Canal de Isabel II

CUADERNOS DE I+D+I

5

El agua virtual y la huella hidrológica en la Comunidad de Madrid

© Canal de Isabel II - 2009

Autores:
José Manuel Naredo Pérez (Coordinador)
Óscar Carpintero Redondo
José Frías San Román
Antonio Saa Requejo
José María Gascó Montes

Dirección del Estudio:
Francisco Cubillo González

Edición coordinada por:
Subdirección de Comunicación y RR.PP.

ISBN: 978-84-936445-4-3

Canal de Isabel II

CUADERNOS DE I+D+I

5

El agua virtual y la huella hidrológica en la Comunidad de Madrid

EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD

Las afirmaciones recogidas en el presente documento reflejan la opinión de los autores y no necesariamente la de Canal de Isabel II.

Tanto Canal de Isabel II como los autores de este documento declinan todo tipo de responsabilidad sobrevenida por cualquier perjuicio que pueda derivarse a cualesquiera instituciones o personas que actúen confiadas en el contenido de este documento, o en las opiniones vertidas por sus autores.

PRESENTACIÓN

Los cuadernos de I+D+I de Canal de Isabel II forman parte de la estrategia de gestión del conocimiento de la empresa y del desarrollo del Plan de Investigación, Desarrollo e Innovación.

Son elemento de difusión de proyectos e iniciativas desarrollados y auspiciados desde Canal de Isabel II para la innovación en las áreas relacionadas con el servicio de agua en el entorno urbano.

Exponen las diferentes problemáticas abordadas en cada proyecto junto con los resultados obtenidos. La intención al difundirlos mediante estas publicaciones, es compartir las experiencias y conocimientos adquiridos con todo el sector de servicios de agua, con la comunidad científica y con cuantos desarrollan labores de investigación e innovación. La publicación de estos cuadernos pretende contribuir a la mejora y eficiencia de la gestión del agua y, en consecuencia, a la calidad del servicio prestado a los ciudadanos.

Además de su publicación en forma impresa, los cuadernos están disponibles en la página web de Canal de Isabel II, en el apartado Publicaciones.

FICHA TÉCNICA

Título del proyecto	El Agua Virtual y la Huella Hidrológica en la Comunidad de Madrid.
Línea de investigación	Aseguramiento del equilibrio de disponibilidades y demandas.
Unidades del Canal de Isabel II implicadas	Subdirección de I+D+I
Participación externa	Convenio de colaboración entre el Canal de Isabel II y la Universidad Politécnica de Madrid, ETS de Ingenieros Agrónomos.
Objeto y justificación del proyecto	Los nuevos paradigmas de planificación y gestión integrada de recursos e intercambios entre distintos usos y calidades incitan a realizar un análisis conceptual y segregado, diferente del convencional. Los planteamientos de agua virtual y huella hidrológica facilitan este análisis y la determinación de las opciones más eficientes y sostenibles del suministro al ciudadano. El agua virtual incluye el agua libre y el agua ligada a los procesos de producción de un bien o servicio. La huella hidrológica de un territorio es la totalidad del agua real y virtual que se utiliza en dicho territorio.
Contribución al estado del arte	Conocer el impacto del consumo de agua incorporada en los bienes y servicios producidos e intercambiados por la Comunidad de Madrid. Determinar la huella hidrológica que genera la Comunidad de Madrid a partir del cálculo del agua virtual consumida en cada producto, servicio o actividad. Se han introducido mejoras metodológicas encaminadas a lograr una mejor estimación del agua virtual asociada a la agricultura, como es incluir el agua de lavado de suelos para evitar su salinización.
Resumen del desarrollo del proyecto e hitos relevantes	El proyecto aborda una visión integral del agua y del territorio para clarificar las relaciones entre agua azul y agua verde, así como entre agua interna, agua virtual y huella hidrológica, determinando los valores correspondientes a cada concepto en la Comunidad de Madrid y sus flujos.
Resumen de resultados obtenidos	El valor de la huella hidrológica total en la Comunidad de Madrid (2005) se ha cifrado en 9.705 hectómetros cúbicos, lo que lleva a una estimación de 1.667 metros cúbicos por habitante y año (4.566 litros por habitante y día), de los cuales 1.476 metros cúbicos por habitante son agua virtual neta importada y 191 metros cúbicos agua interna utilizada. La primera observación es que el volumen de agua virtual importada por la Comunidad multiplica por tres al agua recibida en forma de precipitación y por 14 a la derivada para riego y abastecimiento. La importación de agua virtual destinada a la Comunidad multiplica por 8 a la generada en el propio territorio, con gran peso en el sector alimentario. También se advierte que el agua verde utilizada por los aprovechamientos agrarios de secano multiplica por 4 a la de los cultivos de regadío. La comparación de los flujos físicos del agua para 1984-1995 con los de 2005 constata que la huella hidrológica ha aumentado un 75 por ciento, por lo que considera la conveniencia de relacionar las estimaciones de agua virtual con el estudio del territorio y el metabolismo de los sistemas económicos.
Líneas de investigación abiertas para continuación de los trabajos	Se identifica la conveniencia de mejorar la valoración del agua virtual dependiendo de las condiciones meteorológicas del lugar de procedencia de los bienes o productos importados. Sería importante establecer un estándar de valoración del agua virtual o agua incorporada que permita la comparación entre los distintos ámbitos.

RESUMEN EJECUTIVO

Las nociones de agua virtual y huella hidrológica han nacido para subrayar aspectos relativos al agua que soslayan los enfoques sectoriales y parcelarios corrientemente utilizados para orientar su gestión. Estos enfoques centran su atención en el agua de calidad susceptible de ser captada, regulada, transportada, distribuida y facturada, pero hacen abstracción, no solo del conjunto del agua libre, que compone la llamada hidrosfera, sino también del agua ligada a los suelos y organismos que componen la llamada biosfera —y a la relación entre ambas— que son estudiadas por la ecología y otras ciencias de la Tierra. Este trabajo modeliza y cuantifica estas relaciones, presentando la primera estimación del agua virtual y de la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid, haciendo posible su comparación con otros territorios.

De forma general, se define el agua virtual de un determinado producto como el volumen de agua dulce utilizada para obtenerlo y que finalmente no forma parte de dicho producto y la huella hidrológica de una persona, empresa o territorio como el volumen total de agua usada para producir los bienes y servicios consumidos por dicha persona, empresa o territorio. La virtualidad no hace referencia a ninguna característica propia del agua, ya que afortunadamente ésta es una sustancia inequívocamente definida por su formulación química (H_2O), sino al hecho de que, aunque resulta necesaria para la fabricación de ciertas mercancías, no acaba formando parte de ellas. El carácter virtual reside además en que gran parte de este agua no es solo agua libre que acapara normalmente la atención sino que también es agua ligada al suelo y a la vegetación o utilizada previamente en los procesos de elaboración de esos bienes o servicios. Una estimación solvente del agua virtual y/o la huella hidrológica exige, pues, conocer en el territorio objeto de estudio, no solo el agua libre o azul, sino también el agua ligada o verde. Por esta razón, se presentan aquí los cálculos sobre la derivación del agua que recibe el territorio, mediante precipitación o aportaciones externas —hacia agua azul o hacia agua verde—, así como el gasto por evapotranspiración atribuible a las tierras de cultivo o con vegetación natural. Igualmente se pone de relieve el montante de agua azul y sus destinos, identificando la destinada a procesos agrarios e industriales que operan en el territorio y al consumo de su población. La estimación del agua virtual y de la huella hidrológica establece, así, los requerimientos de agua de los productos consumidos, fabricados, importados y exportados en el territorio estudiado, entrando de lleno en el análisis de los procesos y de los flujos físicos que integran su metabolismo económico. A partir de aquí cabe resumir los principales resultados de este trabajo, tanto en términos cuantitativos y temporales, como desde una perspectiva metodológica y comparada:

Desde el punto de vista cuantitativo, la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid 2005 ascendió a 9.705 hectómetros cúbicos, lo que supone 1.667 metros cúbicos por habitante y año, descomponiéndose, a su vez, en 191 metros cúbicos de agua utilizada en la Comunidad y 1.476 metros cúbicos de agua virtual adscrita a la obtención de los productos importados menos la correspondiente a los productos exportados. Si transformamos estas cantidades anuales en términos per cápita diarios, tenemos una huella total de 4.566 litros por habitante y día, compuesta por 523 litros por habitante y día utilizados en el territorio y 4.043 adscritos a la importación neta de productos de fuera de la Comunidad de Madrid. Hay que tener en cuenta que las importaciones brutas de 13.193 hectómetros cúbicos de agua virtual multiplican por 12 veces el agua procedente del propio territorio de la Comunidad —con su correspondiente parte virtual— y estimada en este trabajo en 1.114 hectómetros cúbicos (sumando el componente urbano —en sentido amplio—, el industrial y el agrario). En efecto, el agua virtual añadida por los bienes y servicios generados en la propia Comunidad es relativamente modesta con relación a la importada, lo que lleva a que la importación de agua virtual destinada a Madrid multiplique por más de 10 a la generada en el propio territorio. Por último, al combinar estas cifras con el montante de agua virtual asociada a las exportaciones de la Comunidad (4.601 hectómetros cúbicos), se obtiene un consumo final de agua total, o huella hidrológica, que asciende a 9.705 hectómetros cúbicos, esto es, casi 8 veces el agua utilizada en el interior del territorio. De esta cantidad, 9.292 hectómetros cúbicos podríamos calificarlos como huella hidrológica de origen agrario, 64 de origen industrial, y 423 procedentes del ámbito urbano y de servicios. El gran peso unitario que tiene el agua virtual en la agricultura y la alimentación, unido a la fuerte dependencia alimentaria de la Comunidad de Madrid, es capital a la hora de explicar los órdenes de magnitud comentados.

Los volúmenes de agua virtual que mueve Madrid son, por tanto, muy superiores a los del agua incorporada realmente en las mercancías consumidas, o captada y extraída en el propio territorio. Por ejemplo, en este sentido, el volumen de agua virtual importada multiplica por tres al agua recibida en forma de precipitación y por catorce a la derivada para riego y abastecimiento. Bien es cierto que casi la tercera parte de estas importaciones no tienen por destino último la Comunidad, sino que son reexportadas hacia otros territorios. Así, otra conclusión importante es la que destaca el lugar que ocupa la Madrid como enclave logístico redistribuidor de mercancías hacia otros territorios, que pasan por la industria y los servicios madrileños donde se les aportan dosis variables de elaboración, comercialización y transporte.

Desde un punto de vista temporal, y gracias a estimaciones previas sobre el metabolismo de la Comunidad a mediados de la década de los años ochenta, se observa un incremento notable tanto en las importaciones como en las exportaciones de agua virtual: las entradas (importaciones) se han incrementado en 2,2 veces, pasando de 5.806 hectómetros cúbicos en 1984 a 13.193 en 2005; mientras que las salidas (exportaciones) se han triplicado, pasando de 1.465 a 4.601. Este aspecto se explica, en parte, por la doble conjunción que se da de poseer una potente industria agroalimentaria y representar un notable centro logístico de redistribución hacia el resto de territorios.

Conviene advertir que la huella hidrológica estimada para la Comunidad de Madrid en este trabajo no resulta comparable con la estimada por Chapagain y Hoekstra (2004) para España. La primera resulta un 28 por ciento inferior a la media estimada para España por Chapagain y Hoekstra (siendo ésta la única fuente de contraste), lo que se explica por la disparidad en las fuentes y estadísticas utilizadas, además de por los diferentes criterios usados en cada estimación. De este análisis se infiere una sobrevaloración (según se explica detalladamente en el Anexo 4) en las conclusiones del trabajo sobre la huella hidrológica estimada por Chapagain y Hoekstra (2004) para España ya que utiliza datos que sobrevaloran esta huella.

En el caso de la huella industrial y urbana, la sobrevaloración de la cifra parece deberse, fundamentalmente, a las fuentes estadísticas. Se puede decir que, de haber basado sus estimaciones en las mismas fuentes utilizadas en el presente estudio, las cifras vertidas por Chapagain y Hoekstra (2004) hubiesen alcanzado resultados similares. Para la huella industrial la cifra media española se rebajaría, pasando de los 299 metros cúbicos por habitante al los 30-40 metros. La misma discrepancia en las cifras se aprecia en el caso del agua urbana; mientras Chapagain y Hoekstra llegan a la cifra de 105 metros cúbicos por habitante a partir de unos usos totales de 4.242 hectómetros cúbicos (promedio 1997-2001), el INE (Encuesta sobre el suministro y tratamiento del agua) la sitúa en los 2.779 hectómetros cúbicos, lo que llevaría a una huella urbana de 68 metros cúbicos por habitante.

Las diferencias halladas, en el caso de la huella agrícola, proceden de la información estadística y de los heterogéneos criterios para el cálculo de la Evapotranspiración Real o ETR[a] (con una discrepancia respecto de los cálculos de Chapagain y Hoekstra del 21 por ciento). Las diferencias se sostienen, no sólo en las distintas fuentes estadísticas, sino también en la diferencia en el cálculo de coeficientes y metodología para la obtención de la ETR en España y en la Comunidad de Madrid Por otra parte, mientras en el caso español las cifras de comercio exterior solo incorporan las del comercio internacional (más robustas y detalladas), las cifras del comercio exterior de la Comunidad incorporan datos tanto de comercio internacional (con el resto del mundo) como de comercio interregional (con el resto de las regiones españolas), y la disponibilidad y desagregación de estos últimos es mucho menor que en el caso de los primeros, dando lugar, en conjunto, a una cierta infravaloración para la Comunidad de Madrid.

[a] ETR se utiliza para referirse a la cantidad de agua que es utilizada por la evapotranspiración efectiva o real. Intervienen en su cálculo, además de las condiciones atmosféricas que influyen en la ETP, la magnitud de las reservas de humedad del suelo y los requerimientos de los cultivos. La ETP es un concepto introducido por Charles Thornthwaite en 1948, como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua. Según esta definición, la magnitud de la ETP está regulada solamente por condiciones meteorológicas o climáticas.

Aportaciones metodológicas generales

El presente estudio, no solo estima el agua virtual y la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid sino que relaciona estas estimaciones con estimaciones y análisis más amplios de los flujos de agua, energía y materiales que operan en el territorio objeto de estudio. Además, el estudio no se centra solo en un año, sino que sigue las tendencias a largo plazo que observan los flujos físicos que configuran el metabolismo de la Comunidad. En lo que concierne al agua, este análisis abarca el ciclo hidrológico en su conjunto, considerando y estimando sus principales componentes. Lo cual, no solo mejora la calidad de las estimaciones del agua virtual y la huella hidrológica, sino que permite advertir las limitaciones que ofrece este tipo de análisis y completarlas con consideraciones más amplias relacionadas con el conjunto del agua, los materiales y la energía utilizados. Desde una perspectiva más formal, las figuras de síntesis de este capítulo, (comentadas más ampliamente en el epígrafe 7 de síntesis y conclusiones) constituyen un esfuerzo de clarificación conceptual y formalización que contribuye a mejorar la comprensión, alcance y limitaciones de la metodología del agua virtual. Esta clarificación facilita tanto la deseable conexión del agua virtual con el agua utilizada en su conjunto (azul y verde) formalizada en las ecuaciones que se incluyen al pie de las figuras, como con el territorio y con los flujos de materiales y energía que componen el metabolismo de los sistemas económicos.

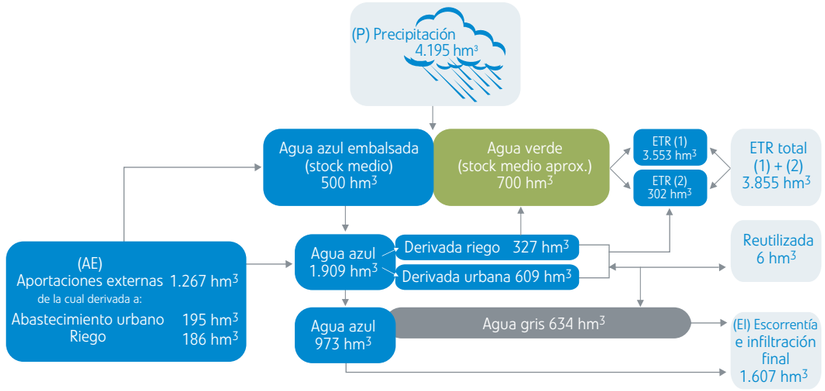
Aportaciones metodológicas específicas

Este trabajo aporta también algunas mejoras metodológicas respecto al propio procedimiento habitual de cálculo del agua virtual y la huella hidrológica que merecen destacarse. En primer lugar, la estimación del agua virtual asociada a la agricultura —a través de la ETR de los cultivos—incluye una estimación del agua que es necesario aplicar para el lavado de suelos con el fin de evitar el peligro de salinización de los suelos característico de climas áridos y/o mediterráneos. En segundo término, también se ha considerado la naturaleza de los suelos en los que se ubican los cultivos (a partir de los mapas de Clases Agrológicas y de Cultivos y Aprovechamientos), ya que la naturaleza de los suelos orienta la selección y el marco de plantación de los cultivos y, por ende, el rendimiento y el agua utilizada por hectárea. Este análisis espacial se ha realizado junto con la estimación del agua verde presente en los suelos y la vegetación del territorio, utilizando la información edafoclimática disponible sobre el mismo. En tercer lugar, además de las estimaciones más afinadas del agua virtual así obtenidas, en el presente trabajo se han realizado también otras por la vía más simple de aplicar los procedimientos y ratios habituales utilizados para España en este tipo de trabajos, a fin de comparar la diferencia de resultados para el caso de la Comunidad de Madrid se llegó a la conclusión de que las discrepancias observadas entre ambas estimaciones a escala agregada no eran especialmente marcadas, dados los grados de incertidumbre que tales estimaciones comportan. En cuarto lugar, se ha distinguido entre el agua que finalmente se consume en los hogares, las industrias, o los regadíos utilizada en el cálculo del agua virtual y el agua que hay que derivar en cabecera para abastecer estos usos. La importancia cuantitativa de esta diferencia generalmente incontrolada (de pérdidas diversas, sobre todo en el agua de riego) entre el agua derivada y el agua utilizada aconseja tenerla en cuenta en la comparación de los balances de agua virtual y agua de actividades y territorios. En quinto lugar, se ha mejorado la estimación del agua virtual vinculada a los productos industriales importados y exportados al superar las imputaciones genéricas de agua por dólar de valor añadido bruto (VAB) tomadas de otros estudios y optar por el cálculo específico de coeficientes en términos físicos que tengan como base las necesidades hídricas por tonelada de producto de los procesos de fabricación que efectivamente se operan en la Comunidad de Madrid.

Figura a. Aproximación al agua azul y verde en la Comunidad de Madrid

Situación actual en año medio. Unidad hm^3

Ecuación: **AE + P= ETR+EI**



ETR (1): Evapotranspiración real espontánea del suelo y la vegetación natural y de los cultivos de secano.

ETR (2): Evapotranspiración inducida por los usos; incluyendo el consumo por evapotranspiración del regadío, como la parte consuntiva del uso urbano-industrial, al igual que el agua real espontánea del suelo y la vegetación natural y de los cultivos de secano.

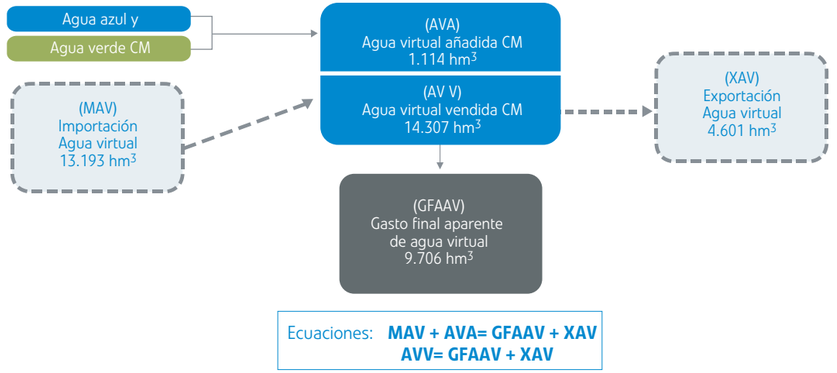
Agua gris: Recoge, tanto los vertidos urbanos e industriales como los lixiviados agrarios.

Caudales medios de los últimos 14 años y agua derivada media de los últimos 5 años.

Fuente: Elaboración propia

Figura b. Aproximación al agua virtual en la Comunidad de Madrid

Situación actual en año medio. Unidad hm^3



Ecuaciones: **MAV + AVA= GFAAV + XAV**
AVV= GFAAV + XAV

Fuente: Elaboración propia

Figura c. Aproximación a la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid

Situación actual en año medio. Unidad hm^3

Estimación por habitante en 2005. Unidad m^3/habitante

Ecuación:	**AIU + MNAV= HH**	
Evidentemente:	**HH= GFAAV,**	al haber obtenido éste como saldo en la Figura b.
Al igual que:	**(AIU)= (AVA)**	al definirse el *agua virtual* de los bienes y servicios como la *utilizada* para su obtención restándole la contenida en los productos. Sin embargo, como es sabido, esta última cantidad puede despreciarse por considerarse poco significativa.

Fuente: Elaboración propia

Tabla a. Desglose de la *huella hidrológica* de la Comunidad de Madrid, 2005

	hm³	m³/hab	litros/hab/día
Agrícola	9.217	1.583	4.336
Industrial	64	11	30
Urbana y comercial	423	73	200
TOTAL	**9.704**	**1.667**	**4.566**
Importaciones de agua virtual	13.193	2.266	6.208
Exportaciones de agua virtual	4.601	790	2.163

Fuente: Elaboración propia

Tabla b. Evolución de la huella hidrológica total de la Comunidad de Madrid (hm³)

Años	Agua interna utilizada (AIU) (1)	Importación neta de agua virtual (MNAV) (2)	Huella hidrológica (HH) (3) = (2) + (1)	Población (Millones de habitantes)
1984	1.249	4.341	5.590	4,78
(%)	(22)	(78)	(100)	
2005	1.114	8.591	9.705	5,82
(%)	(11)	(88)	(100)	
Ratio: 2005/1984	**0,89**	**1,97**	**1,73**	**1,22**

Fuente: Naredo y Frías (2003), y elaboración propia.

Tabla c. Evolución de la huella hidrológica per capita de la Comunidad de Madrid, (m³ habitante y año)

Años	Agua interna utilizada (AIU) (1)	Importación neta de agua virtual (MNAV) (2)	Huella hidrológica (HH) (3) = (2) + (1)
1984	261	908	1.169
2005	191	1.476	1.667
Ratio: 2005/1984	**0,73**	**1,62**	**1,42**

Fuente: Naredo y Frías (2003), y elaboración propia.

Tabla d. Evolución del déficit de materiales y de agua virtual de la Comunidad de Madrid
(Déficit = Importaciones - Exportaciones)

Años	Materiales Millones de tm (1)	Agua virtual hm³ (2)	Intensidad en agua virtual m³/tm (3) = (2) / (1)
1984			
-Alimentos y bebidas	2,5	4.320	1.728,00
-Resto	14,0	21	1,50
TOTAL	**16,5**	**4.341**	**263,10**
2005			
-Alimentos y bebidas	4,5	8.580	1.906,60
-Resto	26,5	11	0,37
TOTAL	**31,1**	**8.591**	**276,20**

Fuente: Naredo y Frías (2003), y elaboración propia

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN: PROPÓSITO Y NATURALEZA DEL TRABAJO página 20
1.1. Propósito y naturaleza del trabajo. Resumen de los resultados

2. PANORAMA GENERAL Y PROPUESTAS METODOLÓGICAS página 24
2.1. Agua, biosfera y sociedad página
2.2. Distintas percepciones del agua: agua verde, agua azul, agua virtual y huella hidrológica
2.3. Análisis y revisión de las principales aportaciones
2.4. El caso español: singularidades y contexto
2.5. Algunas cuestiones metodológicas y problemas de cuantificación

3. CONTEXTO: AGUA Y TERRITORIO EN LA COMUNIDAD DE MADRID página 44
3.1. Introducción
3.2. Adaptación vegetal al régimen de humedad y temperatura

4. EL AGUA LIGADA AL SUELO Y A LA BIOMASA EN LA COMUNIDAD DE MADRID página 50
4.1. Balance potencial de los recursos endógenos de agua en el suelo al nivel de parcela
4.2. Balance de humedad en función de la reserva de agua del suelo
4.3. El agua ligada al suelo o agua verde en la Comunidad de Madrid
4.4. El agua ligada a la vegetación total (agua virtual) en Comunidad de Madrid
4.5. Conclusiones sobre el agua verde y el agua azul en la Comunidad de Madrid

5. EL AGUA LIBRE O AGUA AZUL EN LA COMUNIDAD DE MADRID página 66
5.1. Retenciones, captaciones, abastecimientos y usos urbano-industriales
5.2. Análisis más pormenorizado y completo del consumo de agua en la industria
5.3. El uso del agua en la industria, Confederación del Tajo
5.4. El agua asignada al riego y la ganadería

6. EL AGUA VIRTUAL ASOCIADA A LOS BIENES Y SERVICIOS (PRODUCIDOS, IMPORTADOS, CONSUMIDOS Y EXPORTADOS) EN LA COMUNIDAD DE MADRID página 86
6.1. El agua virtual de los productos agrarios de la Comunidad de Madrid
6.2. Flujos físicos de la Comunidad de Madrid
6.3. Requerimientos hídricos asociados al comercio exterior (interregional e internacional) de la Comunidad de Madrid

7. LA HUELLA HIDROLÓGICA DE LA COMUNIDAD DE MADRID. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES página 114
7.1. Objetivo principal
7.2. Necesidad de suplir las carencias e incoherencias de la información de base
7.3. Mejoras metodológicas introducidas
7.4. Agua y territorio en la Comunidad de Madrid
7.5. Formación de agua azul y agua verde en la Comunidad de Madrid
7.6. Aproximación al agua (azul y verde) en la Comunidad de Madrid
7.7. Aproximación al agua virtual en la Comunidad de Madrid
7.8. Aproximación a la huella hidrológica en la Comunidad de Madrid
7.9. Evolución temporal

ANEXOS página 126
Anexo 1. Glosario de la huella hidrológica y del agua virtual
Anexo 2. Nota metodológica sobre la población de la Comunidad de Madrid y la población abastecida por el Canal de Isabel II
Anexo 3. Régimen de humedad del suelo
Anexo 4. Nota sobre la explicación de las discrepancias entre la estimación de la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid y la huella hidrológica española estimada por Chapagain y Hoekstra (2004)
Anexo 5. Índice de figuras
Anexo 6. Índice de tablas
Anexo 7. Bibliografía

1

Introducción: propósito y naturaleza del trabajo

1.1 Propósito y naturaleza del trabajo. Resumen de los resultados

El presente estudio es fruto del convenio específico de colaboración establecido entre el Canal de Isabel II y la Universidad Politécnica de Madrid para el desarrollo del proyecto de investigación sobre "El agua virtual y la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid". Como se desprende de su título, el principal objetivo del trabajo es el cálculo del agua virtual y de la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid. Para ello, en el capítulo 2, se empieza por centrar la cuestión analizando el marco conceptual y los antecedentes de este tipo de trabajos, a la vez que se van precisando las definiciones y metodologías sobre las que se apoya la presente aplicación a la Comunidad de Madrid. Entre los antecedentes, se recoge la información de un estudio internacional comparado sobre la huella hidrológica de las naciones, que permite situar a España en el contexto internacional, para luego ubicar la Comunidad de Madrid dentro de España.

