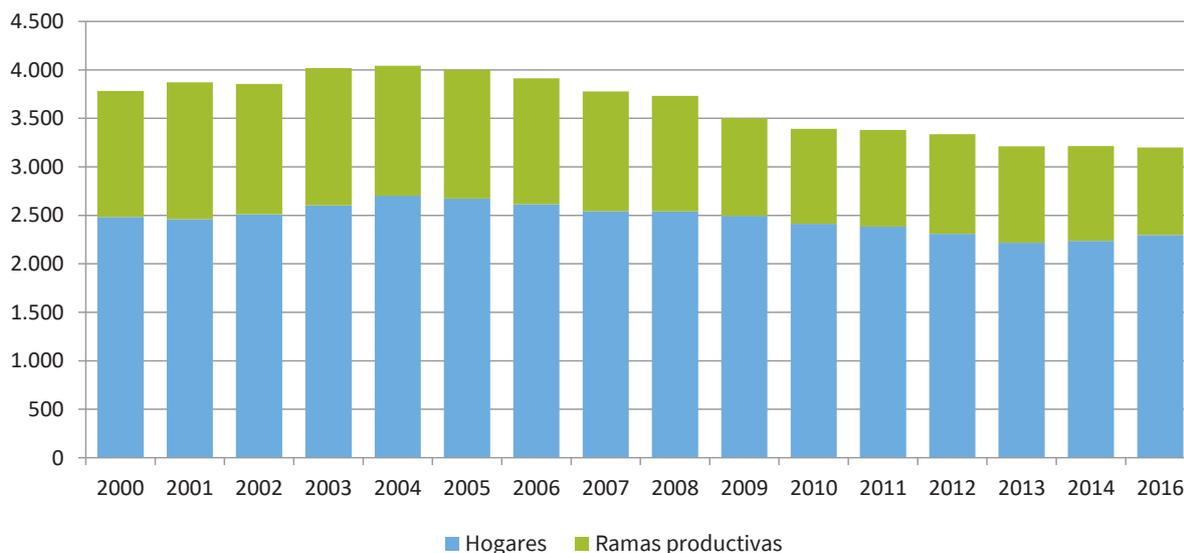
Finalmente, una vez utilizados, los flujos de agua retornarían un 60,4 %, a medios continentales, mientras que un 2,5% retornaría a medios no continentales. De esta forma el consumo físico de agua se situaría en torno a los 13.105 millones de m<sup>3</sup>.

### 3.1. Evolución del consumo.

Una vez dimensionados los diferentes flujos básicos de nuestro sistema hidrológico, consideramos que puede ser interesante analizar la evolución experimentada por estos flujos durante los últimos periodos, centrándonos en el componente más vinculado con la actividad económica y que se corresponde con la distribución de agua potable por cañerías.

Así, tal como puede comprobarse en el gráfico que presentamos a continuación, el total de agua potable distribuida por cañerías se habría ido reduciendo sistemáticamente a lo largo de los últimos 10 años, hasta situarse un 20% por debajo de los valores máximos alcanzados en 2004.

**Gráfico 8. Agua potable distribuida. Millones de m<sup>3</sup>.**



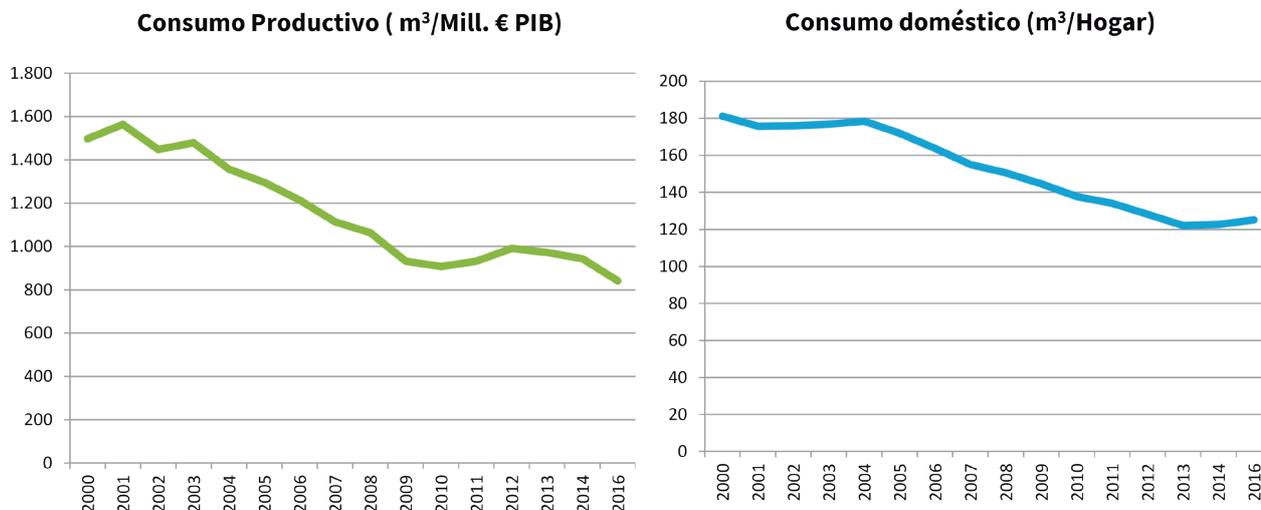
Fuente: Elaboración propia.

Este progresivo descenso del consumo total de agua potable habría venido inducido por una mayor eficiencia relativa en el sistema productivo, medida en términos de consumos de agua en relación con la producción total, junto con un ahorro relativo en los consumos medios por hogar.

Así, tal como se refleja en los gráficos que presentamos a continuación, mientras que en el año 2000 se consumían algo menos de 1.600 m<sup>3</sup> de agua por cada millón de euros de PIB, en los años más recientes este consumo se habría reducido casi a la mitad, 840 m<sup>3</sup> por cada millón de euros de PIB.

De la misma forma, en el consumo medio por hogar se aprecia también una tendencia de contención progresiva a lo largo de los últimos años, aunque de una intensidad relativa inferior a la del sistema productivo, y así, el consumo medio por hogar se habría reducido desde el entorno de los 180 m<sup>3</sup> de agua por hogar registrados en el año 2004, hasta los 125 m<sup>3</sup> que se consumieron por cada hogar en el año 2016 y que supone un ahorro relativo en torno al 30%.

**Gráfico 9. Consumos relativos de agua potable.**



Fuente: Elaboración propia.

## 3.2. Comparativa internacional.

En la misma línea, consideramos que es interesante ofrecer algunas referencias relativas en términos de los consumos de agua potable a nivel internacional.

Así, utilizando los datos ofrecidos por EUROSTAT se han calculado los ratios relativos de consumo de agua potable en relación con el PIB, así como el consumo doméstico per cápita para el año 2010, obteniéndose los resultados que se ilustran a continuación.

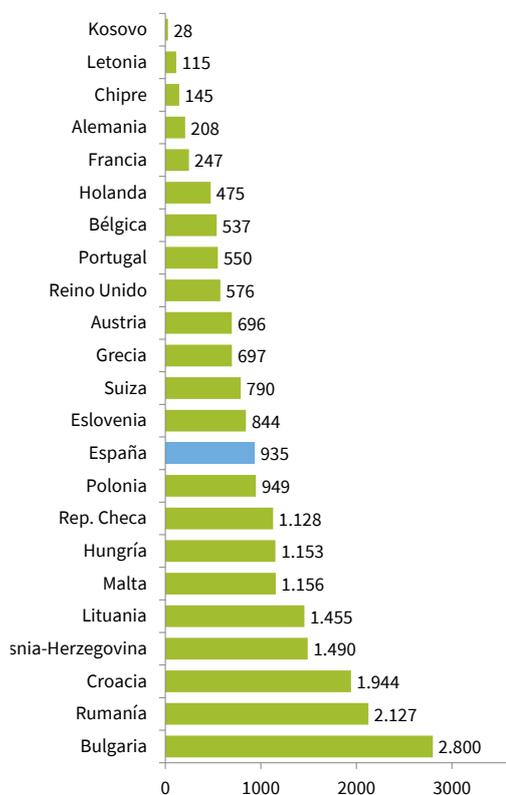
Respecto a los consumos medios en relación con los niveles de producción (PIB) y tal como se recoge en el siguiente gráfico, las diferencias por países son muy abultadas, hasta el punto de que el consumo por millón de euros de PIB en Bulgaria es 100 veces superior al registrado en Kosovo.

Nuestro país se encuentra en una posición intermedia con unos 935 m<sup>3</sup> por millón de PIB, aunque estaría marcando los niveles máximos de entre las economías europeas más avanzadas, ya que países como Francia o Alemania, registrarían consumos medios de casi una cuarta parte de los españoles.

Estas fuertes diferencias vendrían condicionadas por las estructuras productivas de los diferentes países ya que, tal como se detallará en el apartado siguiente, los consumos medios de agua por unidad producida difieren significativamente entre las diferentes ramas.

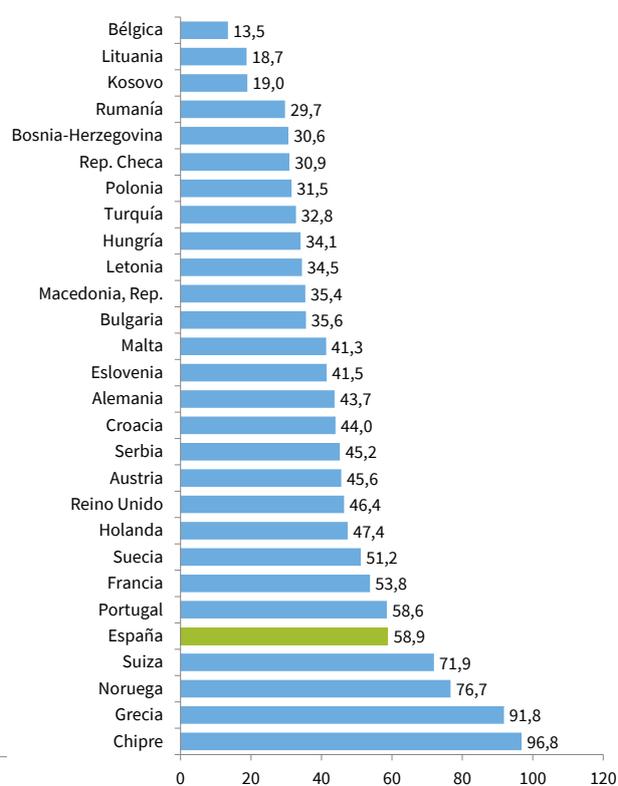
Con respecto al consumo per cápita de los hogares, y tal como se recoge en el gráfico, las diferencias son mucho menos acusadas, aunque el intervalo total recorre un rango desde los cerca de 97 m<sup>3</sup> por persona y año en Chipre, hasta los 13,5 de Bélgica.

**Gráfico 10. Consumo de agua en el sector productivo 2010. m<sup>3</sup> por millón de € de PIB.**



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 11. Consumo de agua en los hogares. 2010. m<sup>3</sup> por persona y año.**



Fuente: Elaboración propia.