De forma general se define el agua virtual de un determinado producto como el volumen de agua dulce usada para obtenerlo, y la huella hidrológica de una persona, empresa o territorio como el volumen total de agua usada para producir los bienes y servicios consumidos por dicha persona, empresa o territorio (véase el glosario incluido en el Anexo 1). La virtualidad reside así en que gran parte del agua necesaria para la obtención de bienes o servicios no es agua libre que acapara normalmente la atención sino que es agua ligada al suelo y a la vegetación o es utilizada previamente en los procesos de elaboración de esos bienes o servicios. Una estimación solvente del agua virtual exige conocer en el territorio objeto de estudio, no solo el agua libre o azul, sino también el agua ligada al suelo y los organismos que componen la biosfera o verde. La determinación del balance de humedad del suelo y la vegetación o, con mayor exactitud, la de su régimen de humedad, junto con el conocimiento del cambio potencial de este último mediante el regadío y el drenaje del agua de lavado, permiten definir el grado de libertad del agua virtual estimada y evaluar las necesidades de agua del territorio analizado. En suma, se trata de saber la posible derivación del agua que recibe el territorio, mediante precipitación o aportaciones externas, hacia agua azul o hacia agua verde, así como el gasto por evapotranspiración atribuible a las tierras de cultivo o con vegetación natural. Igualmente, se trata de conocer el agua azul y sus destinos, identificando la destinada a procesos agrarios e industriales que operan en el territorio y al consumo de su población. La estimación del agua virtual y de la huella hidrológica exige conocer, así, los requerimientos de agua de los productos consumidos, fabricados, importados y exportados en el territorio estudiado, entrando de lleno en el análisis de los procesos y de los flujos físicos que integran su metabolismo económico.

Los capítulos que siguen a los apartados metodológicos y de contexto del capítulo 2, se adentran en el estudio detallado del clima (capítulo 3) y del agua ligada al suelo y la biomasa en el territorio de la Comunidad de Madrid (capítulo 4). Los distintos apartados de este capítulo van cuantificando el balance de humedad y la reserva de los suelos de la Comunidad de Madrid, el agua contenida y utilizada por la vegetación, para establecer, finalmente, conclusiones cuantitativas sobre la naturaleza, las disponibilidades y el funcionamiento del agua azul y verde en el territorio objeto de estudio.

A continuación, el capítulo 5 pasa revista al manejo del agua libre en la Comunidad. Se utiliza para ello la privilegiada información que sobre el abastecimiento urbano-industrial ofrece el Canal de Isabel II, que en el último decenio ha venido cubriendo entre el 96 y el 98 por ciento de la población de Madrid. Se realiza después un análisis más desglosado y completo del agua utilizada en la industria madrileña (estimando la no abastecida por el Canal) y obteniendo la información del agua aplicada a los procesos de producción, necesaria para calcular el agua virtual de los productos. Por último, el capítulo 5 acaba analizando el agua libre destinada al abastecimiento agrario, utilizada mayoritariamente por el regadío.

Una vez aclarada la bifurcación entre agua, verde y azul, en la Comunidad de Madrid y los usos de que son objeto, en el capítulo 6 se aborda el cálculo del agua virtual asociada y contenida en los productos agrarios (sobre la que se apoyará el cálculo del agua virtual asociada a los productos agrarios consumidos), rematando con el cálculo del agua virtual. Para ello se empieza por cuantificar los flujos físicos que componen el metabolismo de la Comunidad, apoyándose en una explotación, lo más desglosada posible, de las estadísticas disponibles sobre el transporte y la producción de bienes y servicios, específicamente realizada para este trabajo. A continuación, se establecen a partir de la información contenida en los capítulos anteriores los requerimientos hídricos de los productos a aplicar a la información desglosada de los flujos físicos. Como resultado de ello, se obtiene la estimación del agua virtual de los productos consumidos, producidos, importados y exportados en la Comunidad. Finalmente, la información elaborada para el cálculo del agua virtual permite obtener también su huella hidrológica.

Por último, el capítulo 7 hace la síntesis de los resultados obtenidos y extrae algunas conclusiones sobre la huella hidrológica y el comportamiento hídrico de la Comunidad de Madrid. Para ello se han preparado algunos esquemas de síntesis sobre el panorama actual y algunos cuadros sobre la evolución del agua, el agua virtual y la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid durante los últimos veinte años que permiten observar las tendencias.

2

Panorama general y propuestas metodológicas

2.1. Agua, biosfera y sociedad

Para introducir el tema que nos ocupa hemos de empezar recordando que nuestras percepciones de la realidad son tributarias de los enfoques adoptados. Pues un determinado enfoque subraya e incluso cuantifica ciertos aspectos de la realidad, pero soslaya otros que permanecen así desapercibidos. Las nociones de agua virtual y huella hidrológica -que a continuación se exponen- han nacido precisamente para subrayar aspectos relativos al agua que soslayan los enfoques sectoriales y parcelarios corrientemente utilizados para orientar su gestión. Estos enfoques centran su atención en el agua de calidad susceptible de ser captada, regulada, transportada, distribuida y facturada, pero hacen abstracción, no solo del conjunto del agua libre, que compone la llamada hidrosfera, sino también del agua ligada a los suelos y organismos que componen la llamada biosfera, y a la relación entre ambas, que son estudiadas por la ecología y otras ciencias de la Tierra. En el cuadro que figura al final de este apartado se señala el orden de magnitud de los grandes stocks agregados de agua en la Tierra y sus muy distintos tiempos de renovación.

Cerca del 97 por ciento del conjunto de agua libre que existe en la Tierra se encuentra en los mares y, por su gran contenido en sales, no es apta para la mayoría de los usos que exige la vida en las tierras emergidas. El 3 por ciento restante es agua dulce, pero la mayoría está helada (69 por ciento) o en el subsuelo (30 por ciento), estimándose en solo cerca del 0,4 por ciento del stock de agua dulce el total las aguas superficiales que vemos correr por los ríos o reposar en los lagos y embalses, integrando nuestros paisajes habituales: esta fracción del stock es la que mueve anualmente el llamado *ciclo hidrológico*[1]. Cabe anticipar que el movimiento de esta pequeñísima fracción del agua existente en la Tierra es el que nutre los circuitos de la vida en las tierras emergidas, evidenciando que no es tanto la limitación en cantidad, como en calidad y accesibilidad, el principal problema económico al que se enfrenta la gestión del agua. Pero antes de subrayar esta dimensión del agua, merece la pena precisar un poco más, con palabras de Margalef, la peculiaridad de la fracción de agua dulce que mueve el ciclo hidrológico constituyendo esa especie de "río mundial de las aguas epicontinentales", como reza el título del capítulo de este autor en el que se encuadran los párrafos citados a continuación.

"En libros y en cursos de ecología —señalaba Margalef[2] (1992, pág.171)— es práctica común distribuir la descripción de la biosfera en tres secciones, que tratan, respectivamente, de los continentes, de los mares y de las aguas epicontinentales […] nos apresuramos a advertir la improcedencia de tal distribución tripartita. Los océanos y los continentes soportan ecosistemas que se pueden considerar relativamente independientes… [y que cuentan con] un ciclo de recirculación de los materiales que, en su resultante, se aparta poco de la vertical. Frente a tal organización, las aguas epicontinentales ocupan un lugar especial, ya que básicamente constituyen un sistema de transporte casi horizontal, por el que se evacua el exceso de lluvia que cae sobre los continentes[3]. Lo hacen de modo que erosionan y lavan la superficie de las tierras emergidas con un trasporte neto de materiales que van a parar al mar. Los materiales transportados viajan en suspensión, como las arcillas, detritus y organismos, o bien disueltos en el agua, en forma de sales, o de materia orgánica […] Es costumbre hablar de aguas dulces para referirse a este tipo de ecosistema [pues] frente a unos 35 gramos de sales por litro que contienen las aguas marinas […] las aguas dulces contienen concentraciones muy bajas, casi siempre por debajo de un gramo…[aunque] se puede objetar su denominación generalizada de aguas dulces, porque entre estas aguas se encuentran salinidades muy dispares y, en ocasiones, más elevadas que las del propio mar [por lo que] quizá es mejor calificarlas de epicontinentales".

Como todos los sistemas del mundo físico, ese "río mundial de aguas epicontinentales" o ciclo hidrológico anual, se mueve regido por una ley de conservación de la cantidad -enunciada como primer principio de la termodinámica- y por una ley de evolución de la calidad -enunciada por la Ley de la Entropía o Segundo Principio de la termodinámica-. Ambos Principios gobiernan el comportamiento del agua en el ciclo hidrológico, explicando todos los cambios más o menos espontáneos de estado (nieve, hielo, vapor o agua líquida), de calidad (con más o menos sales o materia orgánica en dilución, agua libre o adsorbida) o de posición gravitatoria, que operan a lo largo del mismo. Este conjunto de cambios configura un "campo de gradientes de potencial" ligados al agua que va disminuyendo, desde que ésta aparece en forma de precipitación, hasta que llega al mar, donde alcanza su máximo nivel de entropía. La radiación solar invierte éste al devolverle (mediante la evaporación, elevación y pérdida de solutos) su nivel originario de calidad asociada a la cantidad. Así, podemos decir que esa fuente externa que es la energía solar mueve el ciclo hidrológico, como el agua mueve la rueda de un molino, y que es posible acelerar (usando), retrasar (conservando) e incluso invertir (depurando, desalando y bombeando) las pérdidas y deterioros que se operan a lo largo del mismo (aunque tales operaciones de impulsión y reciclaje entrañen siempre mayores costes energéticos que las ganancias de potencial obtenidas). Desde esta perspectiva cabe interpretar el ciclo hidrológico como un gradiente de potenciales que se van degradando desde que el agua entra "en alta" por precipitación hasta que se diluye en el sumidero último de los mares, en el que puede convenirse que dicho gradiente es nulo. Los dos principales conceptos que permiten cuantificar universalmente -en unidades energéticas- este gradiente de potenciales asociados a la calidad del agua son su potencia física, relacionada con su posición en altitud, y su potencia química[4] o capacidad de dilución, relacionada sobre todo con su contenido en sales y su conductividad, aunque también con la presencia de contaminantes orgánicos o de metales pesados[5]. La potencia física asociada al agua es la que permite moverla por gravedad y la potencia química hacerla útil para abastecimientos y riegos.

Hay que subrayar que los cambios tecnológicos operados en los últimos decenios hacen que el enfoque que estamos aplicando sea algo más que un instrumento teórico de comprensión, para subrayar también su interés práctico, al facilitar y abaratar la posibilidad real de revertir las pérdidas de calidad y de potencia que acusa el agua a lo largo del ciclo hidrológico terrestre. En efecto, la industria humana puede hoy emular la función de la naturaleza en el ciclo hidrológico depurando, desalando y bombeando el agua: hoy se puede fabricar y llevar agua con la calidad y ubicación deseadas, con costes energéticos y monetarios bastante moderados.

El movimiento del agua libre en el ciclo hidrológico nutre al agua ligada a la vida en las tierras emergidas, posibilitando las dos principales reacciones que la materializan: la fotosíntesis y el intercambio iónico. En

[1] Estas estimaciones se apoyan en los trabajos que había venido realizando desde hace tiempo I. Shiklomanov sobre los recursos mundiales de agua, que arrojan unos órdenes de magnitud generalmente consensuados. Vid. Shiklomanov, I. World water resources. A new appraisal and assessment for the 21th. Century, United Nations, UNESCO, París, 1998 ; y Shiklomanov, I., World water resources: Modern assessment and outlook for 21st century, Federal Service of Rusia for Hydrometeorology & Environment Monitoring State, Hydrological Institute, San Petersburg, 1999.

[2] Margalef, R., Planeta azul, planeta verde, Prensa Científica S.A., Barcelona, 1992, pág 171.

[3] Como señala Margalef, la precipitación que reciben las tierras emergidas se divide grosso modo en tres partes: una parte se evapora directamente pasando a la atmósfera, otra parte queda ligada a los suelos y es utilizada y evaporada por la vegetación y la parte restante es la que escurre o se infiltra en los suelos, engrosando el cauce de los ríos y acuíferos que desembocan en los mares.

[4] En Gascó, J.M. y Naredo, J.M. (dirs.), Las Cuentas del Agua en España (CAE 94), 1994, establecimos y aplicamos a todas las cuencas españolas (a través del programa Aqual diseñado para analizar, a distintos niveles de agregación temática y territorial, la calidad del agua asociada a la cantidad utilizando toda la red de aforos disponibles) una metodología de cálculo de la potencia física (entonces denominada potencia hidráulica) y la potencia química (entonces denominada potencia osmótica, por asociar el cálculo a su contenido en sales).

[5] En Valero, A. et al., Fundamentals of Physical Hydronomics: a new approach to assess the environmental costs of the European Water Framework Directive, 2006, se presenta una nueva metodología capaz de incluir también en el cálculo de la potencia química y en su coste de reposición los contaminantes de origen antrópico que no aumentan el contenido en sales del agua (ni su conductividad) tales como la contaminación orgánica y la originada por metales pesados u oligoelementos más difíciles de corregir por ósmosis inversa.

efecto, el agua es a la vez la principal materia prima en tonelaje y el vehículo que transporta los nutrientes en ese proceso tan singular llamado fotosíntesis que mantiene la vida en la Tierra. Como también lo es en el intercambio iónico, en el que el agua actúa como un aislante dieléctrico que permite mantener iones en solución, facilitando la adsorción-desorción desde la superficie de las partículas del suelo y su absorción o paso a través de las membranas de los tejidos de los animales y plantas, haciendo que el agua forme parte indisoluble de los organismos vivos[6]. El elemento agua es, así, parte constitutiva esencial de los numerosos sistemas que componen la biosfera a distintas escalas y niveles de agregación que interaccionan, además, con otros elementos y otros sistemas, tanto de un mismo territorio o cuenca, como de otros territorios, que pueden verse afectados también por las mochilas o huellas de deterioro ecológico que acarrean comportamientos foráneos. Pero las percepciones del agua trascienden las dimensiones científico-técnicas a las que nos estamos refiriendo, para alcanzar de lleno al imaginario colectivo, como origen de mitos y manifestaciones culturales diversas que asocian, por ejemplo, el agua a la limpieza física o espiritual, o a valores estéticos[7] que escapan al objeto de este trabajo, aunque incidan sobre nuestra noción de necesidades hídricas.

Tabla 1. Cuantificación y renovación de los distintos stocks de agua en la Tierra

El agua en el mundo y su renovación					
Stocks de agua	Volumen total		Agua dulce		Tiempo de renovación
	10^3 km^3	%	10^3 km^3	%	
Oceánica	1.351.567	97,5	---	---	Milenios
Glacial	23.878	1,7	23.878	68,9	Milenios
Subterránea	11.090	0,8	10.591	30,56	Siglos
Lagos y embalses	190	(..)	154	0,44	Décadas
Fluvial	2	(..)	2	0,01	Años
Edáfica	17	(..)	17	0,05	Meses
Atmosférica	13	(..)	13	0,04	Días
Biológica	1	(..)	1	(..)	Horas
TOTAL	**1.386.223**	**100**	**34.656**	**100**	

(..) Porcentajes no significativos.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en Shiklomanov, I. (1998 y 1999), op.cit..

En resumidas cuentas, que el agua de calidad forma parte de la vida misma, apareciendo asociada no solo a suelos, organismos y ecosistemas, sino también a nuestra cultura y nuestras necesidades, lo que induce a considerarla, no sólo como un elemento o recurso productivo, sino también como un activo eco-social, afirmando su dimensión pública y patrimonial, al presuponer que carece de sentido estimar el (infinito o indeterminado) valor hedónico, contingente o total asociado a algo que es condición necesaria para la vida en general y para nuestra particular supervivencia física, individual y social.

6 Es precisamente esta segunda reacción la que más desarrollo tecnológico está recibiendo, por ejemplo en la desalación, descontaminación, deseutrofización y potabilización del agua, lo que permite hoy fabricar agua de calidad con costes físicos y monetarios relativamente moderados.

7 Véase sobre este punto los textos clásicos de Bachelard, G., El agua y los sueños, FCE, México, 1988 (1ª edición: L'eau et les rêves. Essai sur l'imagination de la matière, París, Livraire José Corti), o de Illich, I., H2O y las aguas del olvido, Cátedra, Col. "Teorema", Madrid,1989.

2.2. Distintas percepciones del agua: agua verde, agua azul, agua virtual y huella hidrológica

Colores del agua

El afán de analizar el agua desde percepciones distintas de las asociadas a los enfoques sectoriales y parcelarios habituales ha aumentado en los últimos tiempos, originando un volumen de literatura apreciable. En nuestro país, el texto de R. Llamas *Los colores del agua, agua virtual y conflictos hídricos*[8], da buena cuenta de ello. Y el empeño de trascender los enfoques habituales exige recurrir a terminología nueva referida a las nuevas dimensiones del agua a considerar, atribuyéndoles colores y definiciones que permiten ampliar y relativizar la percepción habitual del agua. Es decir, que se acepta esta percepción, pero se complementa con otras distintas, conceptual y terminológicamente bien diferenciadas.

Para trascender los enfoques habituales, en la actual sociedad de la imagen y la comunicación, ha resultado de utilidad denominar agua azul al agua superficial o subterránea normalmente considerada en los enfoques extractivos habituales, guardando la calificación de agua verde para designar al agua ligada o asociada a los suelos y a las biomasas vegetales y animales[9], que venía siendo usualmente ignorada por dichos enfoques.

En Las Cuentas del Agua en España (1994) observamos que el agua consumida por la vegetación en los cerca de 15 millones de hectáreas de cultivos de secano, superaba ampliamente a la consumida en los 3,6 millones de hectáreas de regadío. Sin embargo solo esta última figura en los planes e informes hidrológicos y en las estadísticas habituales, mientras que la primera, aun siendo mayor en tonelaje, no figura en ninguna parte. La clave de esta ignorancia reside en que los secanos se abastecen de la hoy denominada agua verde, naturalmente ligada a los suelos, mientras que los regadíos se abastecen de agua azul, que les llega como agua libre por el sistema de acequias o conducciones artificialmente dispuestas para ello, por lo que es tenida en cuenta por los enfoques de la ingeniería y la economía hidráulica habituales.

El problema que para la comprensión y la gestión del dominio hidráulico se deriva de reduccionismo de los enfoques habituales, viene servido porque la naturaleza no entiende de esas clasificaciones parcelarias, estando el agua verde y el agua azul normalmente relacionadas en el territorio. Los aterrazamientos, las nivelaciones y las labores de cultivo realizadas en zonas áridas se orientan precisamente a incrementar el agua verde de los suelos, en detrimento de la escorrentía que nutre el agua azul de los ríos y embalses[10]. Al igual que las modernas captaciones superficiales y subterráneas de agua azul, no solo van en detrimento del agua azul que venía aflorando tradicionalmente "aguas abajo" por manantiales, tollos o galerías, sino también del agua verde de los suelos afectados. Pues, en razón del principio de conservación de la materia y la energía, antes mencionado, las nuevas extracciones, captaciones y usos del agua han de implicar recortes en cantidad y/o calidad en los usos o en las aportaciones precedentes de las cuencas al mar o, en nuestro caso, también a Portugal. El problema estriba en que estos recortes son ignorados sistemáticamente por los enfoques parcelarios habituales, que razonan como si no existieran, aunque toda nuestra geografía se encuentre plagada de evidencias en sentido contrario (con situaciones propiciadas por la negativa incidencia de nuevas operaciones extractivas que inciden, como se ha indicado, en manantiales, tollos, galerías y pozos secos o degradados, en infraestructuras hidráulicas abandonadas o en síntomas de creciente aridez en los suelos, deterioro y abandono de cultivos, etc.).

8 Llamas, R., Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, 2005.

9 El agua puede alcanzar hasta un 20 por cien del peso de un suelo normal. El agua constituye también cerca del 90 por cien del peso de la planta en los cultivos herbáceos o en frutos como el tomate y del 70 por cien del peso de los animales, incluidos los racionales. Así, como se indica en la tabla 2.1, el stock de agua asociada a suelos y biomasas supera ampliamente en tonelaje al stock de agua fluvial e incluso al contenido en la atmósfera.

10 Lo contrario ocurre en zonas de clima húmedo, en los que la precipitación excede al posible gasto de agua por evapotranspiración del territorio, siendo obligado el drenaje para promover en él usos agrarios o urbanos-industriales. En estos casos las canalizaciones, nivelaciones y aterrazamientos tienen por finalidad acentuar el drenaje y la escorrentía para evacuar el exceso de agua del territorio

Cabría escindir también el color azul en una amplia gama cromática, para reflejar las diferencias en la calidad natural que se observa en las aguas libres a lo largo del territorio. Pero esto no suele ocurrir al recaer el grueso de los estudios referenciados en la bibliografía adjunta, sobre zonas de climas predominantemente húmedos, en las que la calidad natural de las aguas suele ser relativamente buena y homogénea, a diferencia de las zonas de clima árido o mediterráneo en las que las aguas libres llegan a alcanzar salinidades varias superiores al agua del mar[11], dejando en estos casos sin sentido la común identificación aguas dulces con aguas continentales. En el presente trabajo consideramos necesario matizar las diversas calidades naturales que alberga el agua azul en la Comunidad de Madrid. También parece oportuno precisar la distinta ubicación y composición del agua verde. Todo ello advirtiendo que el agua absolutamente pura no existe, pues ni siquiera el agua de lluvia es absolutamente pura, como tampoco lo es la procedente de una primera, segunda e incluso tercera destilación. Como consecuencia de ello hay que fijar dentro del territorio analizado los límites entre los que se desenvuelve la calidad del agua desde que entra, por precipitación o afluencias externas hasta que sale del mismo. Al asociar estas calidades al gradiente de potenciales mencionado en el apartado anterior, se puede ofrecer una síntesis cuantitativa de la incidencia degradante de los usos y las correcciones en la calidad que se derivan de las operaciones de depuración y bombeo.

A los colores verde y azul, se añaden otros menos consensuados con generalidad para designar el agua de los vertidos, en los que el agua libre se encuentra tan plagada de materiales en suspensión o en disolución que la hacen inadecuada para la mayoría de los usos. Al parecer inapropiado calificarla de azul, cuando su color y transparencia se apartan mucho de tal calificativo, pasan a llamarse aguas grises, amarillas, y hasta rojas, marrones o negras, según la ocurrencia de los autores y la naturaleza de los contaminantes. Es evidente que estos vertidos enturbian también el hipotético color azul que se atribuye al agua libre en el sistema del recurso, salvo en las zonas costeras que vierten directamente al mar.

A la luz de lo anterior podemos concluir que los colores verde y azul sirven para precisar la situación en la que se encuentra el agua en el sistema del recurso: se califica de azul si se encuentra libre y verde si se encuentra ligada a suelos o biomasas. A la vez que los otros colores se suelen reservar para designar el agua libre evacuada por el sistema de usos, que vuelve en forma de vertidos hacia el sistema del recurso, recordando que ambos sistemas interaccionan entre sí.

Hay que advertir, por último, que un análisis más fino del que ofrecen la mayoría de los trabajos actuales sobre los colores del agua recogidos en la bibliografía adjunta, exige distinguir -no solo entre el sistema del recurso y el sistema de usos- sino también entre flujos y stocks de agua. La construcción de las cuentas completas del stock y de los flujos anuales de agua de los territorios -tal y como hicimos en CAE94 y como establece la nueva metodología de cuentas del agua elaborada y consensuada por la División Estadística de Naciones Unidas[12] (IEEWAR 2006)- permite ampliar el análisis considerando el agua contenida en suelos y biomasas junto a la de las otras rúbricas del stock y relacionarla con la de los flujos anuales. Valga la atribución actual de colores al agua para apoyar enfoques más completos que hasta ahora ha venido soslayando el predominio de las aproximaciones sectoriales y parcelarias al uso. Y para recordar que, sin una información completa e integrada del agua, difícilmente podrán llegar a puerto las continuas llamadas de organismos e investigadores en favor de una gestión integrada del agua y el territorio (Integrated Water Resources Management, IWRM).

[11] Es el caso de la tradicionalmente conocida -por sus poderes laxativos- agua de Carabaña, cuyo manantial se encuentra en el municipio del mismo nombre, enclavado en la Comunidad de Madrid.

[12] United Nations Statistics Division, Integrated Environmental and Economic Accounting for Water Resources (IEEWAR 2006).

Agua virtual

Si las reflexiones sobre los colores del agua inducen a adoptar enfoques más completos e integrados de la misma en un determinado territorio, las que giran en torno al agua virtual ayudan a situar estas reflexiones en un contexto físico y territorial todavía más amplio. Se trata de razonar, no solamente sobre el agua utilizada en un determinado territorio, sino también sobre la requerida para obtener los bienes y servicios que dicho territorio puede importar (o exportar). El gran movimiento de mercancías que hoy se opera en el mundo acentúa el interés de considerar dichos requerimientos a través de la noción de agua virtual. Esta noción fue introducida por Allan[13] a principios de los noventa, al reflexionar sobre las perspectivas que abría la posibilidad de reducir las exigencias de agua de países con territorios tan áridos como los del oriente próximo, a base de sustituir por importaciones la producción propia de mercancías cuya obtención requería mucha agua. Hoy se ha extendido la noción de agua virtual definida como el volumen de agua requerido para producir una mercancía o servicio (véase Anexo metodológico). A veces se ha denominado agua incorporada o incrustada a una mercancía -embedded water o embodied water- por analogía con la denominación corriente de energía incorporada -embodied energy- para designar la energía requerida para producirla[14]. Pero el término agua virtual se refiere al agua utilizada en la obtención de un producto y, generalmente, no incorporada al mismo[15].

La noción de agua virtual tiene también correspondencia, en el análisis de flujos de materiales, con los llamados requerimientos ocultos -hidden- de materiales, que hay que añadir a los requerimientos directos para calcular los requerimientos totales de materiales de un determinado país, región o actividad. Y estos requerimientos tienen también que ver, en los análisis de ciclo de vida, con la llamada mochila -rucksack- de deterioro ecológico que arrastra un determinado producto.

Volviendo al tema que nos ocupa, "mas precisamente -matizan A. K. Champagain y A. Y. Hoekstra[16]- el término agua virtual puede definirse desde dos enfoques diferentes. Uno, desde el punto de vista de la producción y otro desde el punto de vista del consumo. El primer enfoque cuantifica el agua virtual como el agua realmente usada en la producción de una mercancía. En el segundo enfoque, el agua virtual se define como la cantidad de agua que habría sido requerida para producir el producto en el lugar en el que es usado. Este segundo concepto es particularmente útil para reflexionar sobre cuanta agua podemos ahorrar importando mercancías en vez de producirlas nosotros mismos".

[13] Allan, J.A. , "Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible", en Priorities for Water Resources Allocation and Management, Overseas Development Administration, London, 1993, págs.13-26. Allan, J.A., "Overall perspectives on countries an regions", in P. Rogers and P. Lydon, P. (eds.) Water in the Arab World: Perspectives and Prognoses, Mass. Harvard University Press, Cambridge, 1994, págs. 65-100.

[14] Ha de tenerse en cuenta, no solo la energía final directamente utilizada (por ejemplo, en forma de electricidad), sino la energía primaria o total necesaria para obtenerla (por ejemplo, el petróleo que se quema en la térmica para obtener la electricidad, con pérdidas del orden de dos tercios, a las que se añaden aquellas otras que tienen lugar en el transporte).

[15] En realidad la energía no se incorpora normalmente al producto, sino que se utiliza y degrada en el proceso de obtención del mismo. La denominación de agua virtual se ha impuesto sobre la de agua incorporada, porque en realidad el agua tampoco se suele incorporar en el producto (ver Anexo metodológico), sino que se utiliza, consume o degrada para obtenerlo, como también suele ocurrir con el trabajo, aunque se hable de trabajo incorporado. Es más tal incorporación en sentido estricto puede traer consecuencias desagradables, como cuando la aguja o los alfileres del sastre quedan accidentalmente incorporados al traje, o cuando el agua con la que se lavaron las botellas, tanques y barricas se incorpora al vino que albergan.

[16] Chapagain, A.K. y A.Y. Hoekstra, Water Footprints of Nations. 2 Vol.,Value of Water Research Report Series, nº 16, UNESCO-IHE, Vol. 1, 2006, pág. 9.

Huella hidrológica

La idea de huella hidrológica de un territorio o de una población trata de estimar las exigencias netas de agua de la misma, sumando al agua utilizada, el saldo del agua virtual de los productos importados menos la asociada a los exportados. La noción de huella hidrológica -*hidrological footprint*- se desarrolló por analogía con la de huella ecológica[17] -*ecological footprint*- utilizada y divulgada por Wackernagel y Rees, sobre todo a partir de la publicación en 1996 de su libro *Our Ecological Footprint*. Se llama huella ecológica o, más precisamente, huella de deterioro ecológico de una población o de un país a la superficie requerida para obtener los productos que usan o consumen y para digerir los residuos que generan[18]. De esta manera cabe definir la huella hidrológica de un país, una región o una ciudad como *el volumen total de agua que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por su población*[19]. "Como no todos los bienes consumidos en un país son producidos en el mismo -prosiguen estos autores- la huella hidrológica se compone de dos partes: uso de los recursos domésticos de agua y uso de agua de fuera de sus fronteras" (véase Anexo metodológico). Por tanto, su cálculo se realiza sumando a los usos hídricos nacionales el agua virtual asociada a las importaciones de agua virtual y restando el agua virtual asociada a las exportaciones.

En cualquiera de los casos, los cálculos incluyen el uso de agua en la agricultura, en la industria y en el ámbito urbano. Las estimaciones habituales del agua virtual y de la huella hidrológica de la agricultura se apoyan en los requerimientos de agua por tipo de cultivo y en los rendimientos del mismo, todo ello a partir de la metodología elaborada por la FAO y teniendo en cuenta el lugar y condiciones en que se desarrolla dicho cultivo. En el caso de la industria y los usos urbanos, el uso de agua se toma directamente de AQUASTAT, y en el caso urbano se realiza la hipótesis de que la extracción doméstica es igual al consumo. No así en el caso de los productos industriales, donde a las extracciones domésticas de agua se añade una estimación del agua virtual asociada a las importaciones de productos manufacturados. Estimación —todo hay que decirlo— que debido a la complejidad y dificultad para calcular el agua incorporada a su fabricación, se suele realizar de manera indirecta y agregada, esto es, a partir de las cifras de valor añadido bruto (VAB) por metro cúbico de agua en la industria, y del importe total de exportaciones por metro cúbico de recurso.

2.3. Análisis y revisión de las principales aportaciones

Con los mimbres desarrollados inicialmente por J. A. Allan a comienzos de los noventa, un equipo dirigido por A. Y. Hoekstra, y amparado en la cobertura del Institute of Water Education de la UNESCO, con sede en Holanda, viene desarrollando desde finales de los noventa y comienzos de esta década un programa de investigación centrado en explorar todas las posibilidades de análisis, diagnóstico y prospectiva que ofrece los conceptos de agua virtual y de huella hidrológica. En este sentido, las líneas de investigación han seguido dos derroteros complementarios. De un lado, se ha realizado un esfuerzo importante por estimar la huella hidrológica y el agua virtual a escala global y por países, haciendo especial hincapié en el cálculo de los flujos de agua virtual asociado al comercio de productos agrícolas a escala planetaria. De otra parte, dichas estimaciones se han ido configurando a partir de estudios centrados en el cálculo del agua virtual relacionada con ciertos productos, especialmente los agrícolas y ganaderos[20].

Efectivamente, antes de llegar a las estimaciones vertidas en el *Water footprints of Nations*[21], se plantearon diferentes alternativas para obtener el contenido de agua virtual de varios productos. Teniendo en cuenta que, por ejemplo, la obtención de un kilogramo de grano en un territorio árido puede requerir entre dos y tres veces más agua que la misma cantidad en un territorio de clima húmedo, y dado que el grueso de la utilización de agua que realiza un país se daba en la agricultura, las discusiones y principales cálculos iniciales se establecieron únicamente para diferentes cultivos agrícolas.

Dado que el cálculo del agua virtual puede realizarse tanto desde la perspectiva de la producción, como desde el punto de vista del consumo, se han propuesto varias alternativas concretas que a veces no son plenamente coincidentes. Como no podía ser de otra manera, a veces las diferencias en la estimación del agua virtual para ciertos cultivos son de gran importancia, en parte porque, como acertadamente sugiere Hoekstra, la estimación de este valor no es tarea fácil debido, principalmente, a cuatro factores: a) el lugar y período (estación del año) de producción; b) el punto donde practicar la medición, esto implica, por ejemplo, decidir si para un cultivo con riego la medición de la utilización del agua ha de realizarse en el punto de extracción o a nivel de suelo agrícola; c) el método de cultivo y la eficiencia en el uso del agua asociada al mismo, y por tanto si deben incluirse las "pérdidas" de agua en el proceso de cultivo por utilizar un método u otro; y d) el método para atribuir los requerimientos hídricos a los productos intermedios de cara a estimar el contenido de agua virtual de los productos finales[22]. A este respecto, tal vez los tres estudios que ofrecen mayor claridad en la exposición metodológica de las diferentes alternativas sean los textos de Chapagain y Hoekstra[23], Zimmer y Renault[24], y Oki, et al[25].

En general, todos estos trabajos se caracterizan por dos rasgos: se centran únicamente en unos cuantos países o regiones del planeta (a veces amplias), y solo consideran los productos agrarios y ganaderos, no adentrándose así en el cálculo del agua virtual asociado a la producción de bienes industriales ni, sobre todo, a las importaciones o exportaciones que de estos bienes realizan los países analizados. Dos ejemplos de este tipo de aproximación focalizada en los productos agrarios y ganaderos se pueden encontrar en los trabajos de Hoekstra y Hung respecto a la estimación del agua virtual asociada a la producción y el comercio de productos

---

17 Como el castellano se resiste algo más que el inglés a atajar en la adjetivación de sustantivos, mejor que hablar de huella ecológica -lo que, analizado en sentido estricto, carece de significado, ya que nuestra huella no suele ser precisamente muy ecológica- parece más ajustado hablar de huella de deterioro ecológico.

18 Para el caso español, una estimación de largo plazo de este indicador puede encontrarse en: Carpintero, O., El metabolismo de la economía española: Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000), Fundación César Manrique, Lanzarote, 2005.

19 Chapagain, A.K. y A.Y., op.cit., pág. 2.

20 Un importante esfuerzo por poner en común las investigaciones desarrolladas internacionalmente hasta comienzos de la década actual tuvo lugar en el International Expert Meeting on Virtual Water Trade celebrado en Deft (Holanda) en diciembre de 2002 Las actas con los resultados de aquel encuentro se publicaron en 2003. Vid. Hoekstra, A.Y, (ed.), Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series, nº 12, UNESCO-IHE, 2003.

21 Chapagain, A.K., A.Y. Hoekstra, Water Footprints of Nations. 2 Vol., Value of Water Research Report Series, nº 16, UNESCO-IHE, 2004.

22 Hoekstra, A.Y.,"Virtual Water: An introduction", en: Hoekstra, A.Y., (ed.), op.cit., pág.15.

23 Chapagain, A.K. and A.Y. Hoekstra "Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international trade of livestock and livestock products", 2003, en: Hoekstra, A.Y., (ed.), op.cit., págs. 49-76

24 Zimmer, D. and Renault, D. 'Virtual water in food production and global trade: Review of methodological issues and preliminary results', 2003 en: Hoekstra, A.Y., (ed.), : Virtual Water trade…, op.cit., págs. 93-109.

25 Oki, T., M. Sato, A. Kawamura, M. Miyake, S. Kanae and K. Musiake, "Virtual water trade to Japan and in the world", 2003, en: Hoekstra, A.Y., (ed.), op.cit., págs. 221-236.

agrícolas[26], y el de Chapagain y Hoekstra que se centra en la ganadería y los productos derivados de la misma[27]. Sin embargo, para lo que aquí interesa, tanto las discusiones como los trabajos elaborados en este campo llevaron a Chapagain y Hoekstra a ampliar sus preocupaciones y a estimar con cierto nivel de detalle y exhaustividad la huella hidrológica de todos los países —recogidas en el Waterfootprint of Nations—, apoyándose para ello en los resultados de esos dos estudios anteriormente citados[28].

Entre las mejoras introducidas en este último trabajo se encuentran las que se explican a continuación. Mientras en los otros estudios de estos autores el intervalo temporal era 1995-1999, las cifras se llevan ahora hasta el período 1997-2001. En segundo lugar, desde el punto de vista espacial, la cobertura de países considerada se ha ampliado de los 99 anteriores a los 146 manejados en la actualidad. En tercer lugar, en el plano relativo a los productos considerados, el Water Footprints of Nations abarca 168 productos primarios[29] frente a los 38 considerados anteriormente, además de incorporar el agua virtual asociada al comercio de productos industriales. Esto último ha demostrado ser un aspecto importante habida cuenta de que, a pesar de resultar la utilización de agua por la industria una fracción pequeña, en comparación con el agua utilizada por la agricultura, el comercio de productos industriales es tan relevante a veces que hace que el agua virtual asociada las importaciones y exportaciones sea una cantidad notable. Al incorporar el agua virtual asociada al comercio, se rompe con la hipótesis de suponer que las extracciones de agua de la industria se utilizaban íntegramente en el propio territorio. Y todo ello sabiendo que la estimación del agua virtual contenida en los productos fabricados por la industria se encuentra en las primeras fases de su desarrollo debido a la gran complejidad que implica su cálculo. Desde una perspectiva más amplia, resulta necesario destacar que este informe incorpora por primera vez una estimación, no solo del agua azul, sino también de lo que se ha denominado agua verde, esto es, de la asociada a la vegetación y los cultivos de secano.

Con estas premisas, Chapagain y Hoekstra acometieron, pues, la estimación del agua virtual y la huella hidrológica a escala planetaria y para los diferentes países, cuyos resultados se pueden resumir desde tres perspectivas:

a) desde el ángulo de los productos involucrados,

b) desde el plano de los países y a escala global, y,

c) desde el punto de vista del agua virtual comerciada en el planeta.

En el caso a), en relación con la huella hidrológica y el agua virtual asociada a los diferentes productos, conviene destacar varios resultados. De un lado, y a escala planetaria, el contenido de agua virtual de los cultivos primarios ascendía en el período de referencia a 6.390 kilómetros cúbicos al año. De esta cantidad, —suponiendo un 40 por ciento de eficiencia del agua de riego— alcanzaba 1.060 kilómetros cúbicos al año, esto es, el 17 por ciento, quedando así como agua verde el 83 por ciento restante, o lo que es lo mismo, 5.330 kilómetros cúbicos al año[30]. La importancia porcentual de los principales cultivos en esta cantidad se especifica en la tabla 2.

Tabla 2. Los 10 principales cultivos a escala mundial según el agua virtual incorporada

Cultivo	Pocentaje sobre el total en agricultura
Arroz	21
Trigo	12
Maíz	9
Soja	4
Caña de azúcar	3
Algodón	3
Cebada	3
Sorgo	3
Coco	2
Mijo	2

Fuente: Chapagain y Hoekstra (2004), op.cit, p. 40

Conviene, en todo caso, tener presente que estos cultivos primarios están en la base de otros productos agrícolas o ganaderos derivados, que incrementan notablemente el agua virtual y la huella hidrológica asociada a su consumo. Por ejemplo, si escogemos una ternera cebada en régimen de estabulación, ésta requiere aproximadamente tres años antes de ser sacrificada y de proporcionar en canal unos 200 kilogramos de carne deshuesada. Para lograrlo ha ingerido casi 1.300 kilogramos de cereal grano, 7.200 kilogramos de forrajes diferentes y 31 metros cúbicos (toneladas) de agua, tanto para beber como para diferentes servicios. En definitiva, para obtener un kilogramo de carne de ternera son necesarios, por término medio, 6,5 kilogramos de cereal, 6 de forrajes y 155 litros de agua. Pero obtener esa cantidad de comida exige, en promedio, 15.340 litros de agua[31].

En el caso de los productos industriales, el cálculo a escala de un producto particular se dificulta notablemente por lo que el camino elegido —como se recordó anteriormente— ha sido estimar el agua utilizada globalmente por la industria y compararla con las cifras de valor añadido generadas por cada actividad, obteniendo así un índice de intensidad de uso por actividad industrial y, además, una media para todo el sector industrial de cada país. Con este procedimiento, los resultados van desde los 4.650 litros por dólar estadounidense en Moldavia o los 2.524 litros por dólar estadounidense en Bulgaria, que son los dos países más intensivos en el uso de agua en la industria por unidad de valor añadido, a los 80 litros por dólar como media global mundial, los casi 100 litros de Estados Unidos, o los 51 de Alemania. A modo de resumen, la tabla 3 recoge una selección de productos variados y su correspondiente contenido de agua virtual medio a escala mundial.

En el caso b), desde el punto de vista de los resultados obtenidos en la estimación de la huella hidrológica de los diferentes países y la distribución porcentual de cada uno de los usos, conviene destacar los siguientes aspectos. De un lado, la huella hidrológica media para el conjunto del planeta y para el período de referencia es de 7.452 kilómetros cúbicos al año. Esta cifra, en términos per cápita, alcanza los 1.243 metros cúbicos al año. Dado que, según datos de Shiklomanov, se puede estimar que la precipitación sobre las tierras emergidas es de

[26] Hoekstra, A.Y. and Hung, P.Q., Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, Value of Water Research Report Series No. 11, UNESCO-IHE, 2002.

[27] Chapagain, A.K. and A.Y. Hoekstra,Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international trade of livestock and livestock products, 2003.

[28] Chapagain, A.K. and A.Y. Hoekstra,Waterfootprint of Nations. 2 Vol., Value of Water Research Report Series, nº 16, UNESCO-IHE, 2004

[29] En todo caso, y ante la falta de datos, no se tuvieron en cuenta los siguientes productos: cigarros y cigarrillos, lana y fibras sintéticas, miel, champiñones, bebidas alcohólicas, algunas hierbas y especias, piel de reptil, pescado y grasas animales.

[30] Si se computaran las "pérdidas" en riego —aspecto no contemplado en la metodología de cálculo—, la utilización real de agua para riego ascendería a 2.650 kilómetros cúbicos al año, de modo que el montante de agua total utilizada por la agricultura llegaría a 7.980, de los cuales entonces sólo el 67 por ciento sería agua verde. Vid. Chapagain y Hoekstra: Water Footprints of Nations…, op.cit. pág. 42.

[31] Chapagain, y Hoekstra, Water Footprints…, vol. 1, 2004, pág. 42. Se calculó el agua virtual incorporada a ocho categorías de animales: ternera, vaca lechera, cerdo, oveja, cabra, aves de corral, gallinas ponedoras y caballos.

110.000 kilómetros cúbicos, parece que los requerimientos hídricos de la humanidad -sumando tanto el agua azul como el agua verde- están bastante por debajo del 10 por ciento de las precipitaciones anuales[32].

Tabla 3. Contenido en agua virtual de varios productos (media mundial)

Producto	Agua virtual (l)	Producto	Agua virtual (l)
1 vaso de cerveza (250 ml)	75	1 vaso de vino (125 ml)	120
1 vaso de leche (200 ml)	200	1 vaso de zumo de manzana (200 ml)	190
1 taza de café (125 ml)	140	1 vaso de zumo de naranja (200 ml)	170
1 taza de te (125 ml)	--	1 bolsa de patatas fritas (200 g)	185
1 rebanada de pan (30 g)	40	1 huevo (40 g)	136
1 rebanada de pan (30 g) con queso	90	1 hamburguesa	2.400
1 patata (100 g)	25	1 tomate (70 g)	13
1 tomate (100 g)	70	1 naranja (100 g)	50
1 camiseta de algodón mediana (500 g)	4.100	1 par de zapatos de piel de vaca	8.000
1 hoja de papel A-4	10	1 microchip (2 g)	32

Pero no todo este flujo anual de precipitación es utilizable: como se indicó anteriormente, cerca de dos tercios se evaporan o constituyen la reserva de humedad de los suelos que aprovecha la vegetación y solo el tercio restante (cifrado en unos 40.000 kilómetros cúbicos) constituye el agua azul que escurre hacia los mares. Además, buena parte de esta entrada neta de agua dulce no se encuentra disponible para ser utilizada por usos antrópicos, por tratarse de excesos de agua que hay que drenar en zonas húmedas, de caudales muy irregulares en zonas áridas, o por corresponder a áreas despobladas en los trópicos o en la cercanía de los Polos. Aunque la especie humana trata de ampliar mediante embalses la cantidad de agua estable disponible -a la que se añade hoy el agua obtenida por desalación- ésta apenas alcanza los 12.000 kilómetros cúbicos anuales, mientras que se estima que el agua azul utilizada alcanza ya los 5.000 kilómetros cúbicos anuales[33]. El reparto de esta cantidad se distribuye, más o menos, en los siguientes porcentajes: 85,8 por ciento para la producción agrícola y ganadera, el 9,6 por ciento para los productos industriales, y el 4,6 por ciento para usos urbanos. Si al agua azul utilizada se añade una estimación del agua contaminada por vertidos, cabe concluir con seguridad que la especie humana utiliza o invalida por contaminación ya más de la mitad del agua azul accesible[34]. Y la incidencia de la especie humana en el manejo del agua planetaria es todavía mayor si añadimos al agua azul el agua verde aprovechada, para calcular la huella hidrológica anteriormente cifrada en 7.452 kilómetros cúbicos anuales.

[32] Esto mismo lo apunta R. Llamas, Los colores del agua, op.cit., pág. 16, aunque manejando una cifra de precipitaciones algo superior: 115.999 kilómetros cúbicos.

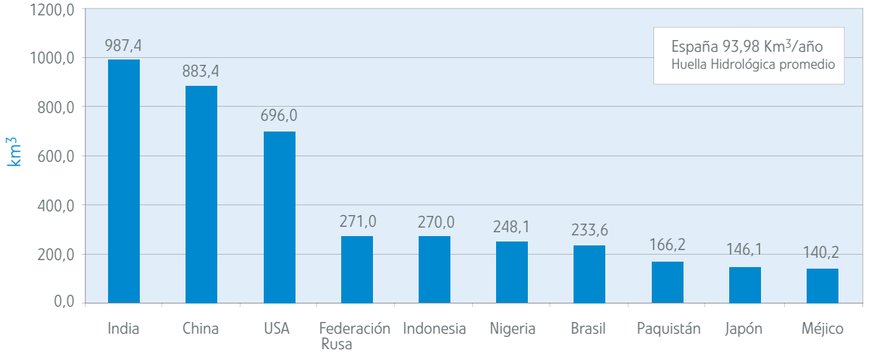
[33] Naredo, J. M. y Valero, A. (dirs.), Desarrollo económico y deterioro ecológico, Madrid, Fundación Argentaria-Visor Distribuidores, 1999, págs.75-76.

[34] Como habían apreciado Meadows, D. H.; Meadows, D. y Randers, J., Más allá de los límites, Aguilar, Madrid, 1992, págs. 86-87.

Cuando descendemos a escala nacional e intentamos ordenar los países según su huella hidrológica resulta llamativa la diferencia que se establece entre los resultados totales y los obtenidos en términos per cápita. Las figuras 1 y 2 dan oportuna cuenta de esta circunstancia. Si comparamos las cifras de ambas se observa que, en primer lugar, el único país coincidente en los dos es Estados Unidos, que ocupa el tercer puesto desde el punto de vista del tonelaje total, pero el primer puesto en lo que se refiere a la huella hidrológica por habitante. En segundo lugar, las diferencias totales entre los tres primeros países desde el punto de vista absoluto (India, China y Estados Unidos), que casi triplican las cifras del resto de los diez primeros, son mucho más acusadas que la distancia que separa a los diez primeros países desde el punto de vista per cápita. El gran peso que, desde el punto de vista físico y territorial, tiene la agricultura en esos tres territorios, así como la gran extensión superficial de los mismos, explican sobradamente este resultado. Por otra parte, los cinco primeros países representan el 42 por ciento de la huella hidrológica total: India (13 por ciento), China (12 por ciento), Estados Unidos (9 por ciento), Federación Rusa (4 por ciento) e Indonesia (4 por ciento).