En este caso, nuestro país ocupa una de las posiciones más elevadas, superado únicamente por cuatro países (Suiza Noruega, Grecia y Chipre). Sin embargo, en esta ocasión nuestros consumos medios son similares a los de otras economías avanzadas como Francia, Suecia, Holanda, o el Reino Unido.

### 3.3. Detalle por ramas de actividad.

Tal como adelantábamos en el apartado anterior, las necesidades totales de agua demandadas por el sistema productivo varían mucho entre las diferentes economías ya que las diferentes actividades, o ramas de actividad, muestran requisitos de consumo por unidad producida muy diferentes.

Operativamente, a medida que se desciende en el detalle de los consumos totales de agua en las diferentes actividades la información disponible es cada vez más escasa, y así, en el caso de nuestro país, a pesar de los esfuerzos desarrollados por el Instituto Nacional de Estadística a lo largo de los últimos años, la información disponible se limita a un detalle de 20 ramas industriales, junto con agricultura y construcción, más 12 ramas de servicios para el periodo 2008-2010, disponiéndose también de información para las ramas de agricultura, industria y construcción entre los años 2000 y 2007.

Sin embargo, dado el creciente interés que suscitan los temas de sostenibilidad ambiental a nivel internacional, se han desarrollado múltiples iniciativas para profundizar en el conocimiento y la medición de los impactos ambientales y el consumo de recursos en las diferentes actividades productivas.

Una de estas iniciativas, probablemente de las más ambiciosas que se han desarrollado a nivel internacional, es la base de datos EXIOBASE, Toker et al. (2013) y Wood, et al(2015), un proyecto colaborativo desarrollado por un consorcio en el que se integran la Norwegian University of Science and Technology, Netherlands Organization for Applied Scientific Research, the Sustainable Europe Research Institute (SERI), the Institute of Environmental Sciences (CML) at the Faculty of Science of Universiteit Leiden, the Institute for Ecological Economics at the Vienna University of Economics and Business y 2.-0 LCA Consultants.

Esta base de datos está estructurada en términos de matrices input-output multirregionales, recogiendo, por tanto, las interacciones entre las ramas productivas de las diferentes economías y extendida con amplio número de variables físicas de consumo de recursos y externalidades medioambientales.

De forma específica esta base de datos detalla información para 43 países más cinco agregados para el resto del mundo, con detalle de 200 productos, 163 ramas de actividad, 15 tipos de usos de la tierra, 48 tipos de materias primas y 172 tipos de usos de agua.

Partiendo de la información proporcionada en dicha base de datos, se ha realizado una agregación a las 64 ramas de actividad recogidas en la última Tabla Input-Output elaborada por el INE para la economía española en el año 2015, obteniéndose así unos coeficientes medios de consumo de agua azul (distribución por cañerías) y agua verde (captación directa) por cada millón de euros producidos en cada una de las 64 ramas de actividad y que servirá como base para una de las dos aproximaciones a la estimación de la HH de las promociones residenciales de Vía Célere que se presentarán en el capítulo siguiente.

En el conjunto de gráficos que presentamos a continuación se recogen los coeficientes calculados para la economía española, junto con una referencia de la mediana internacional<sup>1</sup> a efectos comparativos.

Todos los coeficientes están calculados en términos de miles de m<sup>3</sup> de agua consumida por millón de € de producción realizada, y con el fin de facilitar la visualización de los diferentes sectores se han distribuido en diversos intervalos.

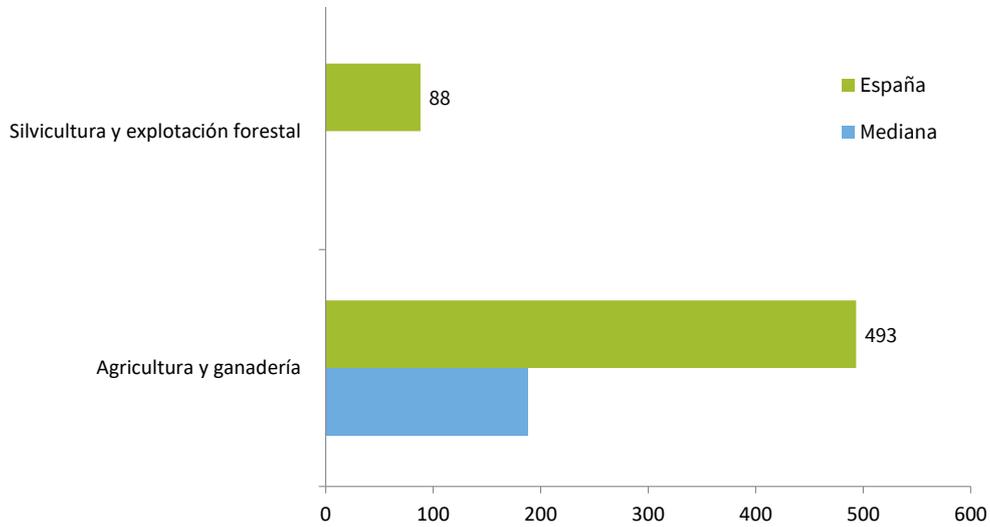
Como puede constatarse fácilmente, tanto la agricultura y ganadería, como la silvicultura, presentan unos niveles significativamente diferentes del resto, alcanzando, respectivamente, los 493 y 88 m<sup>3</sup> de agua por millón de producción.

En el caso de la agricultura, este coeficiente es algo más del doble de la referencia internacional, mientras que en el caso de la silvicultura, nuestro país presenta, con gran diferencia, el valor más elevado de entre todas las economías recogidas en la base de datos y en las que, de hecho, la mediana es nula, lo que supondría que en una buena parte de los países no se emplean recursos hídricos azules en las actividades de producción de maderas.

<sup>1</sup> Se ha tomado la mediana dado que la dispersión internacional es tan elevada que provoca bastantes sesgos sobre la media. En aquellos casos en los que esta referencia supera los límites de las escalas de cada gráfico supone unos coeficientes significativamente más elevados que los españoles.

Gráfico 12. Coeficientes de uso de agua azul en las actividades productivas.

Más de 10.000 m<sup>3</sup> por millón de producción



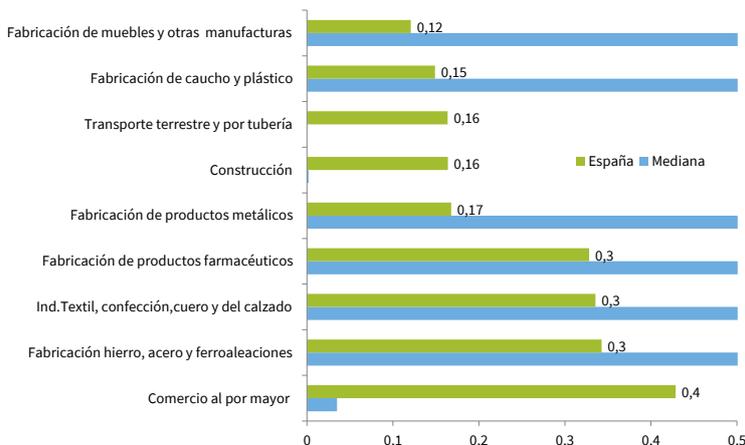
De 500 a 10.000 m<sup>3</sup> por millón de producción



Fuente: Elaboración propia. Datos EXIOBASE.

Gráfico 12. Coeficientes de uso de agua azul en las actividades productivas.

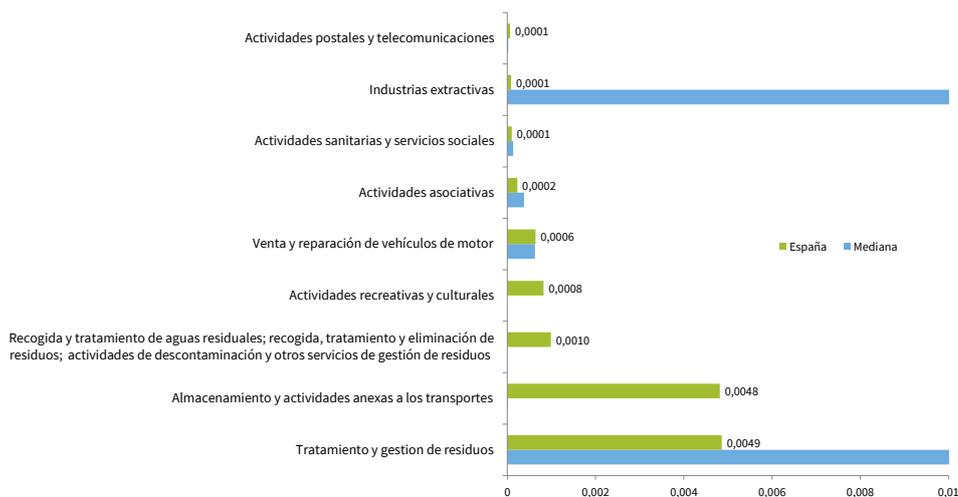
De 100 a 500 m<sup>3</sup> por millón de producción



De 100 a 500 m<sup>3</sup> por millón de producción



De 100 a 500 m<sup>3</sup> por millón de producción



Fuente: Elaboración propia. Datos EXIOBASE.

Con respecto al consumo de agua “verde”, únicamente son relevantes las actividades primarias y donde España presenta unos consumos medios de 586.000 m<sup>3</sup> en la agricultura y 56.000 en silvicultura, frente a unos ratios medios internacionales de 1.196.000 y 1.000 m<sup>3</sup>, respectivamente.

## 4. HUELLA HÍDRICA DE LAS PROMOCIONES.

Tal como se recogía en los capítulos precedentes, la literatura especializada ofrece diferentes enfoques de cálculo de la HH de una determinada actividad en función de los objetivos perseguidos y de la información disponible.

En el caso que nos ocupa el objetivo fundamental sería la cuantificación del volumen total de agua requerido para el desarrollo de las promociones inmobiliarias típicas desarrolladas por Vía Célere, pudiendo disponer de toda la información con el máximo nivel de detalle sobre el proceso productivo de dichas promociones.

Considerando este objetivo general y las disponibilidades de información se optó por realizar, finalmente, una doble aproximación a este cálculo de la HH aplicando simultáneamente las dos variantes más utilizadas en la literatura y que podemos denominar, respectivamente, como enfoque de valor y enfoque de peso.

Mediante la primera aproximación (enfoque de valor), se trataría de identificar la cadena de valor generada en la economía a partir de los flujos económicos de adquisición de bienes y servicios originados en las promociones inmobiliarias, tanto de forma directa, como indirecta, y aplicar a estos flujos económicos los diferentes ratios de consumo de agua por unidad producida.

Por su parte, en el enfoque de peso, o también conocido como de Evaluación del Ciclo de Vida (L.C.A. por sus siglas en inglés) se trataría de determinar el volumen total de agua que incorporan los diferentes materiales utilizados en el proceso de construcción a lo largo de todo su proceso productivo.