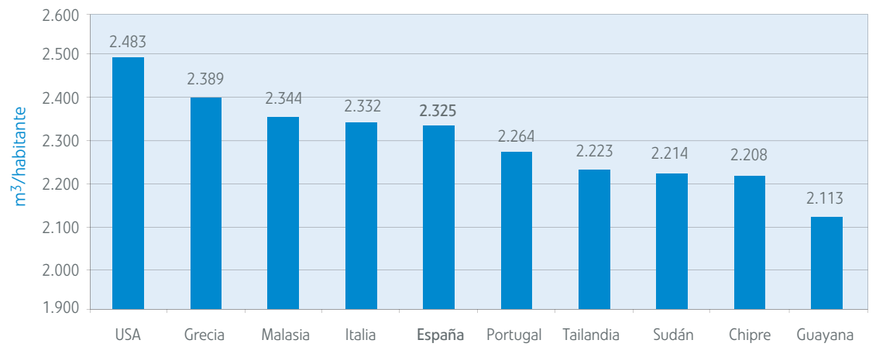
Cuando abandonamos las huellas hidrológicas totales y se incorpora el elemento demográfico, parece claro que las explicaciones de la huella por habitante hay que buscarlas en factores económicos como el nivel de renta, patrones de consumo alimentario más o menos intensivos en proteínas animales con cargo a cereales, pienso o, finalmente, la eficiencia en el uso del agua por parte de la agricultura. En este sentido, la conjunción de una tasa alta de evapotranspiración y la pertenencia al grupo de países con mayores ingresos a escala mundial explica, por ejemplo, el lugar ocupado por territorios como Grecia, Portugal, España e Italia entre los diez países con mayor huella hidrológica por habitante, circunstancia que no se da en otros países centroeuropeos como Holanda, Dinamarca o incluso Reino Unido, en los que, a pesar de pertenecer al grupo de países ricos, su clima húmedo permite una huella hidrológica asociada a los productos agrarios menor. En el caso de Estados Unidos, a lo dicho desde el punto de vista total, hay que unir ahora el modelo alimentario estadounidense que, directa e indirectamente, exige una cantidad de cereales superior a los 800 kilogramos por habitante y año, pero esta circunstancia cada vez resulta más relevante también en los países europeos meridionales como España, Portugal, Italia y Grecia.

Figura 1. Los 10 primeros países según la huella hidrológica total (1997-2001) km³



Fuente: Chapagain y Hoekstra. 2004, Op. Cit.

Figura 2. Los 10 primeros países según la huella hidrológica per cápita (1997-2001) m³/habitante



Fuente: Chapagain y Hoekstra. 2004, Op. Cit.

En último lugar, el caso c), merece la pena destacar el impacto hidrológico del comercio internacional, habida cuenta que, cuando un país decide importar un bien cuya fabricación es muy intensiva en el uso de agua en vez de producirlo en su propio territorio, está importando agua (virtual) indirectamente, o exportándola si la relación comercial es la contraria. La tabla 4 recoge la evolución de los flujos de agua virtual relacionados con el comercio internacional para el período de referencia. De ella se deduce que, en promedio, el agua virtual trasegada asciende a 1.625 kilómetros cúbicos al año, lo que significa el 21 por ciento de los flujos de agua virtual totales mundiales (7.451 kilómetros cúbicos al año).

Tabla 4. Flujos de agua virtual en el comercio internacional (1997-2001) (km³/año)

Flujos de agua virtual relacionados con el comercio internacional de productos				
Año	Agrícolas	Ganaderos	Industriales	Totales
1997	937	257	332	1.526
1998	995	258	331	1.584
1999	999	272	352	1.623
2000	1.041	302	401	1.744
2001	961	293	393	1.647
Media 97-01	**987**	**276**	**362**	**1.625**

(..) Porcentajes no significativos.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en Shiklomanov, I. (1998 y 1999), op.cit..

Tal y como ilustra la misma tabla, el grueso del agua virtual comerciada descansa en los productos agrícolas, con el 60 por ciento del total, repartiéndose el resto casi en partes iguales entre el agua virtual incorporada en las exportaciones ganaderas y en las industriales.

En lo que atañe al papel desempeñado por cada país en este escenario, Chapagain y Hoekstra (tabla 5) ofrecen una información desagregada sobre los territorios con mayor importación neta de agua virtual y aquellos que, por el contrario, muestran un comportamiento exportador neto. Una de los elementos a destacar es el importante peso que los productos agrarios y ganaderos tienen en el saldo neto negativo experimentado por los importadores netos, sobre todo en el caso de Japón.

El asunto relevante a este respecto es ¿hasta qué punto el comercio de agua virtual puede ser una herramienta de cara a reducir el estrés hídrico que afecta a varios países del planeta?. La importación de productos intensivos en agua puede ahorrar una buena parte del recurso a utilizar para producir dichos bienes dentro del país, por lo que merece la pena estimar la contribución de este mecanismo al ahorro y eficiencia en el uso del agua. Por ejemplo, México ofrece un déficit neto desde el punto de vista del agua virtual, en parte como consecuencia de las importaciones de cereales grano (maíz y soja) procedentes de Estados Unidos. El agua virtual asociada a este flujo de importaciones asciende a 7,1 kilómetros cúbicos al año, mientras que, según los cálculos recogidos en el Water Footprints of Nations, producir esa cantidad de grano en el propio país requeriría 15,6 kilómetros cúbicos al año, por lo que México ahorraría 8,5[35]. Aunque esto, efectivamente, sea así, conviene no perder la perspectiva y olvidar los importantes impactos sociales y económicos que sobre la agricultura tradicional y las explotaciones familiares mexicanas tiene el recurso masivo al grano importado, además de incrementar la dependencia económica respecto del país norteamericano.

Tabla 5.1. Los diez países principales exportadores de agua virtual

1997-2001 (km³/año)			
Países exportadores netos	Exportación	Importación	Exportaciones netas
Australia	73	9	64
Canadá	95	35	60
Estados Unidos	229	176	53
Argentina	51	6	45
Brasil	68	23	45
Ivory Coast	35	2	33
Tailandia	43	15	28
India	43	17	25
Ghana	20	2	18
Ucrania	21	4	17

[35] Chapagain y Hoekstra, (2004), op.cit., p. 70.

Tabla 5.2. Los diez países principales importadores de agua virtual

1997-2001 (km^3/año)			
Países importadores netos	Exportación	Importación	Importaciones netas
Japón	98	7	92
Italia	89	38	51
Reino Unido	64	18	47
Alemania	106	70	35
Corea del Sur	39	7	32
México	50	21	29
Hong Kong	28	1	27
Irán	19	5	15
España	45	31	14
Arabia Saudí	14	1	13

Fuente: Chapagain y Hoekstra, (2004), op.cit. pág. 46

2.4. El caso español: singularidades y contexto

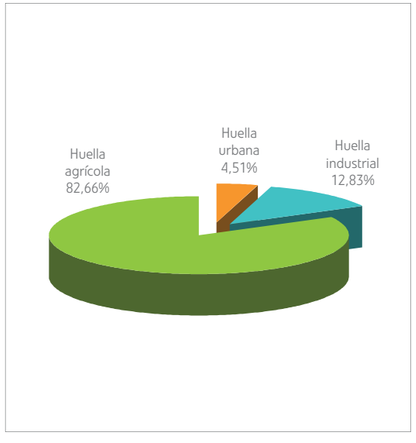
Dadas las peculiaridades de nuestro país en materia hídrica, parece razonable, en un estudio de estas características, dejar constancia de las peculiaridades y el contexto en que se obtiene la huella hidrológica de la economía española, que debería servir para compararla con la estimada en este trabajo para la Comunidad de Madrid. No obstante, como se detalla en el Anexo 4, las discrepancias observadas en las fuentes de datos y en la metodología de cálculo, hacen que estas dos huellas no sean comprables.

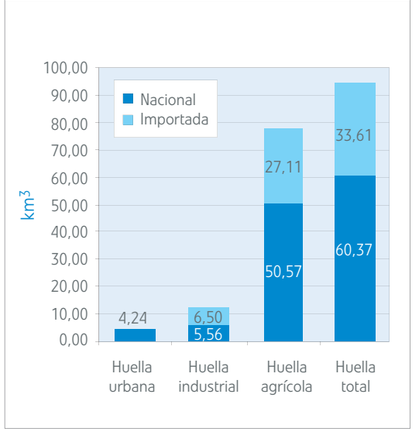
La huella hidrológica total española ascendía en el período de referencia a un promedio de 93,98 kilómetros cúbicos al año, lo que en términos per cápita suponía 2.325 metros cúbicos por habitante al año. Esta cantidad casi dobla la huella hidrológica media a escala mundial, representando España el quinto país del mundo por huella per cápita.

Las figuras 3 y 4 muestran una tónica bastante generalizada respecto a la distribución porcentual entre la huella relativa a los productos agrarios (mayoritaria) y la que tiene que ver con el abastecimiento urbano y los productos industriales: más de las cuatro quintas partes de la huella cabe achacarlas a la primera clase de productos. Por otro lado, aproximadamente un tercio de los casi 94 kilómetros cúbicos al año de la huella hidrológica española se genera en el resto del mundo, dejando los dos tercios restantes para el ámbito nacional.

Conviene hacer alguna matización a estas cifras globales y a su distribución sectorial. En primer lugar, respecto a los valores absolutos manejados por Chapagain y Hoekstra, llama la atención los 5,56 kilómetros cúbicos estimados como uso de agua en la industria (huella hidrológica) nacional, y eso sin incluir la estimación sobre el agua virtual asociada a las importaciones de productos industriales. Esta cifra apenas coincide, sin embargo, con otras estimaciones (tampoco coincidentes entre sí) respecto del uso de agua por parte del sector industrial español. Así, mientras el PHN 93 y las CAE 94 estimaban para comienzos de la década de los noventa 1,94

Figuras 3 y 4. Distribución porcentual de la huella hidrológica española según tipo y cantidad en el origen (promedio 1997-2001)





kilómetros cúbicos[36], el Libro Blanco del Agua del año 2000 calculaba un uso de agua en este sector de 1,6[37] kilómetros cúbicos, cifra parecida a la ofrecida por el INE para 1999, que ascendía a 1,5[38] kilómetros cúbicos. Sin embargo estas cifras se alejan todas bastante de la manejada recientemente en un estudio encargado, en teoría, de poner al día los asuntos hídricos como consecuencia de la aplicación de la Directiva Marco del Agua. En este texto se ofrece un consumo de agua por la industria de 0,96 kilómetros cúbicos para 2001, cifra muy inferior al resto de estimaciones[39]. Pero más sorprendente resulta el asunto cuando descendemos al nivel de cuenca y comparamos los datos ofrecidos en cada una de estas fuentes. Por poner un ejemplo, que desarrollaremos más en otro apartado, el uso de agua por la industria en la Cuenca del Tajo equivale a 25 hectómetros cúbicos según el Libro Blanco, a 48 hectómetros cúbicos según el INE y a 175 hectómetros cúbicos según el reciente informe citado del Ministerio de Medio Ambiente. Parece necesario aclarar el significado de tan discrepantes estimaciones, todas ellas realizadas por la Administración, habida cuenta que afectan a las comparaciones entre la situación española y la referente a la Comunidad de Madrid[40].

---

[36] Naredo, J.M. y J.M. Gascó, (dirs): Las cuentas del agua en España, MOPU.

[37] Ministerio de Medio Ambiente,Libro blanco del agua en España, MMA, Madrid, 2000, pág. 279.

[38] INE, Estadística del uso del agua en la industria, 1999 (www.ine.es).

[39] Ministerio de Medio Ambiente,El agua en la economía española: situación y perspectivas, MMA, Madrid, 2001, pág. 41.

[40] En los apartados 5.2. y 5.3 tratamos de aclarar este enigma, con una estimación propia del agua utilizada por la industria apoyada en informaciones directas del Canal de Isabel II y de la CHT.

Tabla 6. Los diez principales cultivos según el agua

Total España (promedio 1997-2001)		
Cultivo	Agua virtual España (m^3/tm)	Agua virtual nacional agricultura (km^3/año)
Olivar	3.295	16,69
Cebada	1.070	9,45
Uvas	1.338	7,51
Trigo	1.227	6,73
Almendro	19.805	5,42
Maíz	646	2,78
Gramíneas forrajeras	489	1,65
Semillas de girasol	1.367	1,32
Arroz, cáscara	1.485	1,23
Avena	1.751	1,19
TOTAL (Nacional)	**...**	**50,17**

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Chapagain y Hoekstra (2004)

El segundo elemento a considerar tiene que ver con el diferente peso que el informe de Chapagain y Hoekstra atribuyen al sector industrial y al abastecimiento urbano. En contra de todos los datos anteriormente disponibles, el uso de agua en la industria supera al abastecimiento urbano. Los autores se apoyan en las cifras ofrecidas por AQUASTAT de la FAO, pero aunque suponemos que la fuente original debe ser alguna estadística española, no hemos podido averiguar cuál de ellas ha sido la utilizada.

En lo referente al detalle de la huella hidrológica de los productos agrarios, desde el punto de vista de los cultivos sorprende la posición del olivo como el cultivo con mayor agua virtual total al año con una cantidad de 16,69 kilómetros cúbicos. En parte se debe a los casi 2,5 millones de hectáreas plantadas y a que se estima también el agua verde incorporada al suelo en la agricultura de secano. Aunque no hay que olvidar que los tres cereales principales (cebada, trigo y maíz) superan conjuntamente al propio olivar.

2.5 Algunas cuestiones metodológicas y problemas de cuantificación.

Los resultados mostrados suponen claramente un avance en la reflexión sobre los asuntos hídricos a escala nacional y planetaria, aunque debido a algunas consideraciones y limitaciones, conviene tomarlos como una primera aproximación o base para el trabajo posterior. Y no solo porque las cifras aportadas para muchos países haya que recibirlas con suma cautela habida cuenta de los deficientes servicios estadísticos con que cuentan, sino porque también en aquellos territorios con mejores medios para realizar estimaciones directas, las cifras presentan problemas no menores[41].

[41] Por ejemplo, varios países europeos, entre ellos España.

Por otro lado, se asumen en esta aproximación algunas hipótesis metodológicas que, dependiendo del contexto, pueden resultar controvertidas. Por ejemplo, no se computan las pérdidas derivadas de la mala eficiencia en el uso del agua de riego por aceptar, que tarde o temprano, formarán parte de los retornos del sistema, aunque supongan pérdidas de cota y de calidad o cambios de fase, evaporándose en la atmósfera, a ritmos más acelerados de los que pudieran considerarse naturales. O, paralelamente, tampoco se incorpora el agua necesaria para el lavado de suelos que, en zonas áridas donde la salinización es importante, resulta imprescindible para el preparado del terreno de cara a su cultivo.

Pero si bien los análisis del agua virtual y de la huella hidrológica trascienden los enfoques parcelarios habituales, siguen siendo todavía bastante burdos al tratar por igual a todos los requerimientos de agua. Un análisis más fino exigiría diferenciar las consecuencias tan distintas que tienen sobre el agua los distintos usos de la misma. Algunos la consumen estrictamente al evaporarla, otros la devuelven con contaminantes peligrosos y muy difíciles de limpiar, mientras que otros apenas la deterioran o sus incidencias contaminantes son mucho más fáciles de corregir. También habría que tener en cuenta que no todos los usos requieren y utilizan aguas de la misma calidad. Nuestra propuesta apunta a hacer más precisas y matizadas las nociones de agua virtual y huella hidrológica, cuantificando en términos energéticos y monetarios el distinto deterioro ocasionado por los usos a través de su coste de *reposición*[42].

Las actuales investigaciones sobre el agua virtual y la huella hidrológica de un territorio tienen, pues, la virtud de ampliar la reflexión hacia los requerimientos de agua asociada a todos los bienes y servicios utilizados en el mismo, incluyendo los que vengan de fuera y contribuyan a reducir las exigencias de agua in situ. Pero también hay que advertir que esta ampliación del razonamiento hacia el análisis de la posible sustitución de recursos y productos quedaría a mitad de camino si se limitara solo al agua. Pues es evidente que se puede evitar o reducir el uso del agua modificando los procesos de producción y las pautas de consumo, pero estos cambios suelen entrañar la sustitución del agua por la mayor exigencia de otros recursos o productos. Tal sería el caso de sustituir envases renovables -cuya limpieza exige mucho agua- por envases desechables -cuya producción demanda mucha más energía-. En estos casos habría que sopesar las mayores exigencias de energía y materiales que conlleva el ahorro de agua que resulta del cambio de procesos, relacionando los análisis del agua virtual con las implicaciones sobre el conjunto de los flujos y requerimientos físicos del metabolismo económico. En suma, habría que contextualizar el análisis integrado de la gestión del agua (Integrated Water Resources Management -IWRM-) en el análisis integrado de la gestión del conjunto de flujos físicos que mueve el metabolismo económico. En lo que sigue, ajustaremos nuestro estudio del agua en la Comunidad de Madrid a los enfoques y términos de moda (recogidos en el Anexo metodológico) que acabamos de exponer, tratando además de situarlos en un contexto de análisis más amplio, en la medida que la información disponible lo permita.

[42] La metodología necesaria para ello puede encontrarse en Valero et al. (2006).

3

Contexto: agua y territorio en la Comunidad de Madrid

3.1 Introducción

El agua no sabe de fronteras administrativas, sino que sigue su propia lógica, lo que plantea problemas a la hora de encuadrar su análisis dentro de un territorio administrativamente delimitado. Pues las aguas superficiales fluyen y se agrupan en cuencas y las aguas subterráneas en acuíferos, pudiendo luego desagregarse en unidades cuerpos, masas o sistemas de menor entidad. En los territorios insulares la delimitación administrativa suele coincidir con la del agua al abarcar todo el ciclo hidrológico en todas sus vertientes, desde que entra en las cuencas por precipitación hasta que sale al mar. Este no es el caso de la Comunidad de Madrid, que forma parte de la cuenca del Tajo, situándose lejos tanto de su nacimiento como de su desembocadura. Pero pese a ello, afortunadamente, su delimitación administrativa sigue al noroeste la divisoria de vertientes de esta cuenca (ver figura 5), lo que asegura la captación del agua de su propia divisoria que fluye desde las cumbres hasta el propio río Tajo, que marca en algún tramo su frontera por el sureste. Esta relativa coincidencia entre la división administrativa y la hidrológica, hace que la importante aglomeración urbana de Madrid se haya nutrido básicamente del agua captada en el propio territorio de la región y provincia de Madrid, a través de la red de embalses del Canal de Isabel II, situados en la cabecera de esta vertiente, que aseguraban agua de muy buena calidad. Sin embargo, la presión de los usos urbanos vinculados a la creciente aglomeración madrileña obligó a extender la red de captaciones del Canal más allá de los límites de la Comunidad, con embalses de cabecera, en el noreste, como El Vado y Pozo de los Ramos, en Guadalajara, en el noroeste, como La Aceña, en Ávila, y más hacia el suroeste, en la zona del Alberche. Como se constatará más adelante el recurso al agua de fuera de la Comunidad para el abastecimiento urbano ya es significativo.

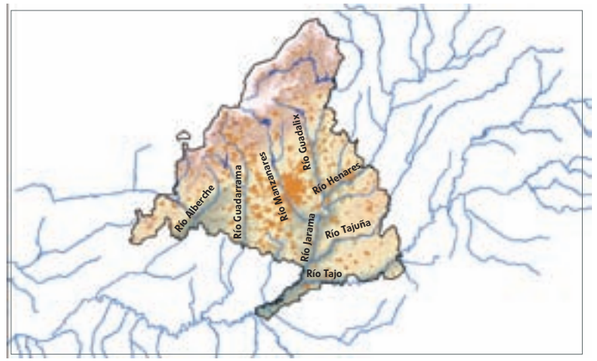
Al contrario de lo que ocurre con el agua para abastecimiento urbano, el grueso de los regadíos de Madrid se ha venido nutriendo tradicionalmente de las aguas de los ríos que entraban de fuera de su territorio por el sureste, situándose éstos, a menor cota, en las vegas del Henares, el Tajuña y el Tajo. La litología de la cuenca del Tajo y la creciente presión de los usos unida a otros factores, vienen deteriorando las aportaciones de estas cuencas en cantidad y calidad, hasta el punto de hacerlas inadecuadas para abastecimiento urbano e incluso utilizables para riego solo con limitaciones[43], lo que una vez completadas las captaciones de los embalses en la cabecera de la vertiente, plantea serias dificultades a la hora de buscar nuevos recursos en la cuenca, exigiendo una política de captaciones muy sensible a la calidad[44].

Una vez esbozado el panorama general de las disponibilidades y usos del agua en la Comunidad de Madrid pasaremos a estudiar en el apartado siguiente el clima y el régimen de humedad que caracteriza a su territorio, así como la adaptación de la vegetación al mismo, para pasar a analizar después las relaciones del agua azul con el agua verde contenida en el suelo y la vegetación.

[43] Según la red de datos ICA para el período 2000-2005, el Tajo, antes de la desembocadura del Jarama, arroja una conductividad de 2.006 µs/cm después de recibir el inmenso caudal de vertidos del Jarama, la conductividad del Tajo desciende a 1.786, pero aumenta su contenido en elementos pesados y otros contaminantes que los sistemas actuales de depuración no consiguen limpiar. Aguas arriba, en Estremera, la conductividad es de 938 µs/cm; en Villarubia de 1.935;…y en el canal del Henares de 923. Cabe recordar que la Organización Mundial de la Salud (OMS) no recomienda beber agua permanentemente con un contenido en sales de más de 500 miligramos por litro, lo que equivaldría a 750 µs/cm.

[44] Las fuertes oscilaciones de la calidad del agua que se observan en la cuenca del Tajo, en función de la litología y la presión de los usos y los vertidos, evidencian que una gestión razonable necesita prestar gran atención a la calidad. Por ejemplo, el embalse de Entrepeñas, que cuenta con agua de buena calidad y se sitúa a la misma cota que Atocha, constituiría una fuente de recursos muy a tener en cuenta para el abastecimiento de Madrid. Sin embargo, degradar esta agua (con una conductividad media de 562 µs/cm en 2005) mezclándola, como ahora se hace, con la del embalse de Buendía (con 927 µs/cm) para recogerla en el embalse de Bolarque (con 769) y trasvasarla hacia el Segura, tras un bombeo de cerca de 300 metros, resulta, al menos, cuestionable.

Figura 5. Hidrología de la Comunidad de Madrid



Fuente: Canal de Isabel II

3.2 Adaptación vegetal al régimen de humedad y temperatura

Los parámetros edafoclimáticos que más influyen en las formaciones vegetales y en los cultivos que artificialmente pueden sustituirlas son el régimen de humedad del suelo (RHS) y el régimen de temperatura del suelo (RTS).

El RHS define el estado de humedad del suelo (EHS) a lo largo del tiempo, en cada día del año durante al menos treinta años. El EHS es definido por el agua utilizable contenida en una sección de control de humedad (SCH) situada dentro del perfil del suelo, a una profundidad por debajo de los 25 milímetros de retención de agua útil[45] (AU) y por encima de los 75 milímetros de AU, comprendiendo las capas segunda y tercera de un total de ocho, de 25 milímetros cada una, lo que suman un total de AU de 200 milímetros, que son los que definen el perfil hipotético de humedad (PHH) de uso en las clasificaciones edafoclimáticas. La formación vegetal se considera que es determinada por el RHS, es decir, por el estado de la SCH, a causa de su relación con el sistema radicular. El estado de la SCH depende de la influencia mutua entre vegetación y suelo. El suelo zonal se considera en su génesis dependiente de los factores de clima y vegetación, y la vegetación clímax se considera dependiente de los factores de clima y suelo.

[45] Agua útil es la diferencia de humedad del suelo entre capacidad de campo (Cc) y coeficiente de marchitamiento (Cm). La Cc define la humedad retenida por el suelo tras drenar libremente después de haber sido humedecido en exceso. El Cm define la humedad del suelo cuando se produce el marchitamiento permanente de las plantas por carecer de agua utilizable en cantidad suficiente para atender a las necesidades mínimas de flujo. Agua utilizable (Au) es la retenida con potencial menor que la succión que pueden ejercer las células de las raíces. En la práctica, la Cc es estimada por la humedad retenida frente a succión de 33 kPa, y el coeficiente de marchitamiento por la retenida a succión de 1.500 kPa. El kPa es la succión de equilibrio correspondiente al potencial del kJ m^{-3}.

En la Comunidad de Madrid predomina el régimen de humedad del suelo Xeric (Gr. xeros, seco) que es el típico del clima mediterráneo, donde los inviernos son fríos y húmedos y los veranos cálidos y secos. La evapotranspiración potencial (ETP) es mínima en invierno, por lo que el suelo se ve sometido a un exceso de humedad que determina los procesos siguientes: (1) lavado de sales solubles, (2) lixiviación de iones adsorbidos a la superficie de partículas finas (arcilla y materia orgánica) con una carga eléctrica negativa neta que determina el complejo de intercambio iónico, (3) acidificación ligera y dispersión del coloide arcilloso, y (4) eluviación de la arcilla dispersa que desciende y se acumula por iluviación en un horizonte argílico subsuperficial. La ETP es máxima en verano, por lo que la SCH se seca y la vegetación anual muere, permaneciendo solamente los árboles y parte del matorral con raíces profundas que extraen la humedad del PHH por debajo de la SCH. Los restos vegetales en la parte superficial del perfil son mineralizados con rapidez cuando los microorganismos son activados por las primeras lluvias. Las cenizas de mineralización son ricas en cationes alcalinotérreos que son bombeados por la vegetación desde las partes profundas del perfil y depositados en la parte superficial, donde contribuyen a neutralizar la acidez de lixiviación o de absorción radicular. En sentido estricto el régimen Xeric ha de cumplir lo siguiente:

(1) La SCH debe estar seca (D) en sus dos capas (25-50 y 50-75 milímetros) durante 45 o más días consecutivos dentro de los cuatro meses que siguen al solsticio de verano (21 de junio), lo que ha de ocurrir en seis o más años de cada diez (en un periodo de análisis de treinta o más años).

(2) La SCH debe estar húmeda (M) en sus dos capas (25-50 y 50-75 milímetros) durante 45 o más días consecutivos dentro de los cuatro meses que siguen al solsticio de invierno (21 de diciembre) en seis o más años de cada diez (el mismo periodo de treinta o más años).

(3a) La SCH debe estar húmeda en alguna de sus dos partes (25-50 ó 50-75 milímetros) más de la mitad del tiempo acumulado con temperatura del suelo mayor de 5 grados centígrados a la profundidad de 50 centímetros, o bien,

(3b) la SCH debe estar húmeda en alguna de sus dos partes al menos noventa días consecutivos con temperatura del suelo a 50 centímetros continuamente por encima de 8 grados centígrados, lo que ha de ocurrir al menos en seis años de cada diez.

Además, se requiere que la temperatura media anual del suelo sea menor de 22 grados centígrados y la diferencia entre la temperatura media de verano y la de invierno supere los 5 grados centígrados, a 50 centímetros de profundidad o en un eventual contacto lítico o paralítico situado a menos profundidad. La condición (3a) diferencia el régimen Xeric (Mediterráneo) del Aridic (L. aridus, seco) de los desiertos secos. La condición (3b) lo diferencia del Udic (L. udus, húmedo) de las zonas de clima húmedo. La condición (1) lo diferencia del Ustic (L. ustus, combustión, implicando sequedad), que es el intermedio entre el Udic y el Aridic, pero a diferencia del Xeric con humedad durante el periodo con temperatura deseable para el crecimiento de las plantas.

El único lugar de la Comunidad de Madrid donde el régimen de humedad del suelo no es Xeric es Navacerrada. Aquí el RHS es Udic porque registra precipitaciones en julio, agosto y septiembre por encima de 25 milímetros. Estas precipitaciones se concentran en pocos días cada mes, por lo que el agua alcanza sin dificultad la sección de control de humedad, por lo que deja de cumplir el requisito de SCH seca los 45 días consecutivos tras el solsticio de verano. Concretamente, en septiembre la precipitación media mensual (76,3 milímetros) supera a la evapotranspiración potencial (70,0 milímetros).

Tabla 7. Edafoclima de la Comunidad de Madrid según la altitud del terreno

Observatorio	Altitud m	Tmas °C	P mm	ETP mm	Régimen humedad	Régimen temperaturas
Navacerrada	1.860	7,4	1.170	520	Udic	Cryic
Bustarviejo	1.248	11,4	929	631	Xeric	Mesic
Mangirón	1.000	12,3	650	681	Xeric	Mesic
Torrelodones	843	14,4	580	749	Xeric	Mesic
Cuatrovientos	690	15	450	780	Xeric	Thermic
San Martín de la Vega	681	14,2	649	767	Xeric	Mesic
Madrid	667	14,9	438	758	Xeric	Mesic
Fuente el Saz	645	14,4	473	751	Xeric	Mesic
Getafe	623	15,2	445	785	Xeric	Thermic
Torrejón de Ardoz	600	15	446	767	Xeric	Thermic
Barajas	595	15,4	469	783	Xeric	Thermic
Aranjuez	490	14,7	425	754	Xeric	Mesic

(*)Tmas = Temperatura media anual del suelo a la menor de las profundidades siguientes:
(1) 50 cm, (2) un contacto lítico de roca dura o paralítico de roca blanda.

El régimen de temperatura del suelo (RTS) en la Comunidad de Madrid es más diferenciador que el régimen de humedad. La temperatura media anual del suelo (TMAS) a 50 centímetros de profundidad se estima añadiendo 1 grado centígrado a la temperatura media anual del aire, registrada en los observatorios meteorológicos del lugar. El RTS Pergelic (L. per, a lo largo de todo el tiempo y el espacio; y L. gelare, congelar) es el de los suelos con congelación permanente (permafrost) por tener TMAS menor de 0 grados centígrados. El RTS Cryic (Gr. kryos, frialdad) es el de los suelos muy fríos con TMAS mayor de 0 y menor de 8 grados. El RTS Mesic es el de los suelos con TMAS igual o mayor de 8 y menor de 15 grados y con diferencia mayor de 5 grados entre la temperatura de verano (media de junio, julio y agosto) y la de invierno (media de diciembre, enero y febrero). El RTS Thermic es el de los suelos con TMAS igual o mayor de 15 y menor de 22 grados y diferencia verano-invierno mayor de 5 grados. Ni El RTS Hyperthermic, con TMAS igual o mayor de 22 grados, ni el carácter iso, que corresponde a una diferencia verano-invierno menor de 5 están presentes en la Comunidad de Madrid, cuyo clima en términos generales es mediterráneo y templado con estaciones contrastadas.

El edafoclima diferencia dos regímenes de humedad (Xeric y Udic) y tres regímenes de temperatura (Thermic, Mesic y Cryic), definiendo una climosecuencia en función de la altitud que repercute en la diversidad de suelos y formaciones vegetales. En general, el régimen de temperaturas del suelo diferencia una zona Thermic por debajo de los 650 metros de altitud, una zona Mesic entre 650 y 1.800 metros, y una zona Cryic por encima de los 1.800 metros de altitud, no apareciendo la zona Pergelic, que se situaría por encima de los 3.100 metros. Otras diferencias causadas por la litología, el relieve y el tiempo de desarrollo edáfico y climácico-biológico también influyen en la diversidad ecosistémica y en el balance hídrico que permite separar el agua libre (agua azul) del agua ligada al suelo y la vegetación (agua verde); sin embargo, la significación de su influencia parece quedar muy por debajo de la intervención antrópica en el suelo de secano y regadío, en la vegetación arbórea, en la de matorral y en la herbácea, y por encima de todo en el paisaje de agua más o menos naturalizado.

4

El agua ligada al suelo y a la biomasa en la Comunidad de Madrid

4.1. Balance potencial de los recursos endógenos de agua en el suelo al nivel de parcela

El balance potencial del agua por hectárea es la diferencia entre las entradas de agua en el suelo vía precipitación (P) y las salidas vía evapotranspiración (suma de evaporación directa desde el suelo y transpiración vegetal), supuesto el suelo sin restricciones, con agua y aire en la proporción adecuada para satisfacer las necesidades de agua y de respiración de las raíces (evapotranspitración potencial) ETP.

Tabla 8. Parámetros básicos para calcular el balance potencional de agua en la Comunidad de Madrid

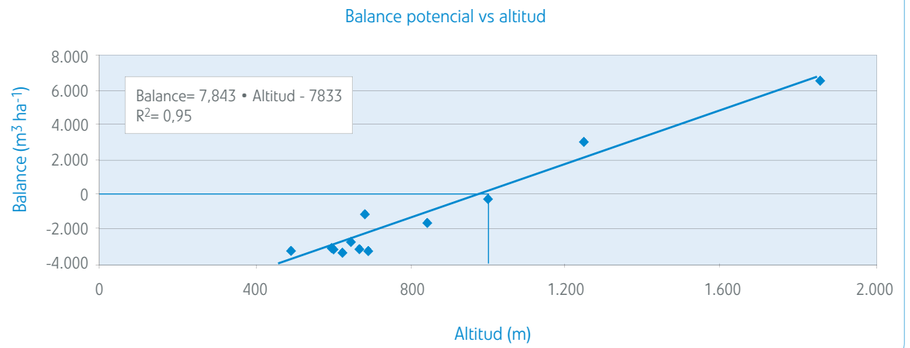
Observatorio	Altitud (m)	T (°C)	P (m^3 ha^{-1})	ETP (m^3 ha^{-1})	P-ETP (m^3 ha^{-1})
Navacerrada	1.860	6,4	11.700	5.200	6.500
Bustarviejo	1.248	10,4	9.290	6.310	2.980
Mangirón	1.000	11,3	6.500	6.810	-310
Torrelodones	843	13,4	5.800	7.490	-1.690
Cuatrovientos	690	14	4.500	7.800	-3.300
San Martín de la Vega	681	13,2	6.490	7.670	-1.180
Madrid	667	13,9	4.380	7.580	-3.200
Fuente el Saz	645	13,4	4.730	7.510	-2.780
Getafe	623	14,2	4.450	7.850	-3.400
Torrejón de Ardoz	600	14	4.460	7.670	-3.210
Barajas	595	14,4	4.690	7.830	-3.140
Aranjuez	490	13,7	4.250	7.540	-3.290

Fuente: Elaboración propia.

Tal y como denota la figura 6, existe una clara correlación positiva entre el balance potencial de agua del suelo y la altitud del terreno. En el caso de la Comunidad de Madrid se constata que el balance resulta positivo por encima de la altitud de 1.000 metros y negativo por debajo. Esto significa que un césped verde durante todo el año y sin estrés hídrico en ninguna época al nivel de una parcela con extensión de 1 hectárea solamente se puede conseguir con los recursos endógenos por encima de los 1.000 metros. El balance anual registra exceso de agua por encima de los 1.000 metros y déficit por debajo.

El balance anterior supone que en la parcela existe una capacidad de almacenamiento suficiente para atender la irregularidad estacional y las diferencias interanuales con respecto al promedio de precipitación (la media y la mediana apenas se diferencian significativamente en su valor anual, con la mediana ligeramente menor que la media por ser más numerosos los años secos por debajo de la media que los húmedos por encima). La capacidad de reserva del suelo no es suficiente en general para poder almacenar el exceso invernal o primaveral, por lo que el balance endógeno solamente se puede acercar al equilibrio haciendo uso de un aljibe capaz de almacenar el exceso de agua por encima de la capacidad de reserva del suelo.

Figura 6. Correlación entre el balance potencial y la altitud



Fuente: Elaboración propia

El análisis de la problemática del uso de los recursos endógenos de agua al nivel de parcela ha tenido un valor más teórico que práctico hasta el presente, cuando la intervención humana ha venido alterando estas funciones teóricas, sobre todo últimamente con el aumento de la urbanización dispersa con piscinas, jardines, campos de golf y lagunas artificiales, que aumentan el estrés hídrico y recortan la disponibilidad de agua en cantidad y calidad del territorio por encima de los límites aconsejables de los indicadores de sustentabilidad o sostenibilidad ecológica[46].

Una segunda conclusión del balance al nivel de parcela es la del sobredimensionamiento de las concesiones para el riego agrícola, con dotaciones comprendidas entre 8 y 10.000 m^3 ha^{-1}, cuando las necesidades no superan en ningún caso los 3.300 m^3 ha^{-1}. El requisito de retorno define el exceso de agua que hay que añadir para conseguir un balance de sales solubles que evite la progresiva salinización del suelo, que depende de la calidad del agua[47]. Teniendo en cuenta la salinidad del agua a usar en el regadío (tabla 9), el requisito de drenaje promedio supone aproximadamente un 20 por ciento adicional en forma de retorno, lo que incrementa las dosis de riego y eleva las necesidades hasta unos 4.000 m^3 ha^{-1}.

[46] El índice de explotación del agua (IEA) se usa en los países europeos como indicador de sostenibilidad. El IEA define el porcentaje de recursos extraídos por el sistema de utilización (SU) respecto a los recursos disponibles en el sistema de recurso (SR). Los países con IEA mayor del 20 por ciento se consideran afectados por estrés hídrico, es decir, con problemas de sostenibilidad.

[47] Como se ha indicado en la introducción metodológica, una síntesis de la calidad natural del agua viene dada por su potencia física -asociada a su posición gravitacional- y su potencia química- asociada a su capacidad de dilución, que está en relación inversa de su contenido en sales, medible a través de la conductividad eléctrica del agua. La consideración de este último aspecto es esencial para establecer los requisitos de drenaje exigidos para evitar el peligro de salinización de los suelos irrigados.

Tabla 9. Salinidad del agua en las estaciones de aforo seleccionadas por su repercusión en las áreas de regadío (Valores medios de todos los datos disponibles en el período 1980-2005)

Subcuenca hidrográfica	Estación de aforo	Código de la estación	Conductividad eléctrica dS m^{-1} a 25°C	Relación de adsorción de sodio ($mmol_c$ L^{-1})^{0,5}	Clase
Guadarrama	Navalcarnero	179	0,53	2,00	C2-S1
Henares	Espinillos	62	0,9	1,47	C3-S1
Jarama	Algete	51	0,49	0,58	C2-S1
Jarama	Mejorada	52	0,67	1,41	C2-S1
Jarama	Puente Largo	175	1,31	2,52	C3-S1
Manzanares	Vaciamadrid	177	0,86	1,79	C3-S1
Tajo	Aranjuez	11	1,36	1,89	C3-S1
Tajuña	Orusco	82	0,82	0,22	C3-S1

Fuente: Elaboración propia

El agua de retorno supone una concentración salina cinco veces mayor que la del agua extraída desde el sistema de recurso para el regadío. En otros usos la concentración es menor porque el retorno es mayor. Del uso urbano, por ejemplo, retorna un promedio del 80 por ciento, lo que supone un factor de concentración de 1,25 como mínimo, ya que su valor aumenta en función de las sales aportadas en el sistema de uso. A la vista de la calidad del agua utilizada en los regadíos, se debe considerar la posibilidad de utilizar para beber las de las clases C2-S1 con carácter prioritario del uso urbano sobre el agrícola. Esta sucesión de usos plantea la exigencia de descontaminar el agua de retorno urbano para evitar la paulatina contaminación de los suelos con substancias xenobióticas, principalmente los elementos orgánicos persistentes de carácter antibiótico y los elementos trazas. Conviene subrayar que los procesos en las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas (EDAR) no son por el momento satisfactorios, de manera que el agua depurada y los lodos de depuradora no se pueden considerar como productos aptos para todos los usos, sino como subproductos que solamente se pueden emplear bajo el rigor de planes ambientales bien definidos. Los procesos de depuración, cuyo final debe ser agua apta para cualquier uso y un residuo inmovilizado, tiene un gran margen de mejora dentro de planteamientos de I+D+I. Hay que tener en cuenta que la financiación prevista para los planes actuales de depuración terciaria de las aguas residuales se cifran en 19.000 millones de euros, pretendiendo obtener un agua exenta de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, aunque no se espera obtener un agua apta para todo uso. Con todo este esfuerzo se debería abrir el camino hacia la posible reutilización del agua con vistas al regadío, siempre que se mantengan controles y normativas estrictas que salvaguarden la calidad de suelos y cultivos.

4.2. Balance de humedad en función de la reserva de agua del suelo

Los observatorios usados en este estudio se incluyen en la tabla 10. Esta tabla precisa el código, la altitud y la latitud de los observatorios seleccionados para estudiar la influencia de la reserva de agua útil del suelo en el balance de humedad. En función de la profundidad y la naturaleza del suelo se han diferenciando cuatro niveles de reserva máxima de agua útil en condiciones de campo: 200 mm, 150 mm, 100 mm y 50 mm o litros por m^2 de agua (1mm = 1L/m^2), lo que permite extraer conclusiones acerca de la influencia de la degradación por erosión (truncamiento del perfil), las medidas de conservación del suelo y el agua (aterrazamiento), el laboreo (infiltración del agua y controles de cultivo en secano que inciden en la reserva y la evapotranspiración), el regadío (variación artificial de la reserva con aumento de la evapotranspiración real), el desagüe superficial y el drenaje que habilitan el suelo productivo aumentando su aireación. El sellado del suelo mediante la impermeabilización superficial por la urbanización y las infraestructuras supone la reducción a cero de la reserva de agua útil.

En el Anexo 3 se recoge y comenta la información detallada de la reserva de agua del suelo, atendiendo a las cuatro hipótesis indicadas, para todos los observatorios considerados en el estudio.

Tabla 10. Observatorios meteorológicos considerados

Código	Observatorio metereológico	Altitud (m)	Latitud
3342	Villa del Prado/Picadas	523	40,781
3169	Alcalá de Henares/La Canaleja	600	40,516
3117	Talamanca del Jarama	654	40,746
3196	Madrid/Aeródromo de Cuatro Vientos	687	40,378
3191	Colmenar Viejo	879	40,657
3191E	Colmenar Viejo/Famet	1.004	40,699
3185	Emblase de Navacerrada	1.140	40,715
3261I	Embalse de Navalmedio	1.280	40,747
2462	Navacerrada/Puerto	1.890	40,781

Previo a la selección de los observatorios de estudio del balance de humedad, se ha realizado el estudio de correlación de la temperatura y la precipitación con la altitud. La temperatura presenta un gradiente de -0,61 grados centígrados por cada 100 metros de aumento de la altitud. El aumento de la precipitación con la altitud también presenta correlación significativa porque la sinopsis es repetitiva a lo largo del tiempo, lo cual, a diferencia de la variación de la temperatura, no es generalizable a otras regiones de mayor variabilidad en sus situaciones meteorológicas típicas (véase Anexo 3 para una mayor información).

A efectos prácticos se puede asegurar que el clima es más frío y húmedo a medida que aumenta la altitud dentro de la Comunidad de Madrid, lo cual supone el aumento de la relación de agua azul/verde, con mayor disponibilidad tanto en cantidad como en calidad a medida que aumenta la altitud, siendo el balance potencial positivo por encima de los 1.000 metros, como ya se ha indicado en el apartado anterior.

Figura 7. Temperatura según la altitud del terreno

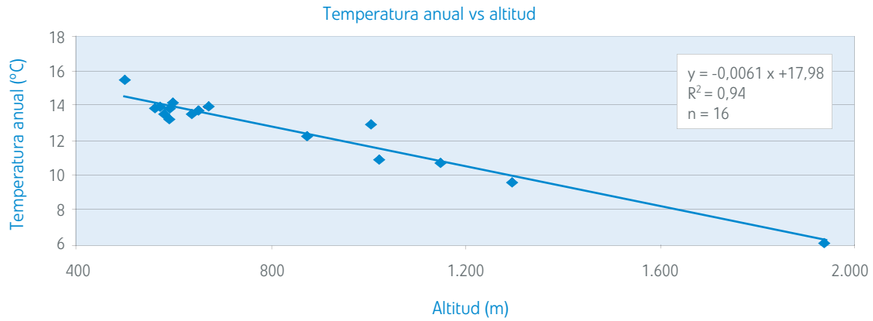
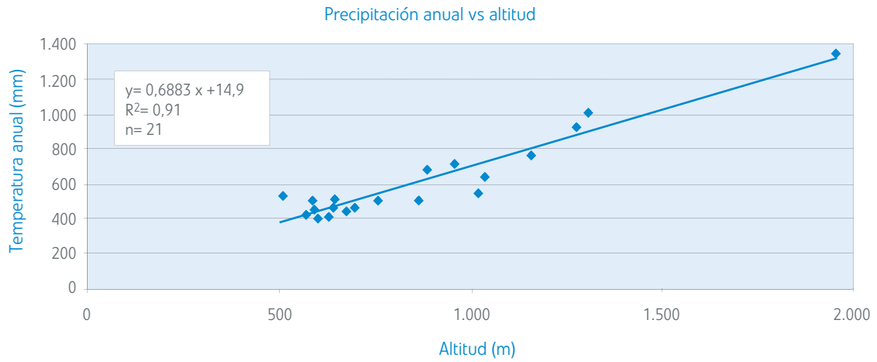


Figura 8. Precipitación media anual según la altitud del terreno



4.3. El agua ligada al suelo (o agua verde) en la Comunidad de Madrid

El suelo de la Comunidad de Madrid no está en sus condiciones ambientales naturales, sino que presenta cierta degradación por erosión a causa de su vulnerabilidad (función de la baja resiliencia y la inestabilidad) relacionada con la pendiente del terreno, la desprotección vegetal estacional y la intervención antrópica. El perfil del suelo real tiene, en general, menos capacidad de reserva de agua útil para las plantas que la potencial y en consecuencia aparecen fases erosivas que aumentan la relación agua azul / agua verde y contribuyen a aumentar la biodiversidad manifestada por los ecosistemas, ya que las fases zonales dependientes del clima y la vegetación se ven incrementadas con fases intrazonales dependientes de la litología y la geomorfología e, incluso, fases azonales que acusan la falta de tiempo de desarrollo del suelo y su vegetación asociada. Los Regosoles sobre roca blanda, Leptosoles sobre roca dura, Fluvisoles en vegas e, incluso Gleysoles en terrenos encharcados se suman a los Luvisoles característicos del clima mediterráneo y a los Alisoles muy lixiviados y ácidos que se encuentran en antiguos depósitos detríticos continentales tipo raña.

La reserva de agua útil en el suelo depende del *continuum* de roca-suelo-planta-atmósfera. En una muestra de suelo, la curva característica de humedad que asocia el agua con la energía específica de retención depende de los parámetros asociados a la naturaleza y disposición espacial de las partículas sólidas y los huecos; en concreto depende de la distribución de los poros, la superficie específica de las partículas sólidas y la carga eléctrica superficial que determina, además de la retentividad de agua, la distribución de cationes y aniones en el complejo de intercambio iónico y en la solución libre del suelo. En el conjunto del suelo, la reserva de agua depende además de la profundidad del propio suelo. Una estimación de la profundidad efectiva media de los suelos de la Comunidad de Madrid según su clase agrológica se expone en la tabla 11.

Para que la reserva de agua en el suelo no suponga una restricción para la vegetación se necesita una capacidad de reserva de agua útil (AU) mayor de 2.000 m^3 ha^{-1}, lo que supone un perfil de suelo con profundidad mayor de 80 centímetros en caso de suelo arcilloso, mayor de 160 centímetros en caso de suelo franco y mayor de 240 centímetros en caso de suelo arenoso. La erosión del suelo asociada a la pendiente del terreno es la causa de una restricción en el promedio de los suelos de la Comunidad de Madrid, cuya profundidad efectiva influye de manera significativa en su clase agrológica (ver tabla 12) y limita en promedio su capacidad excepto en los suelos arcillosos capaces de retener 2.275 m^3 ha^{-1} (1.138 en los suelos francos y 758 en los arenosos).

A la vista de los datos que se exponen en la tabla 12, los regímenes de humedad de los suelos intermedios se corresponden aproximadamente con los que tienen una capacidad de reserva de 1.138 m^3 ha^{-1}, algo mayor de 1.000 m^3 ha^{-1}, lo que supone merma del agua verde en perjuicio de la vegetación y en beneficio del agua azul superficial y subterránea.

Tabla 11. Profundidad efectiva del suelo, en promedio, según su clase agrológica en la Comunidad de Madrid

Clase agrológica	Limitaciones	Extensión superficial (ha)	Porcentaje del total (%)	Profundidad efectiva (cm)
II	Limitación moderada que reduce la gama de cultivos o exige cierta técnica de manejo	24.434	3	125
III	Limitación severa que reduce la gama de cultivos o exige cierta técnica de manejo	315.683	39	113
IV	Limitación muy severa que reduce la gama de cultivos y exige una técnica de manejo compleja	111.844	14	91
V	Sin riesgo de erosión pero con otras limitaciones como encharcamiento que restringe su uso a prados y espacios naturales	7.559	1	96
VI	Limitación severa que las hace inadecuadas para el cultivo y restringe su uso a prado, pastizal, bosque y espacios naturales	229.847	29	77
VII	Limitación muy severa que las hace inadecuadas para el cultivo y restringe su uso a pastizal, bosque y espacios naturales	107.972	13	54
VIII	Limitación que impide su uso agrario comercial y restringe su uso a pastizal, bosque y espacios naturales	5.453	1	28
Total y promedio		**802.792**	**100**	**91**

Fuente: Adaptado de Gallardo, J., A. Saa, Ch. Hontoria y J. Almorox, 2005. Mapa agrológico. Capacidad agrológica de las tierras de la Comunidad de Madrid. Escala 1:50.000. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid.