En el gráfico que presentamos a continuación se reflejan de forma esquemática las diferencias fundamentales entre ambos enfoques, así como la tipología de información requerida por cada uno de ellos.

Gráfico 13. Enfoques alternativos de cálculo de la HH de las promociones residenciales.

	ENFOQUE DE VALOR	ENFOQUE DE PESO
Datos de partida	Valor de los insumos incorporados en la producción por ramas.	Peso/Volumen de los principales materiales utilizados.
Usos de agua	Agua utilizada durante el proceso productivo de cada rama de actividad.	Volumen total de agua necesaria para la producción de cada material a lo largo de su ciclo de vida.
Ratios utilizar	Uso de agua en m <sup>3</sup> por cada millón de producción.	Volumen total de m <sup>3</sup> agua incorporada por Tn. o m <sup>3</sup> de producto.

Fuente: Elaboración propia.

## 4.1. Datos generales de la promoción de Villaverde.

Con el fin de ilustrar el procedimiento de estimación de la HH de las promociones residenciales desarrolladas por Vía Célere, se seleccionó una de las últimas promociones desarrolladas, el Residencial Célere Villaverde, y cuyas características básicas se detallan a continuación.

El Residencial Célere Villaverde es una promoción de 98 viviendas situado en la Calle San Jenaro de Madrid y construido a 5 alturas, con una superficie total de 15.428,85 m<sup>2</sup> y que incorpora viviendas de 2, 3 y 4 dormitorios junto con los servicios comunitarios de piscina, salones sociales, pista deportiva, gimnasio y zona infantil.

El edificio está equipado con los más modernos sistemas de aislamiento y climatización habiendo obtenido una calificación energética de tipo A.

La aplicación de las dos aproximaciones metodológicas abordadas precisa del análisis detallado de todos los flujos físicos y económicos incorporados en el proceso de construcción de esta promoción, por lo que inicialmente se analizaron más de 5.900 albaranes de compra directa de materiales y unas 3.500 facturas de proveedores.

A partir de esta información, los flujos económicos fueron clasificados en función del código CNAE a dos dígitos de los proveedores, mientras que los flujos físicos se agruparon en función de la tipología de materiales.

En la tabla 2 se recogen los montantes totales de las compras de bienes y servicios realizadas a los proveedores de cada una de las ramas de actividad, así como el porcentaje que éstas representan sobre el montante total.

**Tabla 2. Adquisiciones de bienes y servicios por ramas de actividad. Miles de € y % sobre el total.**

CNAE	Descripción	Mil.€	%
43	Actividades de construcción especializada	4.164	47,36%
41	Construcción de edificios	1.675	19,05%
25	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	733	8,34%
23	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	622	7,08%
16	Industria de la madera y el corcho, excepto muebles; cestería y espartería	362	4,12%
46	Comercio al por mayor e intermediarios	339	3,85%
77	Actividades de alquiler	172	1,96%
71	Servicios técnicos de arquitectura e ingeniería; ensayos y análisis técnicos	145	1,65%
28	Fabricación de maquinaria y equipo	127	1,44%
74	Otras actividades profesionales, científicas y técnicas	117	1,33%
80	Actividades de seguridad e investigación	88	1,00%
37	Recogida y tratamiento de aguas residuales	84	0,96%
81	Servicios a edificios y actividades de jardinería	58	0,66%
49	Transporte terrestre y por tubería	37	0,42%
35	Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado	24	0,27%
47	Comercio al por menor,	18	0,21%
22	Fabricación de productos de caucho y plástico	10	0,11%
70	Actividades de las sedes centrales; actividades de consultoría de gestión empresarial	8,9	0,10%
18	Artes gráficas y reproducción de soportes grabados	5,1	0,06%
36	Captación, depuración y distribución de agua	3,6	0,04%
85	Educación	0,2	0,003%

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos suministrados por Vía Célere.

Como puede comprobarse en la tabla anterior, los mayores montantes económicos se concentran en las subcontratas del propio sector de la construcción y donde, como es habitual en las actividades de construcción residencial, los diferentes oficios especializados suelen externalizarse hacia empresas especializadas.

A continuación, las mayores partidas se destinarían a los productores de productos metálicos y materiales de construcción, seguidos por los suministros de energía eléctrica y diversos servicios de apoyo.

Para la clasificación de los flujos físicos ha sido necesario realizar algunas transformaciones iniciales a partir de los datos suministrados por Vía Célere, diferenciándose dos grandes grupos:

1. Los materiales de “autoconsumo”.
2. Los materiales de las diversas subcontratas.

En el caso de los materiales de “autoconsumo” se han utilizado los registros de “movimientos entrada de almacén” y se han calculado los volúmenes totales a partir de las cantidades y los pesos unitarios de cada uno de ellos.

En las diferentes líneas donde no se especificaban las unidades de las partidas concretas se han utilizado las más habituales en construcción.

Para la estimación del cemento, los áridos y el agua empleados en el hormigón y los morteros, al depender de varios factores, como granulometría, de los que no se disponía de información directa, se han utilizado unos valores medios respetando las cantidades mínimas reflejadas en la tabla 37.3.2.a de la EHE.

Para los materiales de las diversas subcontratas se han facilitado, en unos casos, listados específicos con los pesos de materiales empleados y, en otros casos, se ha seguido un método similar al de los materiales de “autoconsumo”, estimando los pesos unitarios y obteniendo el peso total de cada material como producto de este peso por la cantidad facilitada.

Al igual que en el caso anterior, en la tabla 3 se recogen los totales de flujos físicos de materiales clasificados en función de sus características generales.

Si bien el listado de productos y materiales era bastante más extenso únicamente se han considerado aquellas partidas que, en términos de peso, presentaban una aportación significativa, ya que el impacto final del resto en términos de HH sería, prácticamente, insignificante.

**Tabla 3. Principales flujos físicos de materiales. Kg y porcentajes sobre el total.**

Grupo	Total Kg.	Material	Kg	%
Pétreos	19.877.680 59,32%	Arena/Grava	19.861.275	59,27%
		Piedra	16.405	0,05%
Aglutinantes	5.383.614 16,07%	Cemento	3.600.551	10,75%
		Yeso	165.143	0,49%
		Yeso laminado (Pladur)	542.562	1,62%
		Prefabricados Hormigón	1.033.895	3,09%
		Asfalto	41.463	0,12%
Agua (litros)	4.831.754 14,42%	Agua indirecta	1.692.754	5,05%
		Agua directa	3.139.000	9,37%
Cerámicos	2.198.889 6,56%	Baldosas	256.398	0,77%
		Ladrillos	1.844.691	5,51%
		Porcelana	10.640	0,03%
		Vidrio	63.982	0,19%
		Lana mineral	23.177	0,07%

Metales	963.123 2,87%	Acero	929.228	2,77%
		Aluminio	33.738	0,10%
		Cobre	156	0,00%
Maderas	169.390	Maderas	169.390	0,51%
Compuestos	56.173 0,17%	Colas	57	0,00%
		Pinturas	15.150	0,05%
		Gasoleo B	35.016	0,10%
		Polímero Sílice	5.825	0,02%
		Silicona	125	0,00%
Plásticos	27.459 0,08%	Poliuretano	211	0,00%
		Poliestireno	4.763	0,01%
		Polietileno	625	0,00%
		EPDM	529	0,00%
		Neopreno	2.244	0,01%
		PVC	213	0,00%
		Melamina	4.550	0,01%
		Vinilo	370	0,00%
		Otros	11.867	0,04%
		Caucho	2.087	0,01%
<b>TOTAL Kg</b>			<b>33.508.082</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos suministrados por Vía Célere.

## 4.2. Estimación por el enfoque de valor.

Bajo el enfoque de valor la HH de una determinada actividad, en este caso la promoción residencial, vendría determinada a partir del valor total de la producción de bienes y servicios de las distintas ramas de actividad necesarios para desarrollarla, asumiendo que existe una relación directa entre el valor total de los bienes y servicios producidos en cada una de estas ramas y el consumo total de agua de cada una de ellas.

Este tipo de aproximación tiene un mayor sesgo de tipo macroeconómico o agregado y en nuestro país ha sido utilizada, por ejemplo, para la estimación de los flujos de comercio virtual de agua en Andalucía Dietzenbacher y Velázquez (2007), la estimación de los flujos interregionales de agua, Cazcarro et al.(2013), o la aportación relativa de las diferentes actividades productivas al consumo de agua Duarte et al.(2002).

De acuerdo con este planteamiento, el total de agua utilizada en el proceso productivo sería la suma del consumo directo realizado en la propia obra, más el consumo realizado por los proveedores directos de bienes y servicios incluidos en la misma, y que podemos denominar como consumo incorporado, más el consumo realizado por el resto del sistema productivo para abastecer de bienes y servicios a estos proveedores y que, habitualmente, se denomina consumo inducido.

Para el consumo directo se han utilizado los datos aportados por Vía Célere sobre el total de m<sup>3</sup> de agua utilizados en esta promoción y que ascendía a 3.166 m<sup>3</sup> de agua.

En el caso de los consumos incorporados, es decir, el agua consumida por los proveedores directos, se intentó, como primera aproximación, realizar una recogida directa de información mediante un cuestionario cursado a cada uno de estos proveedores similar a los utilizados por el I.N.E, aunque el nivel de respuesta fue muy bajo lo que nos impidió utilizar esta información directa.

Alternativamente, se optó por utilizar los coeficientes medios estimados en EXIOBASE para cada una de las ramas de actividad, asumiendo que cada uno de estos proveedores mantendría unos niveles medios de consumo por unidad producida equivalentes a los de su sector.

De esta forma, multiplicando estos coeficientes por el valor de los productos y servicios facturados a la promoción de Villaverde se obtendría una estimación del volumen de agua incorporada en dicha producción.

En la tabla 4 se recogen los datos de este consumo de agua incorporado por las diferentes ramas de actividad que han actuado como proveedores en esta promoción.

**Tabla 4. Estimación de los consumos de agua incorporados.**

CNAE	Descripción	Coefficiente m <sup>3</sup> /Mill.€	Valor producción Miles €	Consumo Agua m <sup>3</sup>
41-43	Construcción	0,164	5.839	1.564
80-82	Actividades de seguridad e investigación; servicios a edificios y actividades de jardinería; actividades administrativas de oficina y auxiliares a las empresas	1,031	146	246
71	Servicios técnicos de arquitectura e ingeniería; ensayos y análisis técnicos	1,031	145	245
46	Comercio al por mayor e intermediarios, excepto vehículos de motor y motocicletas	0,429	339	237
77	Actividades de alquiler	0,804	172	226
74-75	Otras actividades profesionales, científicas y técnicas; actividades veterinarias	1,031	117	197
25	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	0,168	733	123
35	Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado	2,661	24	63
47	Comercio al por menor, excepto de vehículos de motor y motocicletas	0,830	18	25
23	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	0,030	622	19
69-70	Actividades jurídicas y de contabilidad; actividades de las sedes centrales; consultoría de gestión empresarial	1,031	9	15
49	Transporte terrestre y por tubería	0,164	37	13
28	Fabricación de maquinaria y equipo	0,055	127	7
16	Industria de la madera y el corcho, excepto muebles; cestería y espartería	0,015	362	5
22	Fabricación de productos de caucho y plástico	0,149	10	1
37-39	Recogida y tratamiento de aguas residuales; recogida, tratamiento y eliminación de residuos; actividades de descontaminación y otros servicios de gestión de residuos	0,005	84	0
18	Artes gráficas y reproducción de soportes grabados	0,035	5	0
36	Captación, depuración y distribución de agua	0,011	4	0

*Fuente: Elaboración propia a partir de los datos suministrados por Vía Célere.*

Por agregación de los consumos de agua estimados para cada una de las ramas de actividad proveedoras de bienes y servicios se obtendría un montante total de unos 2.987 m<sup>3</sup>.

La estimación de los consumos indirectos es algo más compleja ya que es necesario determinar previamente cuál es el valor total de la producción que deben realizar las diferentes ramas productivas para abastecer de consumos intermedios a todos estos proveedores.

Para determinar esta producción se utilizará la aproximación clásica derivada del modelo implícito en una Tabla Input-Output (Pulido y Fontela, 1993) y que nos permite obtener el efecto total generado sobre el conjunto del sistema económico X, medido en términos de producción, partiendo de una demanda inicial w, que denominaremos vector de impacto, y de las correspondientes matrices de coeficientes técnicos A, que recogen los requerimientos unitarios de consumos intermedios por cada unidad producida y utilizando una expresión general del tipo:

$$X=[I-A]^{-1}w$$

En el caso que nos ocupa el vector de impacto  $W$  estará formado por el valor de la producción facturada por los proveedores, mientras que para las matrices de coeficientes técnicos  $A$  utilizaremos, por un lado, los coeficientes técnicos totales, que incluyen tanto los inputs adquiridos a productores nacionales como a productores del resto del mundo, como los interiores, donde únicamente se recoge los consumos intermedios adquiridos a productores nacionales.

De esta forma, aplicando el modelo de Leontief con los coeficientes totales se obtendría el valor total de la producción  $X_T$  requerida de cada una de las ramas de actividad, tanto en el territorio nacional como en el resto del mundo, necesaria para generar la facturación inicial de los proveedores  $W$ .

Aplicando de nuevo ese mismo modelo con los coeficientes técnicos interiores, se obtendría la producción generada dentro del territorio nacional  $X_N$ .

Finalmente, descontando de esta producción total nacional la realizada directamente por los proveedores, se obtendría el valor de la producción indirecta nacional, mientras que por diferencia entre la producción total y la nacional se obtendría la producción indirecta generada en el resto del mundo.

Producción indirecta nacional:  $PI_N = X_N - W$

Producción indirecta resto del mundo:  $PI_R = X_T - X_N$

Una vez cuantificados estos niveles de producción en cada una de las ramas de actividad y aplicando los coeficientes nacionales de consumo de agua por unidad producida a la producción interior, y los correspondientes coeficientes medios para el resto del mundo (mediana de los datos recogidos en EXIOBASE), se obtendría, finalmente, el consumo total de agua indirecto.

**Tabla 5. Estimación de la producción indirecta. Miles de €.**

CNAE	Descripción	Total $X_T$	Resto mundo $PI_R$	Nacional $X_N$	Indirecta nacional $PI_N$
01	Agricultura, ganadería caza y servicios relacionados	56	25	31	31
02	Silvicultura y explotación forestal	31	10	21	21
03	Pesca y acuicultura	2	1	1	1
05-09	Industrias extractivas	421	364	57	57
10-12	Industrias de la alimentación, bebidas y tabaco	186	66	120	120
13-15	Industria textil, confección, cuero y del calzado	145	114	32	32
16	Industria de la madera y el corcho, excepto muebles	626	92	534	172
17	Industria del papel	103	56	47	47
18	Artes gráficas y reproducción de soportes grabados	80	26	55	50
19	Coquerías y refino de petróleo	170	116	54	54
20	Industria química	646	380	266	266
21	Fabricación de productos farmacéuticos	34	18	16	16
22	Fabricación de productos de caucho y plástico	241	131	110	100
23	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	1.120	135	985	363
24	Fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones	868	420	448	448
25	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	1.219	195	1.024	291
26	Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	108	82	26	26
27	Fabricación de material y material eléctrico	326	204	122	122
28	Fabricación de maquinaria y equipo	331	141	190	64
29	Fabricación de vehículos de motor	126	85	41	41
30	Fabricación de otro material de transporte	83	40	43	43
31-32	Fabricación de muebles y otras manufacturas	121	71	50	50
33	Reparación e instalación de maquinaria y equipo	127	33	94	94
35	Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado	942	234	708	684
36	Captación, depuración y distribución de agua	58	14	44	40
37-39	Recogida y tratamiento de aguas residuales; eliminación de residuos; descontaminación y otros servicios de gestión de residuos	327	123	204	120

41-43	Construcción	7.316	62	7.254	1.415
45	Venta y reparación de vehículos de motor	45	10	35	35
46	Comercio al por mayor e intermediarios	874	130	744	405
47	Comercio al por menor	316	72	244	225
49	Transporte terrestre y por tubería	465	140	325	289
50	Transporte marítimo y por vías navegables interiores	6	2	5	5
51	Transporte aéreo	37	15	22	22
52	Almacenamiento y actividades anexas a los transportes	312	110	202	202
53	Actividades postales y de mensajería	51	9	42	42
55-56	Servicios de alojamiento; comidas y bebidas	138	31	107	107
58	Edición	43	14	28	28
59-60	Actividades de producción cinematográfica, de video y programas de Televisión, grabación de sonido y edición musical; actividades de programación y emisión de radio y televisión	33	10	23	23
61	Telecomunicaciones	154	50	104	104
62-63	Programación, consultoría y otras actividades relacionadas con la informática; servicios de información	81	39	42	42
64	Servicios financieros, excepto seguros y fondos de pensiones	285	81	205	205
65	Seguros, reaseguros y fondos de pensiones, excepto seguridad social obligatoria	63	18	45	45
66	Actividades auxiliares a los servicios financieros y a los seguros	32	10	22	22
68	Actividades inmobiliarias	394	53	341	341
69-70	Actividades jurídicas y de contabilidad; actividades de las sedes centrales; consultoría de gestión empresarial	396	101	296	287
71	Servicios técnicos de arquitectura e ingeniería; ensayos y análisis técnicos	462	58	404	259
72	Investigación científica y desarrollo	2	1	1	1
73	Publicidad y estudios de mercado	80	24	56	56
74-75	Otras actividades profesionales, científicas y técnicas; actividades veterinarias	188	13	175	58
77	Actividades de alquiler	355	78	277	105
78	Actividades relacionadas con el empleo	68	22	46	46
79	Actividades de agencias de viajes, operadores turísticos, servicios de reservas y actividades relacionadas con los mismos	7	4	3	3
80-82	Actividades de seguridad e investigación; servicios a edificios y actividades de jardinería; actividades administrativas de oficina y auxiliares a las empresas	430	100	330	184
84	Administración pública y defensa; seguridad social obligatoria	157	32	125	125
85	Educación	45	13	33	32
86	Actividades sanitarias	30	8	22	22
87-88	Actividades de servicios sociales	1	0	1	1
90-92	Actividades de creación artísticas y espectáculos; actividades de bibliotecas, archivos, museos y otras actividades culturales; actividades de juegos de azar y apuestas	18	5	13	13
93	Actividades deportivas, recreativas y de entretenimiento	21	6	15	15
94	Actividades asociativas	25	7	18	18
95	Reparación de ordenadores; efectos personales y artículos de uso doméstico	7	2	5	5
96	Otros servicios personales	16	4	12	12
97-98	Actividades de los hogares como empleadores de personal doméstico o como productores de bienes y servicios para uso propio	0	0	0	0
99	Actividades de organizaciones y organismos extraterritoriales	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6. Consumo indirecto de agua. m<sup>3</sup>.**

CNAE	Descripción	Coef. Nacional m <sup>3</sup> /Mill.€	Coef. Internac. m <sup>3</sup> /Mill.€	Agua Indirecta m <sup>3</sup>
01	Agricultura, ganadería caza y servicios relacionados	1079,155	1383,436	68.213
02	Silvicultura y explotación forestal	144,366	10,622	3.075
03	Pesca y acuicultura	0,023	24,565	14
05-09	Industrias extractivas	0,000	0,141	51
10-12	Industrias de la alimentación, bebidas y tabaco	0,084	4,481	306
13-15	Industria textil, confección, cuero y del calzado	0,335	1,825	218
16	Industria de la madera y el corcho, excepto muebles	0,015	0,176	19
17	Industria del papel	1,226	5,471	364
18	Artes gráficas y reproducción de soportes grabados	0,035	0,293	9
19	Coquerías y refino de petróleo	0,012	0,046	6
20	Industria química	0,760	3,520	1.541
21	Fabricación de productos farmacéuticos	0,328	1,356	30
22	Fabricación de productos de caucho y plástico	0,149	0,778	117
23	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	0,030	1,739	246
24	Fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones	0,343	2,341	1.137
25	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	0,168	0,801	205
26	Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	0,068	0,279	25
27	Fabricación de material y material eléctrico	0,009	0,091	20
28	Fabricación de maquinaria y equipo	0,055	0,147	24
29	Fabricación de vehículos de motor	0,052	0,298	28
30	Fabricación de otro material de transporte	0,018	0,553	23
31-32	Fabricación de muebles y otras manufacturas	0,121	0,773	61
33	Reparación e instalación de maquinaria y equipo	0,068	0,279	16
35	Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado	2,661	5,411	3.089
36	Captación, depuración y distribución de agua	0,011	0,099	2
37-39	Recogida y tratamiento de aguas residuales; eliminación de residuos; descontaminación y otros servicios de gestión de residuos	0,006	1,876	232
41-43	Construcción	0,268	0,182	390
45	Venta y reparación de vehículos de motor	0,001	0,272	3
46	Comercio al por mayor e intermediarios	0,700	1,523	482
47	Comercio al por menor	1,354	0,679	354
49	Transporte terrestre y por tubería	0,361	0,097	118
50	Transporte marítimo y por vías navegables interiores	0,000	0,000	0
51	Transporte aéreo	0,058	0,329	6
52	Almacenamiento y actividades anexas a los transportes	0,011	0,050	8
53	Actividades postales y de mensajería	0,000	0,000	0
55-56	Servicios de alojamiento; comidas y bebidas	0,000	0,059	2
58	Edición	1,686	0,085	49
59-60	Actividades de producción cinematográfica, de video y programas de Televisión, grabación de sonido y edición musical; actividades de programación y emisión de radio y televisión	1,686	0,085	40
61	Telecomunicaciones	0,000	0,000	0
62-63	Programación, consultoría y otras actividades relacionadas con la informática; servicios de información	0,000	0,014	1
64	Servicios financieros, excepto seguros y fondos de pensiones	0,000	0,000	0
65	Seguros, reaseguros y fondos de pensiones, excepto seguridad social obligatoria	0,000	0,000	0
66	Actividades auxiliares a los servicios financieros y a los seguros	0,000	0,000	0
68	Actividades inmobiliarias	0,000	0,022	1
69-70	Actividades jurídicas y de contabilidad; actividades de las sedes centrales; consultoría de gestión empresarial	1,686	0,085	492
71	Servicios técnicos de arquitectura e ingeniería; ensayos y análisis técnicos	1,686	0,085	441
72	Investigación científica y desarrollo	0,000	1,434	1
73	Publicidad y estudios de mercado	1,686	0,085	96
74-75	Otras actividades profesionales, científicas y técnicas; actividades veterinarias	1,686	0,085	99
77	Actividades de alquiler	1,315	0,279	160
78	Actividades relacionadas con el empleo	1,686	0,085	80