La reserva de agua útil de los suelos en función del espesor de sus horizontes es:

$$AU(mm) = \Sigma_i\, z_i \bullet p_i \bullet (Cc_i - Pm_i) \bullet 10^{-4}$$

z_i = Espesor de cada horizonte (cm)
ρ_i = Densidad del suelo ($kg.m^{-3}$)
Cc_i = Capacidad de campo (%)
Pm_i = Punto de marchitamiento (%)
AU = Agua útil

Tabla 12. Capacidad de reserva máxima de agua en los suelos de la Comunidad de Madrid según textura y clase agrícola

Clase agrológica	Extensión superficial (ha)	Reserva máxima de agua en suelos francos (m^3 ha^{-1})	Reserva máxima de agua en suelos arcillosos (m^3 ha^{-1})	Reserva máxima de agua en suelos arenosos (m^3 ha^{-1})
II	24.434	1.563	3.125	1.042
III	315.683	1.413	2.825	942
IV	111.844	1.138	2.275	758
V	7.559	1.200	2.400	800
VI	229.847	963	1.925	642
VII	107.972	675	1.350	450
VIII	5.453	350	700	233
Total y promedio	**802.792**	**1.138**	**2.275**	**758**

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los valores del régimen de humedad, el agua verde del suelo disminuye a costa del agua azul, cuyo volumen aumenta a medida que el suelo es erosionado y disminuye su capacidad de reserva respecto a la de un suelo hipotético con capacidad de 2.000 m^3 ha^{-1} (tabla 13). Claro que estos valores son muy inferiores a los que se pueden obtener en caso de impermeabilizar el suelo para captar el agua de lluvia. En este caso, toda el agua sería azul y el deterioro ambiental se correspondería con la pérdida de suelo y vegetación. A la vista de los resultados anteriores, se puede afirmar que los suelos de la Sierra de Madrid por encima de la altitud de 1.000 metros son los más adecuados para captar agua azul. Sin embargo, su erosión no contribuye demasiado al aumento del agua azul respecto a los valores actuales. La pérdida de suelo y vegetación suponen un gran deterioro ambiental e incluso pueden aumentar el riesgo de incendio en los montes e inundación en las depresiones.

Tabla 13. Aumento del agua azul a costa del agua verde en suelos erosionados y valor máximo del agua azul en suelos impermeabilizados (m^3 ha^{-1} $año^{-1}$)

Observatorio		Altitud	Agua azul actual	Agua azul originada por la erosión de los suelos	Agua azul máxima (suelo impermeable)
2462	Navacerrada/Puerto	1890	8.857	340	13.299
3264I	Emb.Navalmedio	1280	5.153	540	10.136
3185	Emb. Navacerrada	1140	2.919	650	7.821
3191	E Col. Viejo/Famet	1004	391	740	5.441
3191	Colmenar Viejo	879	1.737	720	6.732
3196	Madrid/Cuatro Vientos	687	0	451	4.605
3117	Talamanca del Jarama	654	0	661	4.843
3169	Alcalá de Henares/La Canaleja	600	0	209	4.416
3342	Villa del Prado/Picadas	523	169	860	5.211

Fuente: Elaboración propia.

El agua ligada al suelo (tabla 14) de la Comunidad de Madrid supone en primavera (917 hectómetros cúbicos) casi diez veces (9,2 veces) el agua ligada a la vegetación (unos 100 hectómetros cúbicos, tal y como se recoge más adelante en la tabla 20).

Tabla 14. Agua ligada al suelo en primavera en la Comunidad de Madrid
(Reserva máxima de agua útil en suelos de textura franca considerados en promedio)

Clase agrológica	Extensión superficial (ha)	Reserva máxima de agua útil (m^3 ha^{-1})	Reserva máxima de agua útil (m^3)
II	24.434	1.563	38.190.342
III	315.683	1.413	446.060.079
IV	111.844	1.138	127.278.472
V	7.559	1.200	90.70.800
VI	229.847	963	221.342.661
VII	107.972	675	72.881.100
VIII	5.453	350	1.908.550
Total y promedio	**802.792**	**1.142**	**916.732.004**

Fuente: Elaboración propia.

4.4. El agua ligada a la vegetación total (agua virtual) en la Comunidad de Madrid

La humedad de la vegetación varía a lo largo del año en conexión con la humedad del suelo. El máximo contenido se da en primavera y el mínimo en verano según se expone en la tabla 15. La disminución de la humedad de la vegetación aumenta el riesgo de incendio, por lo que es imprescindible tener en cuenta su valor en relación con la disponibilidad de agua para evitar accidentes catastróficos. De manera similar, hay que tener en cuenta que la precipitación máxima puede ocasionar inundaciones, aumentando el riesgo de accidente catastrófico cuando el suelo está desprotegido, se interfiere la red natural de drenaje y se carece de la necesaria infraestructura de regulación de los caudales.

Tabla 15. Valores orientativos de la humedad de la vegetación (masa en gramos de agua referida a 100 gramos de materia vegetal desecada en estufa a 105°C) a mediados de primavera y verano en la Comunidad de Madrid

Vegetación	Humedad en primavera (%)	Humedad en verano (%)
Matorral de montaña	250	70
Bosque de pinos	220	150
Matorral xerofítico	190	60
Herbácea xerofítica	170	10

Fuente: Elaboración propia.

El estado de humedad del suelo influye en el consumo de agua por evapotranspiración y en el contenido en agua de la vegetación natural y la instalada artificialmente, por ejemplo los grandes cultivos herbáceos. Como ejemplo (tabla 16) se incluye una determinación del contenido medio en agua del pino albar (221 por ciento

referido a materia desecada a 60 grados centígrados). Entre la primavera y el verano, a finales de junio, las formaciones vegetales de la Comunidad de Madrid tienen una humedad del orden de la expuesta en la tabla 17, donde se refleja la influencia del edafoclima (tabla 18) en la humedad de las formaciones vegetales. Aunque la Comunidad de Madrid tiene 803.010 hectáreas, la cifra considerada en este trabajo es de 802.792 (tabla 18), por no incluir un predio disjunto que se encuentra rodeado por terrenos de la Comunidad de Castilla-León.

Tabla 16. Humedad de la vegetación de Pinus Sylvestris

Parte del árbol	Proporción de agua en 100g de materia vegetal húmeda (%)	Porcentaje de materia seca respecto a la biomasa seca total (%)	Porcentaje de humedad referida a biomasa seca (%)
Tronco	46	65	85
Ramas	56	15	127
Hojas	91	4	1011
Total y promedio	**69**	**100**	**221**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Humedad de la vegetación al final de la primavera en la Comunidad de Madrid

Vegetación	Humedad [1] %	Error estándar	Factor de conversión[2]
Matorral de montaña	250	14	0,29
Bosque de pinos	220	11	0,31
Matorral xerofítico	190	17	0,35
Herbácea xerofítica	170	15	0,37

Fuente: Elaboración propia.
(1) La humedad puede ser >100% porque la referencia es la materia desecada en estufa a 105°C hasta peso constante (Humedad = agua/materia desecada en estufa a 105°C).
(2) El factor de conversión es el cociente entre materia seca y materia húmeda.

Tabla 18. Edafoclima y vegetación en la Comunidad de Madrid

Edafoclima	Puntos	Superficie (ha)	Porcentaje (%)	Vegetación adaptada
Ustic-Cryic	8	3.200	0,40	Matorral de montaña
Udic-Mesic	12	4.801	0,60	Forestal arbolado
Ustic-Mesic	266	106.347	13,30	Forestal arbolado
Xeric-Mesic	645	257.864	32,10	Matorral xerofítico
Ustic-Thermic	4	1.600	0,20	Forestal arbolado
Xeric-Thermic	1.056	422.180	52,60	Herbácea xerofítica
Total	**2.008**	**802.792**	**100,00**	**(1)**

Fuente: Elaboración propia.
(1) Estas formaciones vegetales, adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de la Comunidad de Madrid, se corresponden con biosecuencias mundiales denominadas bosque de páramo húmedo, estepa o maleza, chaparral, y bosque xérico según Holdridge, L. R. 1947 *Determination of world plant formation from simple climatic data*. Sci. nº 105:367-368.

Tabla 19. Biomasa en la Comunidad de Madrid

Vegetación adaptada al edafoclima	Superficie en la Comunidad de Madrid (ha)	Biomasa potencial		Productividad anual	
		(Mg ha^{-1})	Total Comunidad de Madrid (Mg)	(Mg ha^{-1} $año^{-1}$)	Total Comunidad de Madrid (Mg $año^{-1}$)
Matorral de montaña	10.000	46	460.000	16	160.000
Bosque de pinos	112.748	294	33.147.912	14	1.578.472
Matorral xerofítico	257.864	32	8.251.648	12	3.094.368
Herbácea xerofítica	422.180	14	5.910.520	7	2.955.260
Total y promedios	**802.792**	**60**	**47.770.080**	**10**	**7.788.100**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Agua ligada a la vegetación al final de la primavera en la Comunidad de Madrid

Vegetación adaptada al edafoclima	Humedad (%)	Humedad		Humedad anual [1]	
		(m^3 ha^{-1})	Total Comunidad de Madrid (m^3)	(m^3 ha^{-1} $año^{-1}$)	Total Comunidad de Madrid (m^3 $año^{-1}$)
Matorral de montaña	250	115	1.150.000	40	400.000
Bosque de pinos	220	647	72.925.406	31	3.472.638
Matorral xerofítico	190	61	15.678.131	23	5.879.299
Herbácea xerofítica	170	24	10.047.884	12	5.023.942
Total y promedio	**210**	**124**	**99.801.422**	**18**	**14.775.880**

Fuente: Elaboración propia.
[1] La humedad anual se refiere al contenido de agua en la biomasa vegetal producida al año

El consumo de agua por evapotranspiración real (ETR) define el agua virtual requerida para producir la materia orgánica seca, la cual está integrada por productos que pueden llegar al mercado y subproductos que entran en el ciclo la materia orgánica del suelo. Los productos comprenden los alimentos y otros de uso industrial, incluyendo madera, fibras, biocombustibles, etc. Cabe destacar que la eficiencia del agua depende del ciclo de crecimiento vegetativo, por lo que la vegetación herbácea xerofítica resulta menos eficiente por ser de ciclo más corto que el matorral xerofítico y éste menos eficiente que el bosque o el matorral de montaña que permanecen verdes y productivos durante todo el verano. Si el rastrojo permanece en el terreno y se quema, el agua virtual necesaria para producir, por ejemplo el grano de trigo, se obtiene dividiendo la ETR por el rendimiento en toneladas de grano por hectárea. Por ejemplo, una producción de 2.000 km ha^{-1} supone un consumo de 720*7/2 = 2650 m^3 Mg^{-1}.

4.5 Conclusiones sobre el agua verde y el agua azul en la Comunidad de Madrid

El agua libre máxima, que es la que se precipita sobre el suelo, se estima en unos 4.195 m^3 ha^{-1} $año^{-1}$ (promedio de 5.226 m^3 ha^{-1} $año^{-1}$ en 802.792 hectáreas) y el agua evapotranspirada realmente en condiciones naturales en suelos carentes de limitaciones en unos 3.991 hm^3 $año^{-1}$ (promedio de 4.972 m^3 ha^{-1} $año^{-1}$ en 802.792 hectáreas, tabla 21). El exceso o diferencia entre la precipitación y esta evapotranspiración real máxima, en suelos sin limitación de la capacidad de reserva de agua, definiría el agua azul en condiciones naturales clímax, que supone unos 204 hm^3 $año^{-1}$ cantidad insuficiente para abastecer los cerca de 6 millones de habitantes de la Comunidad de Madrid, que a razón de 250 L hab^{-1} $día^{-1}$, requieren unos 548 hm^3 $año^{-1}$, a la que se añaden las exigencias de agua de para riego. El equilibrio entre agua azul y consumo por la población y sus actividades se alcanza tanto al considerar la menor capacidad de retención de los suelos reales afectados por la erosión y los usos del territorio, como porque se reciben aportaciones externas de agua.

Tabla 21. Consumo de agua por vegetación de secano (evapotranspiración real ETR) en suelos sin limitación de capacidad de reserva de agua útil (2.000 m^3 ha^{-1})

Vegetación adaptada al edafoclima	ETR (m^3 ha^{-1} $año^{-1}$)	Materia seca Mg ha^{-1} $año^{-1}$	Agua consumida m^3 Mg^{-1}	Agua total consumida hm^3 $año^{-1}$
Matorral de montaña	4.442	16	278	44,4
Bosque de pinos	5.050	14	361	569,4
Matorral xerofítico	4.843	12	404	1.248,80
Herbácea xerofítica	5.042	7	720	2.128,60
Total y promedio	**4.972**	**10**	**497**	**3.991,20**

Fuente: Elaboración propia.

Escapa a las posibilidades de este trabajo estudiar a fondo las alteraciones ocasionadas por el proceso urbanizador sobre el régimen de humedad de los suelos y la hidrología de la región. Cabe apuntar, no obstante, que se operan procesos contrapuestos derivados de los distintos usos y finalidades de la ocupación del suelo. Por una parte el verde urbano (parques y jardines públicos y privados, así como de zonas deportivas y campos de golf) fuerza la evapotranspiración más allá de la observada en régimen natural, en detrimento del agua azul[48]. Por otra, las infraestructuras de captación y extracción de agua aumentan el agua azul, al igual que ocurre con el proceso de sellado del suelo que se deriva de la edificación y pavimentación masiva del territorio.

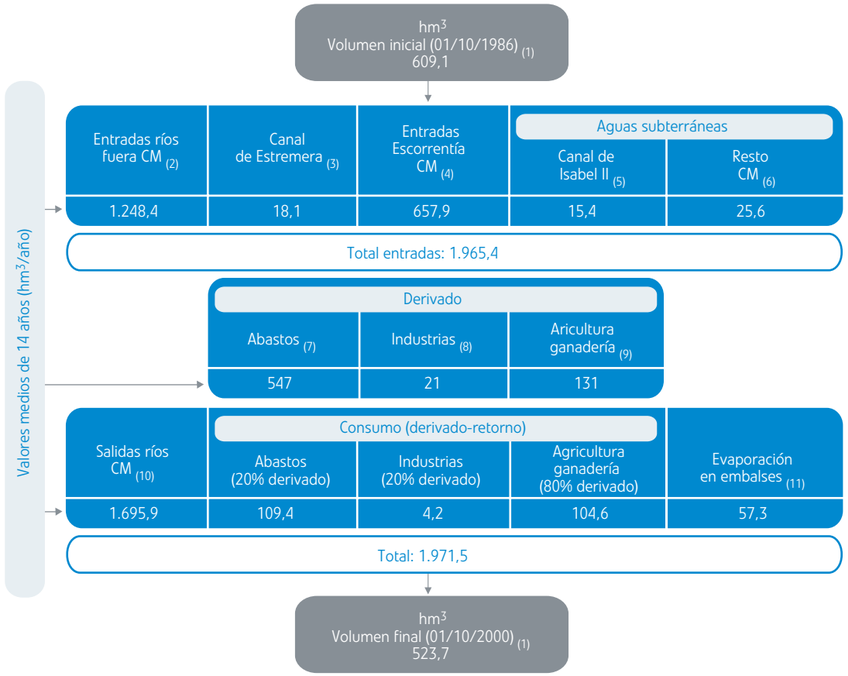
A la vista de la profundidad de los suelos realmente existentes en el territorio y del progresivo sellado de los mismos con usos no agrarios, que ya afectan a cerca del 20 por ciento de la superficie geográfica de la Comunidad de Madrid (Naredo, 2003)[49], se ha estimado que estos procesos contribuyeron a aumentar el agua azul en 495 hectómetros cúbicos adicionales. Lo que elevaría a 699 hectómetros cúbicos el agua azul efectivamente generada en el territorio de la Comunidad, a la que se añaden aportaciones externas medias por un importe de 1.267 hectómetros cúbicos anuales (dato referido a la media de los últimos 14 años, obtenido de la información de los aforos disponibles). Si consideramos también para este período una evaporación anual media desde embalses de 57 hectómetros cúbicos, se estima el agua azul efectivamente disponible en la Comunidad en 1.909 hectómetros cúbicos anuales (ver tabla 22). De la cual se deriva cerca de la mitad hacia los usos agrarios y urbano-industriales, como más adelante se analiza, ocasionando una evapotranspiración adicional, inducida por los usos de 302 hectómetros cúbicos anuales. Por diferencia, se estima una salida media anual del territorio, en forma de escorrentía e infiltración final, de 1.607 hectómetros cúbicos anuales, cifra que resulta coherente con las mediciones medias anuales que vienen ofreciendo los aforos de salida del territorio. La figura 9 refleja estos datos de aforos y balances hídricos de los embalses gestionados por el Canal de Isabel II y el embalse de San Juan.

El hecho de que los vertidos agrarios y urbano-industriales aporten cerca del 40 por ciento del agua que sale del territorio, evidencia que el principal problema ambiental relacionado con el agua, que plantea la conurbación madrileña, es el exceso de vertidos con relación a la capacidad de dilución de los cauces. A la vez que apunta hacia las mejoras en la depuración y la reutilización del agua como aspectos esenciales, unidos a la mejora de la eficiencia en el sistema de usos, para avanzar hacia una gestión más razonable y respetuosa del entorno.

[48] Es más, el mantenimiento de estas zonas "verdes" exige inyectar en ellas agua azul en forma de riego. Según estimación mínima del Canal de Isabel II, el agua azul destinada al riego de estos espacios no agrarios reclamaría en 2005 al menos 44 hectómetros cúbicos, como se indicará más adelante.

[49] En el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos Agrarios, actualizado anualmente en los Anuarios, se estima que, en 2005, el 18,5 por ciento de la superficie geográfica de la Comunidad de Madrid se destinaba a usos no agrarios (137.000) o estaba ocupada por embalses, lagos y cursos de agua (11.000). Esta estimación debe de ser corregida al alza al considerar el suelo ocupado por el viario y por usos no detectados por la escala y la finalidad del trabajo (Naredo, 2003) (con todo, esta estimación resulta más ajustada a la realidad que la del CORINE Land Cover, que estima para la Comunidad la superficie de "suelo artificial y embalses" en solo 97.000 para 2001).

Figura 9. Aforos y balances hídricos. Embalses controlados por el Canal de Isabel II y San Juan



(1) Embalses controlados por Canal de Isabel II y San Juan.

(2) Aforos realizados por la CHT entre los años hidrológicos 1986/87 y 1999/00.

Estaciones:
- Estación de aforos nº 3: río Tajuña en Loranca de Tajuña
- Estación de aforos nº 62: río Henares en Espinillos
- Estación de aforos nº 259: río Tajo en Villarrubia de Santiago
- Embalse nº 112: río Alberche en San Juan

(3) Tabla 5.10 Estimación del volumen de agua derivada para riego en la CM.

(4) Aportaciones en régimen natural generadas con el modelo Sacramento por la CHT entre los años hidrológicos 1986/87 y 1999/00.

Estaciones
- **02-08a**
- 03-23a
- 04-15a
- **04-15b**
- 05-20a
- 06-33d
- **07-42a**
- 07-44a
- 08-34b

(5) Pozos Canal de Isabel II.

(6) Indicadores sobre el agua. INE.

(7) Canal de Isabel II.

(8) Encuesta sobre el uso del agua en el sector industrial. INE.

(9) Tablas 5.11 y 6.2.

(10) Aforos realizados por la CHT entre los años hidrológicos 1986/87 y 1999/00.

Estaciones:
- Estación de aforos nº 175: río Jarama en Aranjuez (P. Largo)
- Estación de aforos nº 258: río Tajo en Embocador
- Estación de aforos nº 183: río Alberche en Escalona
- Embalse nº 181: río Aulencia en Valmayor

(11) Canal de Isabel II.

Se señala en la tabla 22 el orden de magnitud de las principales rúbricas que componen el agua azul y verde en el territorio de la Comunidad; conviene recordar que el flujo de agua azul está sometido a la estacionalidad anual y a las variaciones climáticas interanuales, por lo que el mantenimiento del promedio exige complementar la regulación natural con infraestructuras artificiales más o menos naturalizadas. La regulación temporal (lagos, embalses y acuíferos) y espacial (ríos y canales) son los elementos claves del sistema de recurso, desde el que el agua es extraída por el sistema de utilización para atender a los usos urbanos, ambientales, agrarios e industriales. El stock de agua verde ligada al suelo de la Comunidad de Madrid en primavera (917 hectómetros cúbicos) supone casi diez veces (9,2 veces) el stock de agua verde ligada a la vegetación (unos 100 hectómetros cúbicos). El agua verde en las cosechas apenas alcanza los 15 hm^3 $año^{-1}$ (ver tabla 20). El stock de agua retenida artificialmente en los embalses ocupa un lugar importante (tabla 22) en el sistema.

Tabla 22. Síntesis actual de los "colores del agua" de la Comunidad de Madrid, año medio

Componente	hm^3
(1) Precipitación	4.195
(2) Aportaciones externas	1.267
(3) Evapotranspiración real que se generaría en la CM con suelos y vegetación en estado natural climax	3.991
(4) Agua azul que se generaría en estado natural = (1) – (3)	204
(5) Aumento del agua azul por pérdida de capacidad de absorción y "sellado" de los suelos	495
(6) Estimación del agua azul efectivamente generada en la CM = (4) + (5)	699
(7) Evaporación en embalses	57
(8) Total de agua azul disponible en la CM = (2) + (6) – (7)	1.909
(9) Evapotranspiración inducida por el manejo y los usos medios del agua en los últimos cinco años	302
(9) Estimación del agua que sale del territorio de la CM	1.607
Pro memoria:	
- Stock agua verde (media anual aproximada)	700
- Stock embalses (media anual neta aproximada)	500

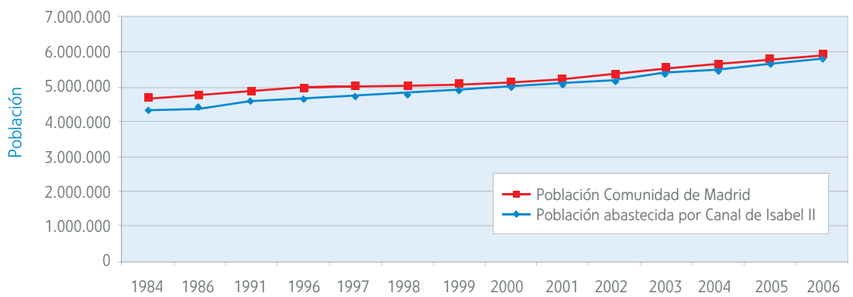
5

El agua libre o agua azul en la Comunidad de Madrid

5.1. Retenciones, captaciones, abastecimientos y usos urbano-industriales

Como se ha explicado, la Comunidad de Madrid alberga una importante población urbana en un territorio predominantemente árido. Como consecuencia de ello el abastecimiento de esta aglomeración de población, con sus actividades industriales y de servicios, exige grandes infraestructuras de captación, tratamiento y distribución de agua. Afortunadamente para nuestro trabajo, el Canal de Isabel II gestiona los abastecimientos y vertidos urbanos de la mayoría de la población y, por ende, dispone de datos unificados de sus cometidos relacionados con el agua. Como se observa en la figura 10, el porcentaje de población de Madrid abastecida por el Canal es muy elevado y creciente. A partir de 1997 se sitúa por encima del 96 por ciento, por lo que los datos del Canal de agua derivada, consumida o vertida per cápita en el último decenio se pueden extrapolar con escasos márgenes de error al conjunto de la Comunidad de Madrid[50]. Y ello, sobre todo en el caso que nos ocupa, en el que el cálculo del agua virtual y el agua verde plantea márgenes de incertidumbre muy superiores, derivados de la limitación de las fuentes de datos disponibles.

Figura 10. Población abastecida por el Canal de Isabel II y población total de la Comunidad de Madrid



Fuente: INE y Canal de Isabel II

En lo que concierne a la captación de agua, ya se ha indicado en los capítulos anteriores, que la Comunidad cuenta con una notable capacidad de embalse gestionada por el Canal de Isabel II que se extiende incluso más allá de su territorio. "El Canal de Isabel II gestiona 14 embalses con una capacidad máxima de almacenamiento de 946 millones de metros cúbicos… Además, se utilizan [fuera de la Comunidad de Madrid] captaciones en el río Sorbe (presa de Pozo de los Ramos) y [en los confines de la misma] en el río Alberche"[51]. Los embalses enclavados en el propio territorio de la Comunidad de Madrid ocupaban cerca de cinco mil hectáreas, en el año 2000[52].

Aparte del aprovechamiento de las aguas superficiales se acude también a las aguas subterráneas: "El principal acuífero que se aprovecha para el abastecimiento de la Comunidad en períodos de escasez o sequía es el detrítico terciario, con aguas de buena calidad. El Canal dispone de 61 pozos operativos de profundidades comprendidas entre 250 y 700 metros. Su capacidad de aportación es de 62 a 65 millones de metros cúbicos en un año de sequía, teniendo que dejar al acuífero recuperarse durante 2-4 años por cada año de bombeo…"[53].

"El agua captada en los embalses y en los acuíferos es transportada por medio de un conjunto de grandes canales y conducciones de 530 kilómetros de longitud hasta las estaciones de tratamiento para su potabilización. El Canal de Isabel II gestiona 12 estaciones de tratamiento (ETAP). Desde estas plantas hasta el grifo del usuario se dispone de una serie de instalaciones que aseguran el abastecimiento continuado… Básicamente estas instalaciones son 12 grandes depósitos de regulación local, con 2,6 millones de metros cúbicos de capacidad, 18 grandes elevadoras con una potencia instalada de 78 megavatios y 211 depósitos de menor capacidad… Finalmente, la red de distribución gestionada por la Empresa abarca un total de unos 10.000 kilómetros de conducciones… Completan las instalaciones gestionadas 143 plantas depuradoras y más de 600 kilómetros de colectores, a los que hoy se añaden los correspondientes al Ayuntamiento de Madrid, transferidos al Canal de Isabel II"[54].