79	Actividades de agencias de viajes, operadores turísticos, servicios de reservas y actividades relacionadas con los mismos	1,686	0,085	6
80-82	Actividades de seguridad e investigación; servicios a edificios y actividades de jardinería; actividades administrativas de oficina y auxiliares a las empresas	1,686	0,085	318
84	Administración pública y defensa; seguridad social obligatoria	1,100	0,445	152
85	Educación	0,000	0,137	2
86	Actividades sanitarias	0,000	0,025	0
87-88	Actividades de servicios sociales	0,000	0,025	0
90-92	Actividades de creación artísticas y espectáculos; actividades de bibliotecas, archivos, museos y otras actividades culturales; actividades de juegos de azar y apuestas	0,000	0,052	0
93	Actividades deportivas, recreativas y de entretenimiento	0,000	0,052	0
94	Actividades asociativas	0,001	0,261	2
95	Reparación de ordenadores; efectos personales y artículos de uso doméstico	0,001	0,121	0
96	Otros servicios personales	0,001	0,121	1
97-98	Actividades de los hogares como empleadores de personal doméstico o como productores de bienes y servicios para uso propio	0,000	0,708	0
99	Actividades de organizaciones y organismos extraterritoriales	0,000	0,000	0

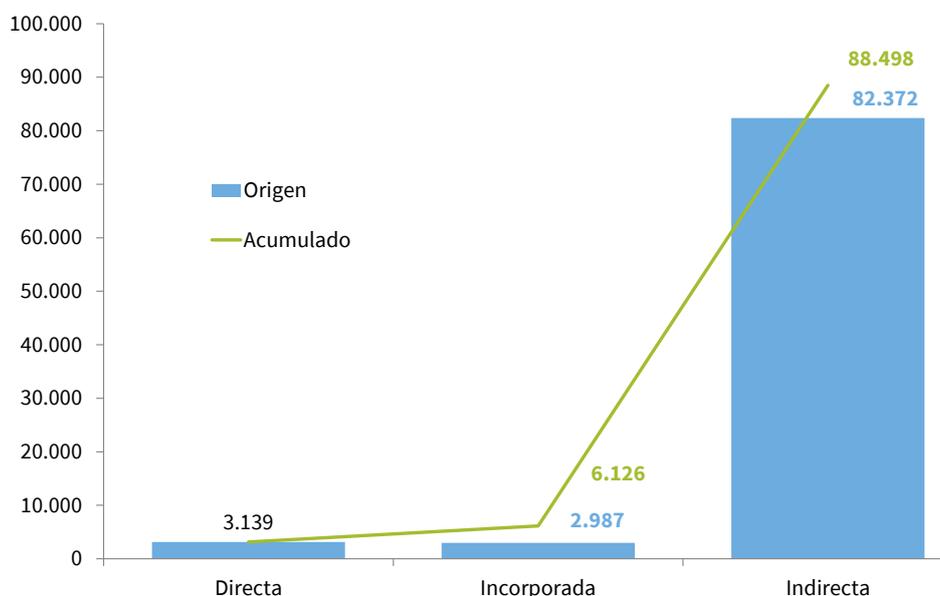
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5 se recogen las producciones estimadas mediante el modelo input-output, mientras que en la tabla 6 aparecen, tanto los coeficientes de consumo medio por unidad producida a nivel nacional e internacional, como el volumen total de agua indirecta.

Conjuntamente, este consumo indirecto ascendería a unos 82.372 m<sup>3</sup> de agua.

Finalmente, por agregación del consumo directo, más el incorporado por los proveedores, y el indirecto se obtendría una cifra total de 88.498 m<sup>3</sup>, tal como se refleja en el gráfico que presentamos a continuación.

**Gráfico 14. Estimación del consumo total de agua por el enfoque de valor.**



Fuente: Elaboración propia.

Considerando que el total de la superficie construida se sitúa, como decíamos, en 15.428,85 m<sup>2</sup> podríamos inferir que el volumen total de agua por metro construido se situaría en unos 5.700 litros de agua por m<sup>2</sup> construido.

### 4.3. Estimación por el enfoque de peso.

---

Bajo este segundo enfoque se combinarían las metodologías de la Evaluación del Ciclo de Vida de los productos (Life Cycle Assessment, LCA) y la Evaluación de la HH (Water Footprint Assessment, WFA), utilizada por la Water Footprint Network Hoekstra et al.(2011).

La metodología LCA se utiliza para cuantificar los impactos ambientales que se generan durante todas las fases del proceso de producción de un producto determinado, tanto a través de las técnicas de producción aplicadas como del consumo de productos intermedios, analizando sus impactos, entre otros, sobre el cambio climático y la emisión de contaminantes.

Para ello se realiza un inventario detallado de todos los procesos y productos intermedios que intervienen en el proceso de producción de dicho producto, utilizando programas de modelización específicos y bases de datos especializadas, como Ecoinvent (Ecoinvent database 3.2, [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org)).

Por su parte, WFA es una metodología de investigación que analiza la relación entre el consumo de determinados bienes y servicios y la utilización de agua necesaria para su producción, de forma directa como agua verde (para productos agrícolas y silvícolas) y como agua azul (para el regadío en la agricultura y la producción del resto del productos y servicios). A esta HH directa (verde más azul) se tendría que sumar la indirecta, como agua gris (o volumen de agua necesario para la eliminación de los contaminantes generados en dichos procesos de producción por dilución). Pero esta HH gris sólo tenemos que computarla si los efluentes no se depuran: por definición, si devolvemos masas de agua depurada a los ríos, no hay HH gris.

LCA y WFA son dos metodologías distintas, pero que se pueden combinar para el cálculo de la HH.

El esquema de cálculo que hemos seguido ha sido la identificación de los diferentes materiales utilizados en el proceso de construcción de la promoción inmobiliaria Villaverde de Vía Célere y que se introducían en un apartado precedente.

Tal como adelantábamos en dicho apartado, para realizar este inventario se han revisado con detalle, a partir de la contabilidad de costes, las compras directas de bienes y servicios utilizados por Vía Célere en dicha promoción inmobiliaria.

Hemos revisado, para ello, cerca de 6.000 albaranes de compras directas de materiales y otros 3.500 albaranes relativos a diferentes servicios contratados en la construcción de dicha promoción (que comprenden tanto materiales, transporte, instalación, etc.), tales como pintura exterior e interior, paneles de yeso laminado, carpintería metálica, mobiliario y electrodomésticos de cocinas, carpintería de madera, pavimentos laminados, suministro de morteros y de hormigones, etc.

Para el cálculo de la HH de los diversos elementos y materiales empleados en la promoción Villaverde se ha procedido, siempre que se ha podido, a la agrupación, en materiales primarios, y para ello se han descompuesto algunos materiales compuestos en sus materias primas.

Así se ha procedido con el hormigón y el mortero. En el hormigón se han tenido en cuenta las diferentes dosificaciones en función de la resistencia; por ejemplo, para el hormigón H-25 se han considerado, por cada metro cúbico de hormigón, 380 kg de cemento, 1.765 kg de áridos y 200 litros de agua. O, en el caso del mortero M5, se han considerado por cada metro cúbico 229 kg de cemento, 1.285 kg de arena y 240 litros de agua.

A partir de este análisis se han identificado 32 materiales principales, que suman un peso total de 33.508,1 Tn. y que se recogían en la tabla 3, agrupados en ocho grupos principales: aglutinantes, metales, pétreos, cerámicos, plásticos, maderas, compuestos y agua, esta última diferenciando el agua utilizada para la producción de hormigones y morteros -agua indirecta- y el agua azul directamente utilizada a lo largo del todo el proceso de construcción in-situ de la promoción de Villaverde.

Como puede comprobarse en dicha tabla 3, los más importantes en términos de su peso son seis grupos:

- Los materiales pétreos (59%).
- Aglutinantes (16%).
- Agua (14%).
- Materiales cerámicos (7%).
- Metales (3%).
- Maderas (0,5%).

A su vez, de estos 32 materiales se han seleccionado todos aquellos que representan más de un 0,2% del peso total, seleccionando 11 materiales que, conjuntamente, representan el 99,38% del peso del total de los materiales utilizados en la construcción de la promoción inmobiliaria de Villaverde, tal como se recoge en la tabla 7.

**Tabla 7. Materiales seleccionados. Peso y porcentaje sobre el total.**

<b>Materiales</b>	<b>Kg</b>	<b>% sobre total</b>
Cemento	3.600.551	10,74%
Yeso	165.143	0,49%
Yeso laminado (Pladur)	542.562	1,62%
Prefabricados Hormigón	1.033.895	3,09%
Acero	929.228	2,77%
Arena/grava	19.861.275	59,27%
Baldosas	256.398	0,77%
Ladrillos	1.844.691	5,51%
Vidrios	63.982	0,19%
Maderas	169.390	0,51%
Agua	4.831.754	14,42%
<b>Peso Total Kg</b>	<b>33.298.869</b>	<b>99,38%</b>

*Fuente: Elaboración propia a partir de los datos suministrados por Vía Célere.*

Para proceder al cálculo de la HH de cada uno de estos 11 materiales hemos utilizado fuentes de información diversas.

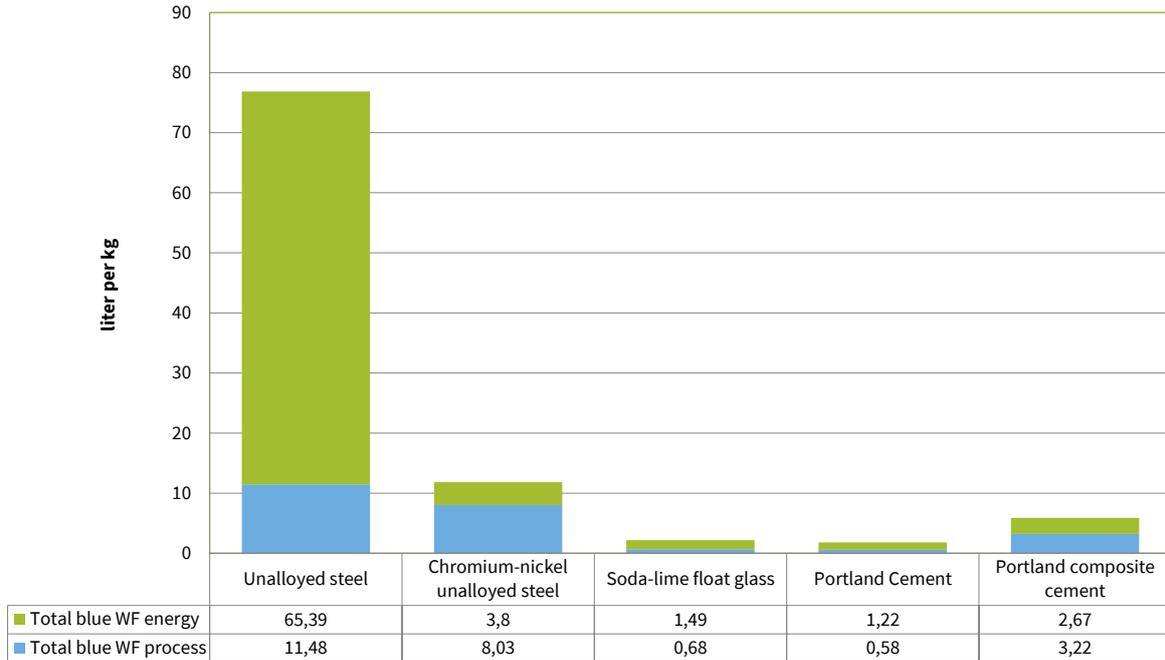
Para el cálculo de la HH de cementos, aceros y vidrios hemos utilizado el estudio “The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, Cement and Glass” Gerbens-Leenes et al., (2018) en el que se señalan que:

*“el acero sin alear constituye el 89% de la producción mundial de acero... El cemento Portland y el cemento composite Portland son los dos tipos de cemento más suministrados, representando el 86% suministrado en la EU-25 en 2005. El vidrio soda-lime es el vidrio más aplicado en la construcción, siendo el vidrio flotante plano el más producido”.*

La HH azul de estos materiales se recoge en el gráfico 15, diferenciando el agua utilizada directamente en sus procesos propios de producción (representa en dicho gráfico en azul) y el agua utilizada en la producción de la energía necesaria para ello (representada en rosa).

Como vemos, la HH azul total del acero sin alear es de 11,83 litros/kg, la del cemento Portland es de 2,17 litros/kg y la del vidrio plano flotante de 5,89 litros/kg.

**Gráfico 15. Huella hídrica azul de diversos materiales de construcción.**



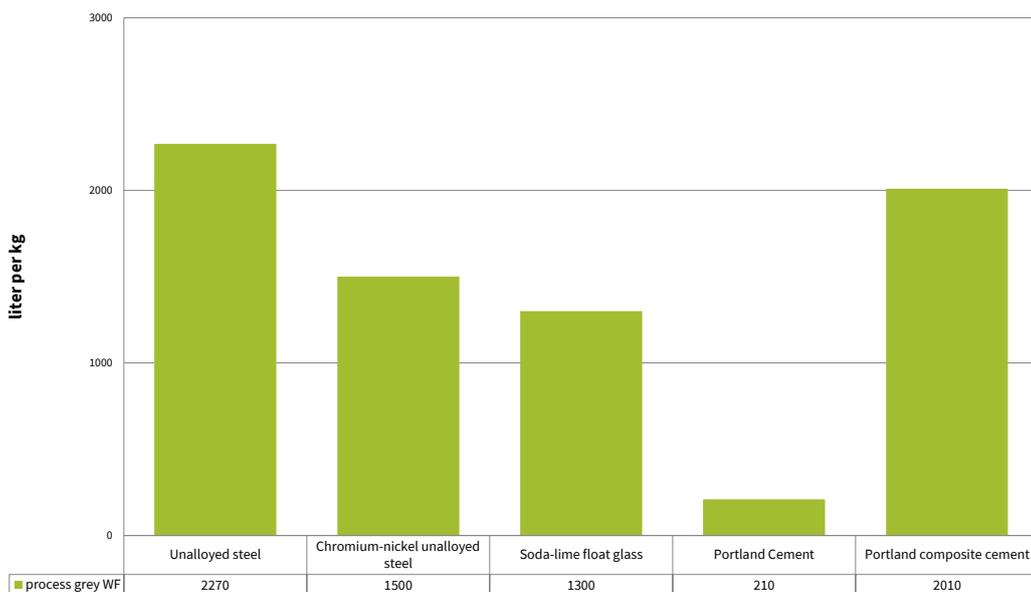
Fuente: *Gerbens-Leenes et al., 2018.*

Pero, en general, es muchísimo más importante la HH gris de los materiales producidos a través de procesos industriales, al liberarse en dichos procesos diversos productos químicos muy contaminantes (cadmio, cobre, mercurio...) que precisarían de elevados volúmenes de agua para su disolución si no se depuraran convenientemente.

En el gráfico 16 se recoge la HH gris de estos mismos materiales de construcción que, como podemos ver, es particularmente alta para la producción de acero y de vidrio.

Así, la HH gris del acero no aleado superaría los 2.200 litros/kg, la del acero cromo níquel se situaría en unos 1.500 litros/kg, y la del vidrio plano flotante de 1.300 litros/kg; mientras que los cementos se situarían en un nivel mucho más moderado de 210 litros/kg.

**Gráfico 16. HH gris de diversos materiales de construcción.**



Fuente: *Gerbens-Leenes et al., 2018.*

Para el cálculo de la HH de los áridos (arenas y gravas) hemos utilizado los datos directamente proporcionados por la base de datos Ecoinvent, Wernet et al. (2016), a partir de la cual hemos determinado una HH azul directa de 1,38 litros/kg y una HH gris de 0,02 litros/kg (esencialmente de la utilización de estructuras y herramientas de acero en el proceso de extracción de dichos áridos).

Para los prefabricados de hormigón se ha calculado su HH a partir de la de sus correspondientes materias primas, considerando, por cada tonelada de prefabricado, 190 kg de cemento, 775 kg de áridos y 90 litros de agua, lo que determina una HH azul de 1,56 litros por kg de los prefabricados de hormigón, a la que se añadirían 39,9 litros/kg de HH gris si sus residuos no se depuran convenientemente.

La madera es uno de los materiales que tiene una HH verde más elevada. Tenemos que tener en cuenta que la evaporación de los bosques representa el 45-58% del flujo de vapor total de la tierra a la atmósfera aunque, por supuesto, no todo este volumen de agua está relacionado con el proceso de evaporación y transpiración de las plantas vinculado con su proceso de crecimiento.

Según las estimaciones de Van Oel y Hoekstra (2010) la huella verde de la madera seca de pino en rollo en España es de 655 m<sup>3</sup> de agua por m<sup>3</sup> de madera (algo menor que la media mundial, que se sitúa en 726 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), es decir 1.310 m<sup>3</sup>/Tn de madera, teniendo en cuenta que se utiliza como estándar de mercado que cada metro cúbico de madera seca de pino pesa 500 kg.

Por tanto, la HH de la madera seca de pino en rollo es de 1.310 l/kg; si bien, el proceso por el cual dicha madera en rollo pasa a madera transformada incrementa dicha HH verde inicial.

Para el cálculo específico de la HH de los diferentes tipos de madera utilizados en la promoción de Villaverde se han utilizado los datos que figuran en la Tabla 8.

**Tabla 8. Cálculo de la HH de la madera utilizada en la promoción Villaverde.**

kg madera	APLICADA EN:	tipo madera	densidad kg/m3	densidad media kg/m3	Huella hídrica m3/m3	Huella hídrica l/kg	Total Huella Hídrica litros
23.159	Muebles cocina	Aglomerado P2	630	630	1.031	1.636,5	37.899.887
87.445	Puertas	Pino rollo (6,1%)	500	500	655	1.310,0	159.057.333
		MDF (43,5%)	600-800	700	708	1.011,4	
		Aglomerado (50,4%)	160-450	400	1.031	2.577,5	
40.431	Suelos	HDF	810-1127	1000	1.331	1.331,0	53.813.661
1.872	Madera baños	Pino rollo	500	500	655	1.310,0	2.452.320
3.676	Muebles baños	Aglomerado	160-450	400	1.031	2.577,5	9.474.890
12.807	Palets	Pino rollo	500	500	655	1.310,0	16.777.170
<b>169.390</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Madera tipo</b>				<b>1.649,9</b>	<b>279.475.262</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos suministrados por Vía Célere.

El sistema de cálculo seguido ha sido el de asignar un tipo de madera para cada uso y convertir los datos de HH estimados por Schysn et al. (2017) en m<sup>3</sup> de agua por m<sup>3</sup> de cada tipo de madera a partir del cálculo de la densidad media de cada de ellos a datos de HH en litros por kg.

Como vemos, la HH media de la madera utilizada sería de 1.649,9 litros de agua por kg, esencialmente HH verde evapotranspirada en el proceso de crecimiento natural de los árboles.

No hemos podido encontrar ningún estudio que analice con detalle la HH del yeso, pero analizando su proceso de producción hemos estimado que su HH azul es muy similar a la del cemento, mientras que la gris posiblemente será más reducida.

Para nuestros cálculos hemos asumido los mismos valores para las huellas hídricas del yeso y del cemento. Respecto al yeso laminado (pladur), analizando su composición (92% yeso y 8% papel reciclado), hemos contrastado que la HH

del papel de impresión en España se sitúa en 321 en metros cúbicos de agua por tonelada (equivalente a 321 litros de agua por kg), empleándose en su producción esencialmente celulosa procedente de eucalipto y teniendo en cuenta las altas tasas españolas de recuperación de papel para reciclado (Van Oel y Hoekstra, 2010). Por tanto, la HH azul del yeso laminado sería de 27,7 litros/kg.

Los últimos materiales de los que se ha estimado su HH son los ladrillos y las baldosas, para los cuales se ha asumido un método de cálculo similar a los anteriores, utilizando, en esta ocasión el trabajo desarrollado por Skouteris et al. (2018) donde calculan que la HH azul y verde, por ladrillo de tipo medio, sería de 2,02 litros por kg de ladrillos y baldosas y que la HH gris sería de 1,3 litros adicionales, si no se depuran convenientemente los efluentes que se producen en su proceso de producción.

Teniendo en cuenta que un ladrillo medio pesa 2,3 Kg, la HH azul y verde de los ladrillos y baldosas sería de 0,88 litros/kg e incluyendo la HH gris, se alcanzaría una HH total, sin depuración, de 1,44 litros/kg.

El cálculo global de la HH azul y verde y la total de cada uno de los materiales se recoge en la tabla 9, donde se presentan, en las dos primeras columnas el peso en kg (columna 1) de cada uno de los 11 materiales seleccionados que, en conjunto, suman el 99,38% del peso total de los materiales empleados en la promoción de Villaverde por Vía Célere.