Utilizando las infraestructuras indicadas, el Canal de Isabel II ha venido derivando hacia los usos urbano-industriales que abastece las cantidades que figuran en la tabla 23. El amplio período abarcado impide asegurar la homogeneidad de las cantidades de agua correspondientes a todas las rúbricas indicadas en el cuadro, como consecuencia de los avances logrados en la gestión del agua por parte del Canal. En efecto, a los largo de los últimos veinte años se ha mejorado el control del agua de todo el proceso, midiendo y estimando mejor el origen de las pérdidas, los errores de medición y, por último, los fraudes de agua. Las cifras se han ido añadiendo en el cuadro en la medida en las que se ha ido disponiendo de información sobre estos extremos. Sin embargo, hay dos rúbricas que cuentan con cifras homogéneas: son las series de agua derivada hacia el sistema de usos gestionado por el Canal y de agua controlada a los usuarios. El aumento del porcentaje entre el agua controlada y el agua derivada, recogido en el cuadro, parece indicar mejoras de eficiencia en el manejo del agua en el sistema gestionado por el Canal, cuyo análisis escapa al objeto de este trabajo. Como consecuencia de estas mejoras se observa una disminución del agua derivada per cápita. Sin embargo esta mejora no es tan evidente en el consumo per cápita de agua efectivamente suministrada a los usuarios, recogida en la tabla 24.

[50] El municipio de Alcalá de Henares es el único de cierta entidad de la Comunidad de Madrid no abastecido por el Canal. Este municipio explica ya casi los cerca de doscientos mil habitantes de la Comunidad no abastecidos por el Canal. El consumo doméstico y total alcanzaban en este municipio los 82,9 y 58,6 metros cúbicos por habitante y año en 2004, respectivamente, aproximándose a los 83,7 y 57,9 metros cúbicos por habitante y año de los municipios abastecidos por el Canal. Por lo que la extrapolación de los datos per cápita del Canal al conjunto de la Comunidad apenas supondrá alguna centésima de diferencia, respecto a los datos efectivamente calculados.

[51] Canal de Isabel II, Manual de abastecimiento del Canal de Isabel II, Principales infraestructuras, 2003, pág. 68.

[52] Corine-Land Cover, 2000.

[53] Ibidem.

[54] Ibidem.

Tabla 23. Agua derivada y suministrada por el Canal de Isabel II (hm³)

Conceptos	1983	1984	1985	1993	1994	1995	2003	2004	2005
Agua derivada	501	443	486	489	493	494	607	603	610
Controlada en usuarios	--	--	--	--	--	--	470	463	458
Suministrada facturada	334	314	328	364	379	373	465	459	453
No medida y no facturada (municipal)	--	--	--	29	29	29	42	42	44
No controlada en usuarios	--	--	--	117	108	114	132	133	146
Agua facturada / agua derivada (%)	66,65	70,95	60,83	74,57	76,73	75,53	76,51	76,08	74,33

Fuente: Canal de Isabel II

Tabla 24. Agua derivada per cápita

Años	Población abastecida corregida por el número de habitantes	Agua derivada	
		hm³/año	m³/hab/año
1984	4.449.418	442,7	99,5
1985	4.608.245	486,2	105,5
1986	4.482.484	497,9	111,1
1987	4.582.453	505,5	110,3
1988	4.644.224	522,2	112,4
1989	4.697.099	548,0	116,7
1990	4.783.643	560,8	117,2
1991	4.701.202	589,7	125,4
1992	4.707.417	522,0	110,9
1993	4.720.543	489,0	103,2
1994	4.736.732	493,6	104,2
1995	4.754.766	494,6	104,0
1996	4.777.167	488,1	102,2
1997	4.859.700	491,9	101,2
1998	4.940.157	509,1	103,1
1999	5.021.008	536,6	106,9
2000	5.095.333	542,2	106,4
2001	5.109.611	561,7	109,9
2002	5.190.912	575,9	110,9
2003	5.358.338	607,3	113,3
2004	5.486.401	602,8	109,9
2005	5.602.360	610,1	108,9
2006	5.815.230	553,2	95,14

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INE y Canal de Isabel II

La tabla 25 recoge la evolución del consumo final de agua por parte de los grandes grupos de usuarios. En el caso de los riegos urbanos se ha corregido al alza la serie para acomodarla al nivel más alto que alcanzó a partir de 1997, al aplicarse una normativa que estableció la instalación de contadores en zonas verdes. Aun así, el agua utilizada para riegos de zonas verdes y limpieza de calles recogida en esa rúbrica sigue estando muy infravalorada. En los últimos tiempos el Canal de Isabel II estimó el gasto de agua para riego (superficiando las zonas verdes urbanas e imputándoles un consumo) y para baldeo de calles: el gasto por ambos conceptos estaría englobado en la rúbrica "agua no medida y no facturada (municipal)", que supera los cuarenta hectómetros cúbicos anuales. De los 42 hectómetros cúbicos utilizados por este concepto en 2004, se estima que unos 15 fueron destinados a la limpieza de las calles. En los últimos años el Ayuntamiento de Madrid y el Canal de Isabel II han reutilizado para estos fines un volumen de agua significativo (5,4 hectómetros cúbicos) que debe de ser tenido en cuenta en este trabajo[55] y que se está viendo incrementado de forma significativa por los planes de reutilización en la Comunidad de Madrid.

Se acusa que la intensa coyuntura de obras que se observa en la Comunidad tiene en los últimos tiempos un peso importante en la rúbrica "otros": la cantidad de agua adjudicada por el Canal a las obras en construcción ha pasado de 1,08 hectómetros cúbicos en 1984, a 1,16 en 1993 y a 3,54 en 2004, a la que se añadieron en este último año 3,62 hectómetros cúbicos utilizados por el Canal para la comprobación, limpieza y puesta en marcha de nuevas tuberías en instalación. Por otra parte, los 22,4 millones de toneladas de "hormigón preparado para moldeo o colada" que recoge, para la Comunidad de Madrid, la Encuesta de Productos del INE en 2005, demandarían 2,2 hectómetros cúbicos que se suponen incluidos en la rúbrica de consumo industrial cifrada en la tabla 25.

Figura 11. Flujos de material de construcción en millones de toneladas anuales

Fuente: INE. Encuesta de productos y elaboración propia

[55] Los 5,4 hectómetros cúbicos de agua reutilizada se distribuyen de la siguiente manera: 2,8 proceden de la Red Centro del Ayuntamiento de Madrid, 1,4 de la ERAR de La China y, a partir de 2006, 1,2 del Canal de Isabel II.

Cabe, finalmente, estimar el consumo total de agua para usos urbano-industriales en la Comunidad de Madrid extrapolando los consumos per cápita abastecidos por el Canal de Isabel II al conjunto de la población de esta comunidad. Para ello, no hay más que dividir los consumos de la tabla 25 por las ratios en tantos por uno que resultan de los porcentajes de población de Madrid abastecidos por el Canal, que figuran en la tabla A.3 de la Nota metodológica sobre la población de la Comunidad de Madrid y la población abastecida por el Canal de Isabel II que se presenta en el Anexo 2. La tabla 25 incluye la estimación del consumo total de la Comunidad de Madrid, que se sitúa ligeramente por encima del abastecido por el Canal.

Tabla 25. Consumo de agua por sectores (hm³)

Sectores	1984	1993	1994	1995	2003	2004	2005
Doméstico	188,40	250,30	263,10	259,70	318,80	317,40	313,10
Industrial	31,32	36,33	37,19	36,91	36,68	35,43	35,46
Comercial	34,18	38,76	38,78	36,90	47,60	47,49	48,42
Institucional	26,59	22,63	22,94	22,69	27,17	26,90	25,68
Otros usos	52,02	16,23	16,35	16,78	19,20	18,46	21,60
Riegos (urbanos) controlados	4,45	1,76	3,01	3,82	14,03	13,69	13,30
Total	**337,00**	**366,00**	**381,30**	**376,80**	**463,50**	**459,40**	**457,60**
Población abastecida CYII (millones de hab.)	4,45	4,72	4,74	4,75	5,36	5,49	5,60
Población total Comunidad de Madrid (millones de hab.)	4,78	4,99	5,01	5,03	5,57	5,70	5,82
Estimación del consumo total Comunidad de Madrid	362,00	386,00	403,00	398,00	482,00	477,00	476,00
Totales (m³/hab/año)	**75,70**	**77,50**	**80,50**	**79,30**	**86,5**	**83,70**	**81,70**
Consumo doméstico (m³/hab/año)	**42,30**	**53,00**	**55,50**	**54,60**	**59,5**	**57,90**	**55,90**

Fuente: Canal de Isabel II

Por último, para poder establecer los balances de agua de la Comunidad de Madrid, hemos de saber la que se recibe de fuera de su territorio, ya que la red de embalses y conducciones del Canal se extiende más allá de las fronteras de la misma (véase embalses en el Canal de Isabel II (2003) Manual de Abastecimiento, pág. 63). Aunque en muchos casos se trate de instalaciones próximas a esta frontera que complementan la red existente, de hecho captan agua procedente de fuera y, como tal ha de considerarse en el balance. La tabla 26 muestra el volumen de agua derivada desde fuera del territorio hacia el abastecimiento urbano de la Comunidad de Madrid gestionado por el Canal de Isabel II.

Tabla 26. Agua derivada de fuera de la Comunidad de Madrid para abastecimiento urbano

Año hidrológico	Volumen medio anual (hm³/año) derivado por tomas				
	El Vado	La Aceña	Total Alberche	Sorbe	**Total general**
1997/98	125,6	1,8	--	31,3	**158,8**
1998/99	69,1	5,8	57,1	1,7	**133,7**
1999/00	86,5	2,8	79,2	22,6	**191,1**
2000/01	147,7	2,6	22,4	19,7	**192,4**
2001/02	37,0	2,7	119,8	--	**159,5**
2002/03	149,8	3,1	79,9	20,6	**253,4**
2003/04	113,0	1,6	14,2	6,0	**134,9**
2004/05	33,4	2,6	122,6	--	**158,7**
2005/06	81,0	2,7	171,2	9,7	**264,6**
2006/07	141,7	3,5	120,0	32,7	**297,9**
Promedio	98,5	2,9	78,6	14,4	**194,5**
Máximo	149,8	5,8	171,2	32,7	**297,9**
Mínimo	33,4	1,6	--	--	**133,7**

Fuente: Canal de Isabel II

5.2. Análisis más pormenorizado y completo del consumo de agua en la industria

El sector más complejo está constituido por el sistema industrial, donde se realizan actividades más diversas y donde los materiales sufren procesos de transformación de naturaleza química y/o de carácter físico. Para calcular los flujos físicos más importantes de la industria madrileña se ha efectuado una explotación de la Encuesta industrial de productos del INE.

Los requerimientos hídricos en este sector están relacionados con el empleo del agua para la producción industrial que comprende la utilización específica en los productos y en los procesos de fabricación, acondicionamiento, conservación, alimentación e higiene del personal, mantenimiento, seguridad en las instalaciones, etc.

El volumen de agua utilizado depende del tipo de producto procesado y de la tecnología empleada. No obstante, para cada producto procesado, el volumen de agua es similar en todo el mundo, salvo pequeñas variaciones relativas a prácticas de reciclaje y otros procesos. Como el volumen de agua que interviene en el procesado de los productos industriales es una parte relativamente pequeña en comparación con el contenido de agua virtual de la producción agrícola, en los estudios internacionales que se han llevado a cabo sobre el agua virtual no se le ha dedicado excesiva atención. Para España se estima un total de agua virtual importada de 44.975 millones de metros cúbicos, de los que solo el 18,9 por ciento (8.520), corresponden a productos industriales[56].

[56] Chapagain y Hoekstra, (2004), op.cit. Para la media del período 1997-2001.

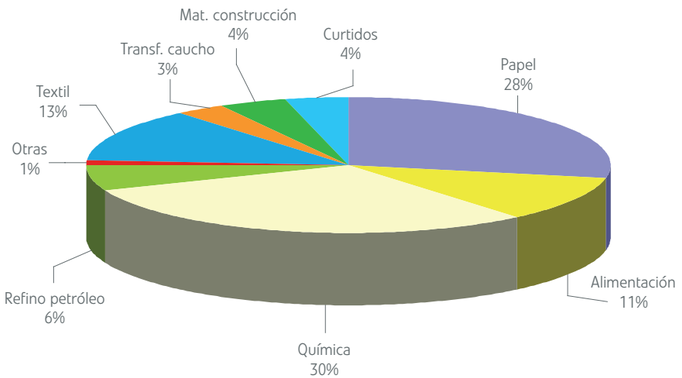
El contenido de agua virtual de un producto industrial puede calcularse de modo similar al descrito para productos agrícolas. Sin embargo, existen muchos tipos de productos industriales que tienen múltiples métodos de producción, por lo que los contenidos de agua virtual variarán. No obstante, y teniendo en cuenta que el agua utilizada en la industria alcanza apenas el 10 por ciento del volumen total de consumo, en el estudio mencionado, se ha calculado, para cada país, una media del contenido de agua virtual por dólar en el sector industrial:

$$VWC[e] = IWW[e] / VABi[e]$$

Donde IWW es el gasto de agua industrial (en metros cúbicos al año) de un país, mientras que VABi es el valor añadido del sector industrial, que es un componente del Producto Interior Bruto (PIB) de un país.

De esta forma, los consumos se expresan generalmente en forma de valores medios por sectores industriales más o menos amplios. En la figura 12 se presentan los consumos de agua en tanto por ciento por sectores industriales.

Figura 12. Dotación de agua por sectores industriales



Fuente: INE

En España no existe un claro conocimiento sobre la demanda real de agua para cada una de las diferentes industrias. Este desconocimiento está motivado en parte por la dispersión geográfica de las mismas y fundamentalmente por la falta de estadísticas sistemáticas sobre el consumo del agua desde la desaparición de la información en términos físicos que recogía la Encuesta Industrial del INE, así como la generalización de las estimaciones de las dotaciones hídricas en función del número de empleados de las diferentes actividades industriales[57]. Esta práctica se acentuó a partir de la publicación de la Orden Ministerial del MOPT de 24 de septiembre de 1992, que establecía una serie de dotaciones orientativas y que se ha aplicado sistemáticamente sin mayores cautelas ni esfuerzos por medir directamente el uso del recurso. Como recoge acertadamente el Libro Blanco del Agua de 2000: "...el empleo de dotaciones tipo para evaluar la demanda industrial no ofrece una gran fiabilidad. Se hace necesario, por tanto, realizar un esfuerzo por mejorar las estadísticas disponibles sobre consumo real de agua en las industrias"[58].

En nuestro caso, para calcular el agua total consumida en la industria de la Comunidad de Madrid, se dispone de la información del agua facturada por el Canal de Isabel II, a la que hay que añadir el agua captada directamente por las empresas -subterránea y superficial- de la que no se dispone de una medida exacta, por lo que ha habido que hacer una estimación a partir de los datos de la Confederación Hidrográfica del Tajo que, a su vez, no dispone de datos desagregados por provincias.

No es previsible que los consumos de agua en la industria experimenten aumentos sustanciales sino todo lo contrario, de acuerdo con la normativa de la UE en materia de aumento en el reciclado y la reutilización del agua industrial. En efecto, como se observa en las tablas y figuras de este epígrafe el consumo de agua en la industria madrileña, según los datos de facturación del Canal de Isabel II, aumentó en los últimos años de la década de los ochenta hasta culminar en 1991 y empezar a decaer hasta los años 2004 y 2005 en los que parece estabilizarse en torno a los 35 millones de metros cúbicos.

Se ha elaborado una serie de índice de producción industrial (IPI) de la Comunidad de Madrid desde 1990, con base 100 en dicho año, para compararla con la evolución de la facturación de agua en la industria y como se puede observar, el descenso de la facturación de 1992 coincide con el fuerte descenso del -10,2 por ciento del IPI en dicho año. También se observa que, exceptuando los años 1998 y 1999, el crecimiento del IPI no se ve acompañado del crecimiento del consumo de agua.

Tabla 27. Consumo industrial registrado (m^3)

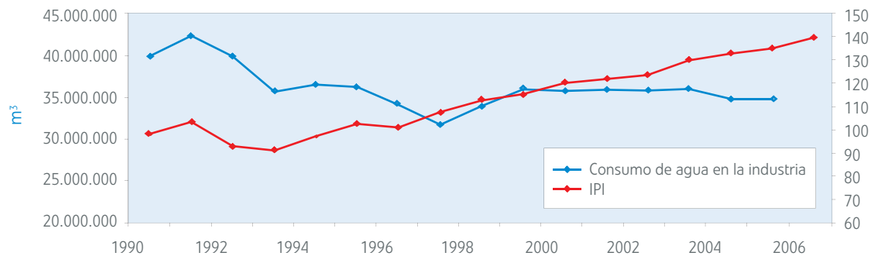
Año	Consumo	Año	Consumo
1984	31.320.724	1996	34.707.636
...	...	1997	32.262.744
1987	32.820.647	1998	34.537.898
1988	34.954.528	1999	36.636.742
1989	39.148.880	2000	36.442.403
1990	40.736.519	2001	36.583.196
1.991	43.241.614	2002	36.465.314
1992	40.679.712	2003	36.676.173
1993	36.326.049	2004	35.431.448
1994	37.185.018	2005	35.461.720
1995	36.907.902		

Fuente: Elaboración propia sobre Encuesta Industrial y Canal de Isabel II

[57] Existen otros parámetros que, en ausencia de mediciones directas, pueden ofrecer mejor correlación con la utilización de agua en la industria. Por ejemplo, la potencia eléctrica instalada o el consumo de energía.

[58] MMA, (2000): Libro Blanco del Agua en España, op.cit., págs. 280-281.

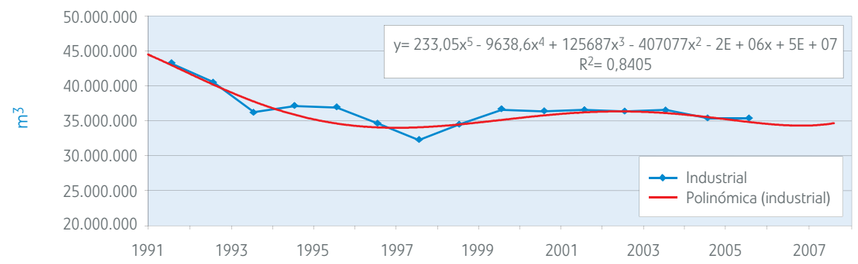
Figura 13. Relación de consumo de agua y producción industrial en la Comunidad de Madrid



Fuente: Ibidem

Efectuando un ajuste mediante una curva polinómica a los datos del período 1991-2005 que incluye una proyección para 2006 y 2007, se observa un comportamiento de estabilidad en el consumo de alrededor de 35 millones de metros cúbicos.

Figura 14. Consumo industrial de agua y su ajuste tendencial en la Comunidad de Madrid



Fuente: Ibidem

Un resultado razonable habida cuenta que, en los datos obtenidos en un análisis exhaustivo que se efectuó de los consumos de agua totales en la industria de la Comunidad de Madrid en 1984, estos alcanzaron los 44,6 millones de metros cúbicos. Para ese año los datos de facturación del Canal fueron de 31,32 millones de metros cúbicos, lo que supondría la extracción directa de agua o la utilización de agua procedente de otras fuentes -como la Mancomunidad de Aguas del Sorbe- de 13,3 millones de metros cúbicos por parte de las empresas industriales.

5.3. El uso del agua en la industria en la Confederación del Tajo

Es cierto que la mayor parte de la industria de la cuenca se abastece a través de sistemas integrados de abastecimiento. No obstante, existe una demanda industrial singular que corresponde a las industrias que no están conectadas a las redes urbanas, cuyo abastecimiento se realiza a partir de tomas de agua superficial o de pozos.

Tomando como base el Registro Industrial del MITYC —que contiene información de todas las industrias situadas en cada una de las 9 provincias de la cuenca—, en la base de datos de aprovechamientos superficiales de la Confederación del Tajo actualizada hasta el año 1994, y en el inventario de captaciones subterráneas de las provincias de Cuenca, Guadalajara, Madrid y Teruel (Año 1991), se ha identificado la industria singular, que asciende a 124 instalaciones y 20.556 empleos, de las cuales, 63 disponen de captación de agua superficial y las restantes 61, se abastecen con pozos.

La distribución, por provincias, de las industrias singulares y de acuerdo con el tipo de captación es la que figura en la tabla 28, poniéndose de manifiesto que se localizan fundamentalmente en las provincias de Madrid y Guadalajara.

Tabla 28. Distribución de la industria en la cuenca del Tajo

Provincia	Nº de Industrias			Nº de Obreros		
	Captación superficial	Captación subterránea	Total	Captación superficial	Captación subterránea	Total
Ávila	0	0	0	0	0	0
Badajoz	0	0	0	0	0	0
Cáceres	3	0	3	393	0	393
Cuenca	3	0	3	91	0	91
Guadalajara	7	12	19	143	1.979	2.122
Madrid	41	49	90	12.552	4.465	17.017
Salamanca	5	0	5	183	0	183
Teruel	0	0	0	0	0	0
Toledo	4	0	4	750	0	750
TOTAL	**63**	**61**	**124**	**14.112**	**6.444**	**20.556**

Fuente: MITYC y Confederación Hidrográfica del Tajo

El suministro actual de las industrias no conectadas a redes de abastecimiento es de 24,24 hectómetros cúbicos al año según la confederación, por lo que la parte correspondiente a las industrias de la Comunidad de Madrid se puede estimar en 19,3 hectómetros cúbicos al año, que se desglosa en:

Tabla 29. Demanda anual en la Cuenca del Tajo y en la Comunidad de Madrid

Tipo de captación	Demanda anual de la Cuenca del Tajo (hm³/año)	Demanda anual de la Comunidad de Madrid (hm³/año)
Superficial	12,9	11,5
Subterránea	11,4	7,9
Total	**24,2**	**19,3**

Fuente: Confederación Hidrográfica del Tajo

Con este resultado parece que, desde 1991, parte del descenso del consumo de agua facturada en la industria, 7,7 hectómetros cúbicos, se ha visto parcialmente contrarrestado por el aumento de 6 hectómetros cúbicos en el consumo directo de las industrias.

Por otro lado, teniendo en cuenta la incorporación de las innovaciones tecnológicas en los procesos industriales con el fin de ahorrar agua, se supone que la demanda futura será similar al suministro actual[59].

En la tabla 30 se detalla el consumo de agua por ramas industriales, según los datos obtenidos en un análisis exhaustivo que se efectuó de los consumos de agua totales en la industria de la Comunidad de Madrid en 1984 y la estimación realizada para el año 2005. Como puede observarse, la rama de actividad industrial que utiliza mayor cantidad de agua es la de alimentación y bebidas, el 49,4 por ciento del total consumido por la industria madrileña. Le sigue la Química con el 12,8 por ciento, en tercer lugar se encuentra la construcción de automóviles y otro material de transporte que utilizan el 10,4 por ciento. Las industrias de productos minerales no metálicos –que incluyen la fabricación de hormigón– consumen el 5,3 por ciento. Por su parte la fabricación de pasta, cartón y papel consume el 4,6 por ciento. Hay que destacar el significativo ahorro de agua que se ha registrado en los procesos de fabricación durante el periodo analizado. En efecto, en 1984 el consumo de agua por tonelada producida era de 3,2 metros cúbicos, mientras que en 2005 era de tan solo 1,5.

En relación con la estimación de los consumos de agua por ramas industriales hay que señalar que, aunque se ha utilizado la información facilitada por el Canal de Isabel II, sería de gran interés mejorarla en un doble sentido. Por una parte, revisar y ajustar mejor el sistema de codificación de los contratos, aprovechando la oportunidad que brinda la entrada en vigor, en 2008, de una nueva Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE). Por otra, aclarar en qué medida el consumo de agua realizado por empresas, formalmente identificadas como industriales, atendiendo a su código de la CNAE, corresponde al consumo efectivo de sus plantas de producción ubicadas en la Comunidad de Madrid o al de sus sedes u oficinas.

[59] No se ha considerado la creación de industrias que necesiten grandes cantidades de agua, y suponemos aquí que el "efecto rebote" derivado de un mayor consumo de productos —que anularía las ganancias en eficiencia— tendría efecto, en su caso, a través de las importaciones de productos industriales, y no tanto en la mayor producción y consumo de agua de la industria dentro de la Comunidad de Madrid.