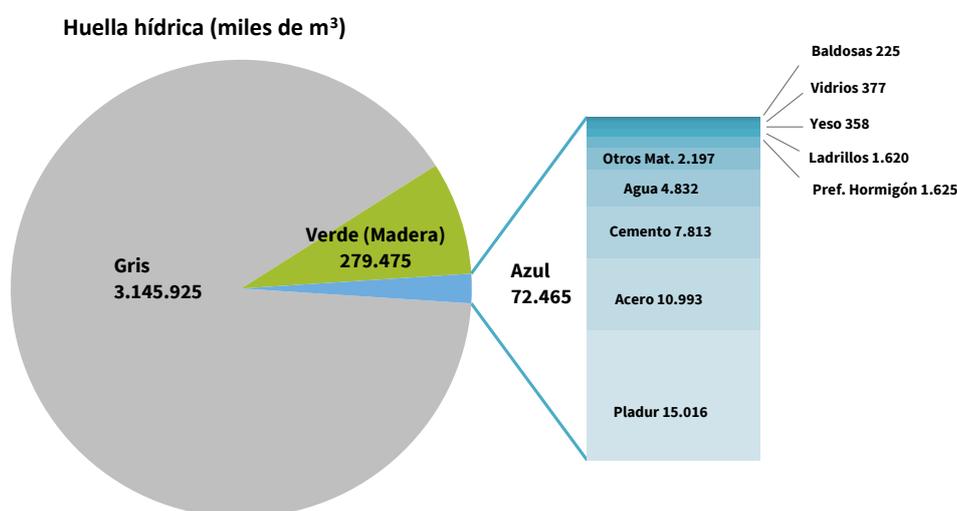
Multiplicando la HH azul y verde de cada material (recogida en la columna 3) por dicho peso en kg (columna 1) obtenemos la HH azul y verde de cada uno de los 11 materiales seleccionados y su volumen total, que suma 349.743 m<sup>3</sup>, lo que supondría una HH media azul y verde de la promoción de 10,5 litros/kg de material.

Hay que destacar que de este elevado volumen de agua, casi el 80% corresponde a agua verde, utilizada por las masas forestales en su crecimiento a lo largo de decenas a centenares de años, y que se corresponde con los 169,4 Tn de madera utilizada en la promoción inmobiliaria (apenas 0,5% de los materiales empleados). Es interesante observar cómo el segundo material con mayor HH son los áridos (gravas y arenas), con el 7,8%, aunque representan cerca del 60% del peso total.

Si hacemos la hipótesis de que el 0,62% de los materiales restantes, que no hemos tenido en cuenta en este análisis por considerarlos de escasa relevancia (y que en la tabla 9 figuran en la fila de Resto Mats), tuvieran una HH también de 10,5 litros/kg, la HH azul y verde total de la promoción ascendería a 351.940 m<sup>3</sup>, y exclusivamente la HH azul ascendería a 72.465 m<sup>3</sup> de agua, unos 2,1 litros por kg de material de construcción empleado (calculado ahora como el consumo directo e indirecto total de agua utilizado para la producción o extracción industrial de los materiales empleados en la promoción, es decir, excluyendo la madera).

En las últimas columnas, en color gris, añadimos a estos cálculos la HH gris, es decir, calculamos a nivel teórico la HH total, si no se utilizaran sistemas de depuración adecuados para el tratamiento de los efluentes en la producción de todos los materiales aplicados en la construcción de la promoción.

**Gráfico 17. Distribución de la HH total.**



Fuente: Elaboración propia.

Como podemos ver, la HH total ascendería ahora a 3,498 hectómetros cúbicos, o millones de m<sup>3</sup> de agua, de los cuales, teóricamente, 3,1 hm<sup>3</sup> serían los teóricamente necesarios para diluir los contaminantes producidos y no depurados.

Es interesante observar cómo ahora los materiales con mayor HH total, por ser los más contaminantes, serían el acero (61% del total), seguido de los vidrios y cementos y yesos (columna 6). La madera también sigue teniendo una HH total muy elevada, por su gran HH verde.

**Tabla 9. Cálculo de la HH de la promoción inmobiliaria de Villaverde.**

Materiales	Peso materiales		Huella hídrica verde + azul			Huella hídrica TOTAL (verde + azul + gris)		
	(1) Kg	(2) %/ total	(3) litros / Kg	(4) litros por material	(5) %/ total	(6) litros /Kg	(7) litros por material	(8) %/ total
Cemento	3.600.551	10,75%	2,17	7.813.196	2,23%	212,2	763.928.912	21,98%
Yeso	165.143	0,49%	2,17	358.361	0,10%	212,2	35.038.409	1,01%
Yeso laminado (Pladur)	542.562	1,62%	27,68	15.016.164	4,29%	212,2	115.115.386	3,31%
Prefabricados Hormigón	1.033.895	3,09%	1,57	1.625.076	0,46%	41,5	42.893.920	1,23%
Acero	929.228	2,77%	11,83	10.992.764	3,14%	2281,8	2.120.339.780	61,00%
Arena/grava	19.861.275	59,27%	1,38	27.408.559	7,84%	1,4	27.815.702	0,80%
Baldosas	256.398	0,77%	0,88	225.184	0,06%	1,4	370.105	0,01%
Ladrillos	1.844.691	5,51%	0,88	1.620.120	0,46%	1,4	2.662.772	0,08%
Vidrios	63.982	0,19%	5,89	376.856	0,11%	1.305,9	83.553.820	2,40%
Maderas	169.390	0,51%	1.649,9	279.475.262	79,91%	1.649,9	279.475.262	8,04%
Agua	4.831.754	14,42%	1	4.831.754	1,38%	1,0	4.831.754	0,14%
<b>Total 11 Mats.</b>	<b>33.298.869</b>	<b>99,38%</b>	<b>10,50</b>	<b>349.743.296</b>	<b>100%</b>	<b>104,4</b>	<b>3.476.025.821</b>	<b>100%</b>
<b>Resto Mats</b>	<b>209.212</b>	<b>0,62%</b>	<b>10,50</b>	<b>2.197.392</b>		<b>104,4</b>	<b>21.839.421</b>	
<b>TOTAL PROMOCION VILLAVERDE</b>	<b>33.508.082</b>	<b>100%</b>	<b>10,50</b>	<b>351.940.688</b>	<b>100%</b>	<b>104,4</b>	<b>3.497.865.241</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 5. CONSIDERACIONES FINALES.

A lo largo del presente informe se han recogido los principales resultados obtenidos en el contexto del primer proyecto aplicado que se ha desarrollado en el contexto del Observatorio UAM - Vía Célere para la Sostenibilidad Ambiental de la Edificación Residencial y cuyas líneas generales figuran en el apartado introductorio.

Tras este primer capítulo de presentación, se recoge un segundo apartado donde se resume el “estado del arte” en términos de las metodologías alternativas de análisis y tratamiento de la HH, incorporándose las referencias bibliográficas más relevantes identificadas.

A continuación, en el tercer capítulo se presenta un breve análisis cuantitativo de la situación actual de los recursos hídricos en España, basado en la Cuenta satélite del Agua, elaborada por el I.N.E., combinada con otras bases estadísticas de consumo, tanto nacionales como internacionales.

Tal como se refleja en el citado capítulo, únicamente en torno al 10% del agua total captada en España se destina a su distribución por cañerías como agua potable y es consumido en un 64% por los hogares y el 36% restante, por las diferentes ramas productivas. El resto del agua no potable se destina mayoritariamente al riego (79%), mientras que el 21% restante se destinaría a refrigeración y otros usos.

Del total de algo más de 35.700 millones de m<sup>3</sup> de agua captada anualmente en nuestro país, se retornarían a medios continentales unos 21.800 millones de m<sup>3</sup> y a medios no continentales (marinos) unos 890 millones, con lo que el consumo total de agua se situaría en torno a los 13.700 millones de m<sup>3</sup>.

Para el consumo de agua potable, se aprecia una progresiva reducción en relación con el número de hogares y la producción total (PIB) lo que supondría un sensible proceso de eficiencia y ahorro de recursos.

En relación a otras economías europeas, el consumo doméstico per cápita, se sitúa entre los más altos, alcanzando valores similares a otras economías avanzadas, mientras que en el consumo de agua por las actividades productivas, ocupamos una posición intermedia en el contexto europeo aunque significativamente más elevada que los países más avanzados, lo que podría venir explicado por nuestras diferencias en la estructura productiva, al constatarse las elevadas diferencias registradas en los consumos unitarios de cada rama productiva.

Finalmente, en el cuarto capítulo se presentan los resultados empíricos obtenidos en el cálculo de la HH de la promoción de Vía Célere en Villaverde (Madrid), mediante dos enfoques alternativos, el de valor y el de peso.

Para realizar estas dos aplicaciones ha sido necesario abordar un exhaustivo análisis de los flujos, tanto físicos como económicos, implicados en el proceso de construcción de la citada promoción, habiéndose analizado más de 5.900 albaranes de compra y unas 3.500 facturas de proveedores.

En el cálculo de la HH mediante la aproximación de valor se han utilizado los coeficientes medios de consumo de agua (verde y azul) por unidad producida en cada una de las 62 ramas diferenciadas en la Tabla Input-Output española, y obtenidos de la base de datos EXIOBASE.

Estos coeficientes se han aplicado, tanto para el cálculo del consumo de agua incorporado en los bienes y servicios adquiridos a los proveedores, como para la estimación del consumo de agua indirecto, y que sería el realizado por el conjunto del sistema económico para producir todos los bienes y servicios incorporados en dicha producción y que se ha obtenido aplicando la metodología básica de análisis Input-Output.

Agregando estos consumos incorporados e indirectos al consumo directo registrado en la propia obra se alcanzaría un total de unos 88.498 m<sup>3</sup> de agua, y donde las mayores cantidades se acumularían, como es lógico, en los consumos indirectos de las ramas primarias (agricultura y selvicultura).

Entre los consumos incorporados, las mayores aportaciones provendrían del propio sector de la construcción, por los elevados montantes de la producción subcontratada.

Por su parte, entre los consumos indirectos, los mayores impactos relativos provendrían de la producción inicial de la madera, seguida por el caucho y plástico, el suministro de energía eléctrica y el comercio.

Para el enfoque a partir del peso de los materiales utilizados, el método de cálculo aplicado combina la utilización de las dos metodologías más utilizadas a nivel internacional: la metodología de la Evaluación del Ciclo de Vida de los productos (Life Cycle Assessment, LCA), utilizando la base de datos Ecoinvent, y la metodología de Evaluación de la HH (Water Footprint Assessment, WFA), utilizada por la Water Footprint Network.

Concretamente, se ha agregado de forma ponderada la HH individual de cada uno de los materiales utilizados en la construcción de la promoción Villaverde, identificando de forma detallada los diferentes materiales utilizados en dicho proceso de construcción, revisando con detalle, a partir de su contabilidad de costes, las compras directas de bienes y servicios.

Dicha información se ha clasificado a partir de materiales primarios, siempre que se ha podido, hasta descomponer algunos materiales compuestos en sus materias primas e identificar un total de 32 materiales principales, que suman un peso total de 33.508,1 Tn.

De estos 32 materiales se han analizado todos los que representan más de un 0,2% del peso total, seleccionando 11 materiales que, conjuntamente, representan el 99,38% del peso del total de los materiales utilizados en la construcción de la promoción inmobiliaria de Villaverde.

A continuación se ha procedido al cálculo de la HH de cada uno de estos 11 materiales principales, bien de forma directa, o bien utilizando informes y estudios relativos, obteniendo cómo resultado final que la HH azul y verde total de la promoción Villaverde ascendería a 351.940 m<sup>3</sup>, equivalente a 10,5 litros por kg de material empleado.

Por su parte, la HH azul ascendería a 72.465 m<sup>3</sup> de agua, unos 2,2 litros por kg de material de construcción empleado, calculada como el consumo directo e indirecto total de agua utilizado en la producción o extracción industrial de los materiales empleados en la promoción, es decir, excluyendo la madera.

Esta diferenciación es muy relevante dado el elevado volumen de agua utilizado por la madera en el crecimiento de las masas forestales a lo largo de decenas a centenares de años (la madera es el único material utilizado en la promoción que tiene HH verde), y que asciende a casi el 79% de la HH azul y verde, aunque la madera apenas representa el 0,5% del total de los materiales empleados.

Por último, si añadimos a nuestros cálculos la huella hídrica gris de cada material, incorporamos al cálculo el volumen de agua teóricamente necesaria para diluir los contaminantes producidos y no depurados se obtendría una huella hídrica total de 3,498 hectómetros cúbicos, equivalentes a casi a 104,4 litros de agua por kg de material empleado.

De este total, unos 3,146 hm<sup>3</sup> (93,9 litros/kg de material empleado) corresponden específicamente a la HH gris, y serían los teóricamente necesarios para diluir los contaminantes producidos y no depurados. Es decir, se trata del cálculo, a nivel teórico, de la HH total que habría tenido la promoción Villaverde si no se hubieran utilizado sistemas de depuración adecuados para el tratamiento de los efluentes en la producción de todos y cada uno de los materiales empleados en su construcción.

Las dos aproximaciones realizadas no serían directamente comparables; ya que mientras que la primera recoge únicamente los flujos, fundamentalmente de agua azul, generados durante los procesos productivos, la segunda considera todo el ciclo de vida de los productos incorporados y donde, especialmente, la madera presenta unos valores significativamente más elevados.

Ahora bien, si dejamos aparte la huella gris, que no se computa en la primera aproximación, y eliminamos la aportación de la madera en el segundo cálculo, se obtendrían unos valores de HH en torno a los 72.465 m<sup>3</sup>, frente a los 88.498 m<sup>3</sup> obtenidos mediante la primera aproximación.

A modo de resumen podríamos concluir, por tanto, que la HH azul, es decir, sin incluir la madera y la huella gris, se situaría entre los 72.465 m<sup>3</sup> obtenidos mediante el enfoque de peso y los 88.498 m<sup>3</sup> derivados del enfoque de valor.

Considerando finalmente que la superficie total construida en la promoción analizada se sitúa en los 15.428,85 m<sup>2</sup>, la HH azul oscilaría entre 4,6 y 5,7 m<sup>3</sup> por m<sup>2</sup> construido, elevándose hasta el entorno de los 23 m<sup>3</sup> si se incorpora la huella verde de la madera y hasta los 227 m<sup>3</sup> de agua por cada m<sup>2</sup> construido si se incluye la huella gris.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Á. de Miguel (2013) "La HH como indicador de presiones: aplicación a la cuenca del Duero y al sector porcino español". TESIS DOCTORAL. Universidad de Alcalá de Henares.

Ahemd K. Abd El-Hamed (2017) "Water-Efficient scenario for finishing material used in a residential building: A "Cradle-to Gate" Approach". *Al Azhar's 14th International Conference on Engineering, Architecture and Technology*. El Cairo 12-14 December 2017.

Allan JA (1997) "Virtual water: A Long-Term Solution for Water Short Middle Eastern Economies?" Paper presented at the 1997 British Association Festival of Science, University of Leeds, England.

Allan JA (2011) "Virtual Water: Tackling the Threat to Our Planet's Most Precious Resource". I.B.Tauris & Co Ltd, London.

Bardham, S. (2011) "Assessment of water resource consumption in building construction in India". *Ecosystems and Sustainable Development VIII*. Vol. 114. pp.93-101.

Bardhan, S. and I.R. Choudhri (2016) "Studies on virtual water content of urban buildings in India". *Indian Journal of Science and technology*, Vol. 9(6) 8 págs.

Cazcarro, I., R. Duarte y J. Sánchez Chóliz (2013) "Multiregional Input-Output Model for the Evaluation of Spanish Water Flows" *Environmental Science & Technology*, 47. pp.12275-12283 American Chemical Society Publications, dx.doi.org/10.1021/es4019964.

Chapagain AK, Tickner D (2012) "Water footprint: Help or hindrance?" *Water Alternatives* 5 (3)563-581.

Dietzenbacher, E. y E. Velázquez (2007) "Analyzing Andalusian virtual water trade in an input-output framework". *Regional Studies*, Taylor Francis (Routledge), 2007, 41 (02), pp.251-262. <10.1080/00343400600929077>. <hal-00514634>.

Duarte, R., J. Sánchez-Chóliz y J. Bielsa (2002) "Water use in the Spanish economy: an input/output approach" *Ecological Economics* 43 (2002) pp.71-85.

FAO AQUACROP 3.1 (2010a) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Accessed 20 October 2012.

FAO CROPWAT 8.0 decision support system model (2010b) Food and Agriculture Organization of the United Nations, last acces: 10 May 2010. www.fao.org/ag/AGL/aglw/cropwat.stm. Accessed last acces: 10 May 2010.

Gerbens-Leenes, P.W., A.Y. Hoekstra, R. Bosman. (2018) "The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass". *Water Resources and Industry*. 19, 1-12.

González-Vallejo, P., J. Solís-Guzmán, R. Llácer y M. Marrero (2015) "La construcción de edificios residenciales en España en el periodo 2007-2019 y su impacto según el indicador Huella Ecológica". *Informes de la Construcción*. Vol. 67, 539, e111, 13 págs.

Haddadin MJ (2003) Exogenous water: A conduit to globalization of water resources. In: Hoekstra AY (ed) *Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*, vol 12. vol Value of Water Research Report Series. UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.

Haddadin MJ (2006) *Water resources in Jordan: Emerging Policies for Development, the Environment and Conflict Resolution*. RFF Publishers, Washington, D.C.

Haddadin MJ (2007) Quantification and significance of shadow water in semi arid countries. *Water Policy* 9:439-456.

Hemant Jain and Sandeep Shrivastava (2016) "Accounting of water footprint in substructure in a typical multistorey concrete building". ICSBE2016-202. The 7th *International Conference on Sustainable Built Environment*. Sri Lanka 16-18 December 2016.

Hoekstra AY (2003) "Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade". *Value of Water Research Report Series*, UNESCO-IHE, vol n°12. Delft, The Netherlands.

Hoekstra AY, Chapagain AK (2008) "Globalization of water: sharing the planet's freshwater resources". Blackwell Publishing, Oxford.

- Hoekstra AY (2009) "Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis". *Ecol Econ* 68 (7)1963-1974.
- Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM (2011) "The water footprint assessment manual: Setting the global standard". Earthscan, London.
- INE (2014), "Metodología de las cuentas satélite del agua en España. Madrid.
- León, A.L., S. Muñoz, J. León y P. Bustamante (2010) "Monitorización de variables medioambientales y energéticas en la construcción de viviendas protegidas: Edificio Cros-Pirotecnica en Sevilla". *Informes de la Construcción*. Vol. 62, 519, pp.67-82.
- Mercader, M.P., A. Ramírez de Arellando y M. Olivares (2012) "Modelo de cuantificación de las emisiones de CO2 producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución". *Informes de la Construcción*. Vol. 64, 527, pp.401-414.
- Molden D. (2007) "Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture". Earthscan, London, UK.
- OECD (2012) "OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction". OECD Publishing.
- Oki T, Kanai S (2004) "Virtual water trade and world water resources". *Water Sci Technol* 49 (7)203-209.
- Pulido, A y Fontela. E. (1993) "Análisis Input-Output: Modelos, datos y aplicaciones". Pirámide. Madrid.
- Schyns, J. F., M.J. Booij , A.Y. Hoekstra (2017) "The water footprint of wood for lumber, pulp, paper, fuel and firewood". *Advances in Water Resources* 107, 490-501.
- Seitzinger SP, Mayorga E, Bouwman AF, Kroeze C, Beusen AHW, Billen G, Van Drecht G, Dumont E, Fekete BM, Garnier J, Harrison JA (2010) "Global river nutrient export: A scenario analysis of past and future trends". *Global Biogeochemical Cycles* 24 (4)GB0A08.
- Skouteris G., S. Ouki , D.Foo , D.Saroj , M. Altini , P. Melidis, B. Cowley, G. Ells, S. Palmer, S. O'Dell (2018) "Water footprint and water pinch analysis techniques for sustainable water management in the brick-manufacturing industry". *Journal of Cleaner Production* 172, 786-794.
- Solís Guzmán, J. (2013) Metodología para determinar la huella ecológica de la construcción de edificios de uso residencial en España". *Actas del I Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-eficientes*. Sevilla 20-22 Mayo de 2103.
- Tukker, A., de Koning, A., Wood, R., Hawkins, T., Lutter, S., Acosta, J., Rueda Cantuche, J.M., Bouwmeester, M., Oosterhaven, J., Drosdowski, T., Kuenen, J. (2013) "EXIOPOOL - Development and Illustrative Analyses of a Detailed Global MR EE SUT/IOT". *Economic Systems Research*, 25 (1), pp. 50-70. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84874067056&partnerID=40&md5=c6b58178ca58c18e0dccc9723a56740>.
- Van Oel, P.R. y A.Y. Hoekstra (2010) "The green and blue water footprint of paper products: methodological considerations and quantification". *Value of Water Research Report series no. 46*. UNESCO-IHE, Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., (2016) "The ecoinvent database version 3 (part I) overview and methodology" *The International Journal of Life Cycle Assessment*, [online] 21(9), pp.1218–1230.
- Williams JR, Jones CA, Kiniry JR, Spanel DA (1989) The EPIC *Growth Model*. *Trans ASABE* 32 (2)497-511.
- Wood, R., Stadler, K., Bulavskaya, T., Lutter, S., Giljum, S., de Koning, A., Kuenen, J., Schütz, H., Acosta-Fernández, J., Usubiaga, A., Simas, M., Ivanova, O., Weinzettel, J., Schmidt, J.H., Merciai, S., Tukker, A. (2015) "Global sustainability accounting-developing EXIOBASE for multi-regional footprint analysis" *Sustainability* (Switzerland), 7 (1), pp. 138-163.<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84922476522&partnerID=40&md5=f037db6757a45173cbb6e5d787d74b9d>.
- Zhao X, Yang H, Yang ZF, Chen B, Qin Y (2010) "Applying the Input-Output Method to Account for Water Footprint and Virtual Water Trade in the Haihe River Basin in China". *Environ Sci Technol* 44 (23)9150-9156.







Universidad Autónoma  
de Madrid

---