Tabla 30. Consumo de agua en la industria de la Comunidad de Madrid, 1984-2005

Código NACE	Ramas industriales	1984 Producción Toneladas	1984 Estructura Porcentual	1984 Consumo agua m³	1984 Consumo agua m³/T	2005 Producción Toneladas	2005 Estructura Porcentual	2005 Consumo agua m³	2005 Consumo agua m³/T
221, 222 y 223	Producción y primera transformación del hierro y el acero	595.000	4,31	563.000	0,946	1.614.908	1,23	669.984	0,415
224	Producción y primera transformación de metales no férreos	23.300	0,17	41.000	1,760	63.239	0,09	48.791	0,772
24	Industrias de productos minerales no metálicos	8.260.000	59,85	1.121.800	0,136	22.418.717	5,33	2.914.433	0,130
25 y 26	Química	595.700	4,32	5.884.000	9,877	1.616.807	12,81	7.002.108	4,331
31	Fabricación de artículos metálicos	513.500	3,72	1.992.500	3,880	1.393.706	4,34	2.371.125	1,701
32	Fabricación de maquinaria y material mecánico	92.700	0,67	419.500	4,525	251.600	0,91	499.216	1,984
33 y 34	Maquinas de oficina y material eléctrico y electrónico	137.000	0,99	771.300	5,630	371.836	2,32	917.866	2,468
35	Construcción de automóviles, piezas y accesorios	316.700	2,29	2.876.700	9,083	859.565	0,40	1.606.334	1,869
36	Construcción de otro material de transporte	46.500	0,34	3.490.000	75,054	126.207	7,60	4.153.188	32,908
37	Fabricación de instrumentos de precisión, óptica y similares	33.800	0,24	253.500	7,500	91.738	0,55	301.671	3,288
41 y 42	Alimentación, bebidas y tabaco	2.230.500	16,16	771.300	10,167	6.053.868	49,36	26.987.152	4,458
43	Industria textil	9.300	0,07	97.300	10,462	25.241	0,21	115.789	4,587
44, 451 y 452	Cuero y calzado	1.800	0,01	186.000	16,034	4.885	0,40	221.345	7,030
453 a 456	Confección y peletería	11.600	0,08	71.906	0,341	31.484	2,32	591.778	259,468
46	Madera, corcho y muebles	211.000	1,53	701.162	3,777	572.682	0,40	219.761	0,384
471 y 472	Pasta papelera, papel, cartón y transformación del papel	404.000	2,93	435.500	1,736	1.096.509	4,6	2.517.220	2,296
473 y 474	Artes graficas y edición	199.000	1,44	1.201.538	6,038	540.112	2,61	1.429.860	2,647
48	Industria del caucho y transformación de materias plásticas	115.300	0,84	312.939	3,777	312.939	0,95	518.256	1,656
49	Otras industrias manufactureras	5.100	0,04	771.200	151,216	13.842	1,68	917.747	66,301
	TOTAL	**13.801.800**	**100,00**	**44.620.906**	**3,233**	**37.459.885**	**100,00**	**54.679.463**	**1,460**

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la Encuesta Industrial del INE.

5.4. El agua asignada al riego y a la ganadería

Lamentablemente los datos sobre el agua destinada a riego son confusos y discrepantes. Desde hace tiempo se viene insistiendo en que para hacer una gestión razonable del agua "resulta prioritario aclarar las coincidencias y discrepancias entre el agua disponible, el agua registrada y el agua utilizada, precisando la naturaleza de los usos" (Estevan y Naredo, 2004 pág. 38), instaurando para ello "un sistema estadístico y registral completo y actualizado", que no acaba de hacerse realidad. Este panorama confuso se acentúa en el caso de territorios administrativos que escapan al natural desglose de la información sobre el agua por cuencas y unidades hidrográficas. Pero también, afortunadamente, contamos con el apoyo de investigaciones específicas sobre el tema promovidas por el Canal que desbrozan el panorama en el caso de la Comunidad de Madrid[60]. En el trabajo elaborado por Estevan y La Calle (2007) Intercambios de agua entre demandas urbanas y agrarias, se procede a analizar el agua utilizada en varias zonas regables importantes, que totalizan 44.000 hectáreas. El hecho de que estas zonas regables se extiendan más allá de las fronteras de la Comunidad de Madrid, ha obligado a rehacer los cálculos del agua aplicada considerando la superficie de riego de ésta. La tabla 31 da cuenta de los resultados para las seis zonas de riego consideradas y se refiere a caudales medios registrados en concesiones y aforos durante los últimos diez años con datos disponibles. En esta tabla se observa que tanto la dotación bruta, como el volumen asignado por unidad de superficie están, como ya habíamos anticipado, muy sobredimensionados: con sus 8.000 metros cúbicos por hectárea de media duplican las exigencias de los cultivos y de lavado de los suelos antes cifrados en 4.000 m³/ha para la media de la Comunidad de Madrid[61]. Pero sobre todo, llama la atención el hecho de que el volumen medio derivado -16.000 metros cúbicos por hectárea- duplique también al asignado. Aunque el funcionamiento de un sistema de riego exige cargarlo de agua para ponerlo en disposición de abastecer los volúmenes asignados a las parcelas, lo que explica que la cantidad de agua derivada sea mayor que la asignada, el hecho de que aquella sea el doble que ésta denota una escasa eficiencia del sistema. El volumen derivado informa de la presión real que ejercen los sistemas de riego sobre los cauces naturales de agua. Pero el hecho de que las elevadas detracciones acumulen la sobredimensión de las asignaciones y las ineficiencias del sistema, explica que cerca del 75 por ciento del agua derivada retorne al sistema hídrico superficial o subterráneo. El trabajo de Estevan y La Calle (2007) interpreta así el contexto que explica tan anómala situación: la causa de la sobredimensión de los caudales detraídos "estriba en el mal estado de las conducciones, en defectos de estructura o nivelación de parcelas, en el uso de técnicas de riego ineficientes y en la aplicación de raciones de riego excesivas"… "una parte sustancial de los volúmenes derivados retornan al medio natural por diversas vías, ya sea por cauces naturales superficiales o por vía subterránea. En algunas zonas, como el Henares y el Jarama, una buena parte de ese volumen ni siquiera se llega a introducir en las parcelas de riego, ya que muchas de ellas están abandonadas o son graveras, y se devuelve directamente al río por alguno de los canales de drenaje. No obstante, la detracción se mantiene y las tarifas se abonan para conservar los derechos sobre el agua" (pág. 79).

[60] Se trata, sobre todo, del estudio sobre Intercambios de agua entre demandas urbanas y agrarias (2007) realizado por A. Estevan y A. La Calle.

[61] De todas maneras la relativamente elevada y creciente salinidad de las aguas de estos sistemas podría justificar en algún caso exigencias de lavado superiores al 20 por ciento atribuido para calcular la dosis media de 4.000 metros cúbicos por hectárea (las salinidades medias anuales registradas en Red ICA para estas zonas regables alcanzaron en 2005 los siguientes valores (microsiemens por centímetro): Estremera 983 µS/cm; Aranjuez (Embocador) 2.006 µS/cm; Canal de Henares 811 µS/cm; R. Acequia Jarama 923 µS/cm (datos tomados del trabajo citado de Estevan y La Calle).

Tabla 31. Estimación de la dotación bruta y los volúmenes de agua asignados y derivados al regadío en la Comunidad de Madrid durante el último quinquenio

Zona regable	Superficie (ha)	Dotación bruta		Volumen asignado		Volumen derivado	
		hm³	m³/ha	hm³	m³ /ha	hm³	m³/ha
Estremera	1.449	11,8	8.143	10,9	7.500	18,1	12.491
R. Acequia Tajo / Caz Chico-Azuda	6.660	46,4	6.962	50,0	7.500	124,0	18.619
Canal de las Aves	--	--	--	--	--	--	--
Canal del Henares	624	4,7	7.568	4,4	7.100	5,6	8.974
R. Acequia Jarama	4.212	40,7	9.662	40,9	9.700	68,1	16.168
Total	**12.945**	**103,6**	**8.003**	**106,2**	**8.204**	**215,8**	**16.670**
Total Comunidad de Madrid (Hipótesis I)	**26.160**	**207**	**--**	**212,0**	**--**	**431,0**	**--**

Fuente: Canal de Isabel II, estudio Intercambios de agua entre demandas urbanas y agrarias (2007) realizado por A. Estevan y A. La Calle.
Nota: El redondeo de los datos presentados en hm3 explica que los m³/ha iniciales no coincidan exactamente, con los que resultarían de dividir los hm³ por las ha.

Este sería el panorama de los regadíos con infraestructuras públicas, gestionados por la CHT, pero el panorama se complica cuando a éstos se añaden otros privados: el mapa de la figura 15 ilustra la ubicación e importancia de unos y otros en la Comunidad de Madrid.

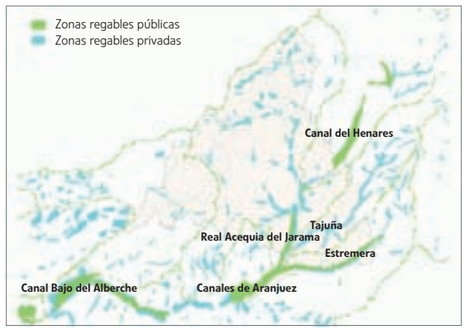
A la vista de lo anterior, en una primera aproximación (Hipótesis I) se podría estimar el agua de riego para el conjunto de la Comunidad de Madrid aplicando, al total de hectáreas regadas, los datos medios obtenidos para las zonas de riego analizadas en los estudios del Canal antes citados. Como la superficie total de riego viene a doblar la ubicada en las zonas analizadas (véase tabla 32) no habría más que multiplicar por dos los volúmenes asignados y derivados, que para ellas, figuran en la tabla 31, para aproximarnos al conjunto de la Comunidad. En la última fila de esta tabla se estiman para el conjunto del territorio una dotación bruta para riego de 207 hectómetros cúbicos y una asignación y derivación de 212 y de 431 hectómetros cúbicos respectivamente. Pero no parece razonable atribuir al conjunto de las zonas de riego la sobredimensión de dotaciones y la ineficiencia propia de las zonas analizadas, que se caracterizan por ser zonas de riego tradicionales abastecidas por las infraestructuras del Estado, lo que invita a consultar otras fuentes.

Hay que considerar también los datos de otras fuentes: el Plan Nacional de Regadíos (1998) y la Encuesta sobre el suministro de agua para riego del INE. La primera de estas fuentes cifra para la Comunidad de Madrid, en su "horizonte 2008", un suministro bruto para riego de 268 hectómetros cúbicos (con dotaciones de 9.580 metros cúbicos por hectárea) con un retorno de 40 hectómetros cúbicos y un consumo de 228. Esta estimación se sitúa a mitad de camino entre las dotaciones y asignaciones de agua y los volúmenes de agua derivados a los que se hizo referencia, adoleciendo de cierta ambigüedad de contenido[62]. Respecto a la encuesta del INE, el

[62] Parece muy elevada si se asimila a las primeras (dotaciones o asignaciones) y muy baja si se asimila a los segundos (volúmenes de agua derivada, que para el horizonte 2008 difícilmente se podrían recortar tan drásticamente mejorando la eficiencia de los sistemas).

problema no estriba tanto en la infravaloración en un año, de esta u otra cifra, como en la evolución anual, tan extremadamente errática, de muchas de las rúbricas que las hace cuestionables[63].

Figura 15. Regadíos públicos y privados en la Comunidad de Madrid



Fuente: Confederación Hidrográfica del Tajo y Canal de Isabel II

Y si estos datos son ambiguos e inaceptables, no queda más que completar, algo más matizadamente, el panorama del regadío madrileño que analizan los dos estudios del Canal de Isabel II a los que nos venimos refiriendo: esto es lo que haremos en la Hipótesis 2, que seguidamente se expone.

[63] Por ejemplo, el agua "distribuida" a las explotaciones agrarias en la Comunidad de Madrid pasa en el sexenio analizado en la encuesta de l32 hectómetros cúbicos en 1999 a 220 en 2000, para volver a caer en 2003 a los 147 antes mencionados. Estas oscilaciones se acusan también en la estimación del agua "concedida" para riego, que pasa de 167 en 1999 a 229 en 2000; 231 en 2001, para volver a caer a 174 en 2004, cuando es evidente que las concesiones no pueden estar sujetas a semejantes oscilaciones. Más sorprendente resulta que el total del agua concedida para riego coincida con el agua concedida superficial, cifrando en cero para la Comunidad de Madrid las concesiones de agua subterránea. El desglose de agua aplicada por cultivos o tipos de riego arroja oscilaciones o carencias todavía más inaceptables. Por ejemplo, el agua distribuida a explotaciones con riego por aspersión se estima que no llega a alcanzar 1 hectómetro cúbico en los cinco años que van desde 1999 a 2004 para saltar de pronto a 32 en 2005. Al igual que el agua distribuida a explotaciones con cultivos herbáceos distintos del maíz que pasa de 35 hectómetros cúbicos en 1999, a 165 en 2001, o que la distribuida a explotaciones con cultivo exclusivamente de maíz, que aparece con datos solo en dos de los seis años considerados, como si se tratara de un cultivo ocasional raro. También se observan anomalías en los datos que ofrece para la Comunidad de Madrid la Encuesta sobre suministro y tratamiento del agua del INE. Los datos de volumen de agua "controlada y distribuida" en la Comunidad difieren significativamente de los antes estimados (ver tabla 23) a partir de la información, bastante sólida, del Canal de Isabel II, y en la evolución desglosada de la encuesta se observan también oscilaciones y discrepancias difícilmente justificables: por ejemplo, la estimación del agua "controlada y distribuida para consumos municipales" pasa de 67 hectómetros cúbicos en 2003 a 23 en 2004.

Los sistemas analizados, -recogidos en la tabla 31- totalizan 13.000 hectáreas, lo que supone cerca de la mitad de la superficie de regadío que atribuyen las estadísticas agrarias en los últimos años a la Comunidad de Madrid. La figura 15 muestra la ubicación de los regadíos madrileños distinguiendo los que son de gestión pública y privada. Se observa que la mayor parte de las zonas regables privadas se sitúan la cuenca alta del Jarama y en las cuencas del Guadarrama y del Tajuña. En efecto, la Real Acequia del Jarama, incluida en el análisis anterior, va desde la confluencia del Jarama con el Manzanares hasta Aranjuez, quedando aguas arriba, en la propia cuenca del Jarama, amplias zonas de vega no incluidas en este sistema. Si tenemos en cuenta que la Confederación Hidrográfica del Tajo (CHT) cifra las demandas para riego en las cuencas del Jarama y del Guadarrama en 219 hectómetros cúbicos (Estevan y La Calle, 2007 pág. 31), tras deducir los 174 hectómetros cúbicos derivados por el sistema de la R. Acequia del Jarama, quedarían 45 que permitirían regar (con una derivación algo más moderada de 12.000 metros cúbicos por hectárea) unas 3.750 hectáreas adicionales situadas todas ellas en el territorio de la Comunidad. La zona regable del Tajuña es importante, pese a no estar regulada, ni tampoco gestionada directamente por la CHT: abarca 6.624 hectáreas, de las que 4.624 pertenecen a la Comunidad de Madrid, con una derivación de 38,37 hectómetros cúbicos (8.304 metros cúbicos por hectárea). Las zonas de riego mencionadas totalizan 21.319 hectáreas, por lo que quedaría así un resto disperso de pequeños regadíos con cerca de 5.841 hectáreas de riego adicionales para alcanzar las poco más de 27.000 hectáreas de riego que atribuyen las estadísticas agrarias a la Comunidad de Madrid para la media del último quinquenio. Una buena parte de éstas se nutrirían de aguas subterráneas[64], lo que unido a su reducida dimensión unitaria, presupone un uso mucho más moderado del agua por unidad de superficie. Atribuyendo a este resto una utilización de 6.000 metros cúbicos por hectárea, demandaría 35 hectómetros cúbicos adicionales de agua[65]. Lo cual completaría para el conjunto de la Comunidad de Madrid una estimación de unos 327 hectómetros cúbicos de agua derivada hacia el regadío. El 57 por ciento de este caudal (186 hectómetros cúbicos) procedería de fuera del territorio de la Comunidad de Madrid, siendo recibido básicamente por los cauces del Tajo, el Tajuña y el Henares, y el 47 por ciento restante (141 hectómetros cúbicos), de recursos superficiales y subterráneos del propio territorio de Madrid. La Hipótesis 2 rebaja así en poco más de 100 hectómetros cúbicos la estimación del volumen de agua derivada para el regadío (pasa desde los 431 de la Hipótesis 1, hasta los 327 de la Hipótesis 2) al suponer menor derivación de agua por hectárea en los regadíos no abastecidos desde las infraestructuras del Estado. La tabla 32 recoge los datos de la Hipótesis 2, que consideramos más verosímil que la 1, aunque se mueva en el nivel de las conjeturas razonables con las que nos hemos visto obligados a suplir las carencias o insolvencias de las estadísticas de base.

[64] El Censo Agrario de 1999 cifra en 5.207 hectáreas los regadíos madrileños abastecidos con agua subterráneas, en 236 con aguas depuradas y en 20.321 con aguas superficiales, con un total de 25.764 hectáreas regadas.

[65] Es posible que parte de las parcelas de riego registradas en las zonas abastecidas por las infraestructuras del Estado estén abandonadas o hayan cambiado de uso y que la estimación de la Hipótesis 2 sobredimensione esta superficie en detrimento del saldo de regadíos ajenos a estas zonas diseminados por el resto del territorio y/o abastecidos en buena parta por aguas subterráneas.

Tabla 32. Estimación del volumen de agua derivada para riego en el territorio de la Comunidad de Madrid (Hipótesis 2)

Zonas de riego	Hectáreas	hm^3	m^3/ha
1. Estremera	1.449	18,1	12.491
2. Tajo-Aranjuez	6.660	124	18.618
3. Henares	624	5,6	8.974
4. Tajuña	4.624	38,4	8.304
(1+2+3+4) Aport. Ext.	**13.357**	**186,1**	**13.933**
5. R. Acequia Jarama	4.212	61,1	14.506
6. Alto Jarama y Guadarrama	3.750	45,0	12.000
7. Otros	5.841	35,0	6.000
8. Recursos propios Comunidad de Madrid (5+6+7)	13.803	141,1	10.222
Total Comunidad de Madrid	**27.160**	**327,2**	**12.047**

Fuente: Elaboración propia y Tabla 31

Tras desbrozar el agua utilizada por la agricultura, hay que considerar la utilizada por la ganadería. Para ello se han tomado las principales especies del Censo Ganadero de la Comunidad y se ha aplicado a cada tipo de ganado el consumo de agua anual que se le imputa en el informe sobre El agua en España. Situación y perspectivas (2007) MMA. Los resultados son los que figuran en la tabla 33. La información denota que la ganadería es una actividad en regresión que tiene, actualmente, escaso peso relativo en la Comunidad, resultando su consumo directo de agua poco relevante en relación con el agua utilizada por la vegetación.

Tabla 33. Número de cabezas y consumo de agua de la ganadería en la Comunidad de Madrid

Ganadería	m^3/año	Miles de cabezas		hm^3/año	
		1985	2005	1985	2005
Bovino	17,60	104	64	1,83	1,13
Ovino	2,00	172	120	0,34	0,24
Caprino	1,98	38	24	0,08	0,05
Porcino	2,87	85	45	0,24	0,13
Total	--	--	--	**2,49**	**1,55**

Fuente: MAPA, Censo ganadero. MMA, (2007): El agua en España. Situación y perspectivas.

Dados los órdenes de magnitud y de incertidumbre en los que se mueve nuestras estimaciones, no merece la pena profundizar en el análisis del consumo directo de agua de la ganadería[66], cuando lo importante en el cálculo del agua virtual es el agua consumida para la obtención de los piensos y forrajes que alimentan al ganado, que aparece ya recogida entre los productos agrarios producidos o importados en la Comunidad y como tal, será incluida en los cálculos del agua virtual y de la huella hidrológica, al igual que la consumida en la obtención de los productos ganaderos importados, mucho más relevantes que los propios.

[66] Más importante resulta la incidencia de la carga contaminante que añaden los vertidos ganaderos sobre el hidrosistema ya muy presionado de la Comunidad de Madrid, pero este es un tema que escapa a la metodología habitual de cálculo del agua virtual y de la huella hidrológica.

6

El agua virtual asociada a los bienes y servicios en la Comunidad de Madrid

6.1. El agua virtual de los productos agrarios

El cálculo del agua virtual ligada a los productos agrarios de regadío puede arrojar resultados muy diferentes según se les aplique el agua asignada, el agua derivada o el agua efectivamente utilizada o consumida por los cultivos o aprovechamientos agrarios, definida por la evapotranspiración real (ETR) de cada cultivo o aprovechamiento. Si, como figura en el glosario de Anexo 1, el agua virtual de un producto se define como "el volumen de agua usado para producir dicho producto", surgen en este caso dudas de cual es la cantidad de agua "usada" a considerar en el cálculo. La desproporcionada singularidad del agua derivada y el agua asignada a las parcelas en importantes zonas de riego, unida a la dificultad de atribuirla a cada unos de los cultivos, nos ha inclinado a utilizar el agua efectivamente utilizada por los cultivos para calcular el agua virtual. Para ello ha parecido oportuno incluir en la estimación de este consumo, no solo la ETR de las plantas en sentido estricto, sino del suelo del conjunto de las parcelas de cultivo, incluyendo las necesarias operaciones de lavado para mantener el balance de sales en los regadíos, así como el agua consumida por los barbechos entre los cultivos de secano, llegando a los resultados de las tablas 34 y 35. El consumo de agua específica del regadío oscila entre 112 y 128 hectómetros cúbicos, confirmando la sobredimensión, antes comentada, de las dotaciones de riego y del agua asignada y derivada para este fin. Otra de las conclusiones a las que se llega viendo los resultados de la tabla 35 es que, aunque el gasto de agua por unidad de superficie sea mayor en los cultivos de regadío que en los de secano, la mayor superficie –en mucho- de éstos hace que, en conjunto, los secanos utilicen entre tres y cuatro veces más agua que los regadíos.

Tabla 34. Hectáreas de secano y regadío y ETR por hectárea de cultivo en la Comunidad de Madrid, (hectáreas)

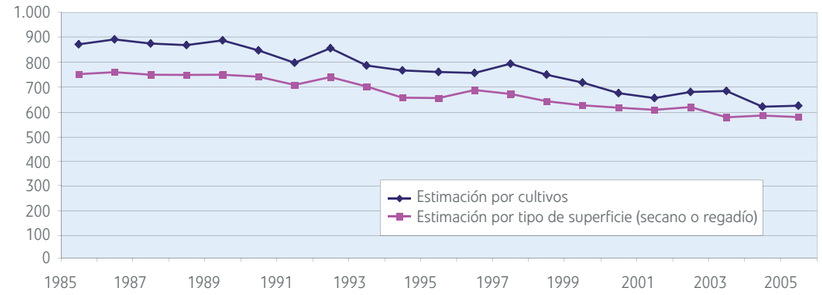
	ETR (m^3/ha)	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Tierras de cultivo	--	276.100	276.800	274.941	276.998	272.001	271.595	265.232	269.175	262.763	236.844
Secano	--	245.200	245.300	244.332	246.565	241.656	239.225	236.176	239.838	234.963	209.365
Cultivos herbáceos	3.257	104.400	105.200	106.213	104.472	109.939	102.964	95.304	110.183	96.930	93.714
Barbecho y tierras no ocupadas	1.524	90.100	89.700	87.949	93.427	86.692	91.291	95.962	84.655	92.903	71.570
Cultivos leñosos	2.577	50.700	50.400	50.170	48.666	45.025	44.970	44.910	45.000	45.130	44.081
Regadío	--	30.900	31.500	30.271	30.433	30.345	32.370	29.056	29.337	27.800	27.479
Cultivos herbáceos	4.780	28.000	30.200	27.213	27.036	28.338	29.366	25.940	26.370	24.116	24.275
Barbecho y tierras no ocupadas	2.390	1.600	0	1.786	2.129	754	1.725	1.841	1.700	2.419	2.488
Cultivos leñosos	3.187	1.300	1.300	1.272	1.268	1.253	1.279	1.275	1.267	1.265	716

Tabla 34. Continuación

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Tierras de cultivo	238.164	256.638	244.821	235.553	228.459	229.428	223.153	232.176	205.055	215.969	208.522
Secano	212.585	229.837	216.659	207.639	203.475	205.076	195.188	205.493	179.173	188.409	180.958
Cultivos herbáceos	93.485	95.235	95.206	87.480	88.635	82.879	77.388	77.530	76.340	71.245	71.945
Barbecho y tierras no ocupadas	75.737	90.644	77.628	78.801	74.631	81.873	76.705	85.293	59.204	75.289	67.687
Cultivos leñosos	43.363	43.958	43.825	41.358	40.209	40.324	41.095	42.670	43.629	41.874	41.326
Regadío	25.579	26.801	28.162	27.914	24.984	24.352	27.965	26.683	25.882	27.561	27.564
Cultivos herbáceos	24.027	24.150	24.427	24.825	22.914	22.468	25.108	23.650	23.909	23.964	25.836
Barbecho y tierras no ocupadas	814	1.982	3.009	2.532	1.540	1.461	2.134	2.185	1.100	2.867	1.088
Cultivos leñosos	738	669	726	557	530	423	723	848	873	730	640

Además de la estimación recogida en la tabla 35, hemos realizado otra más pormenorizada por cultivos, que arroja valores ligeramente superiores. La figura 16 marca la evolución y el orden de magnitud del consumo de agua vinculado a la agricultura madrileña. Ambas estimaciones acreditan una paulatina disminución acorde con la reducción de la superficie cultivada y el aumento del suelo ocupado por usos y urbano-industriales directos e indirectos. La tabla 36 detalla esta estimación para los últimos tres años y la tabla 37 realiza una nueva estimación, aplicando los coeficientes de cultivo estimados para la media de España en el estudio de Chapagain y Hoekstra, (2004): Water Footprints of Nations realizado para UNESCO-IHE. Como se observa, esta estimación (600 hectómetros cúbicos) se sitúa entre nuestras dos estimaciones recogidas en las tablas 34 y 35 y en la figura 16, confirmando el orden de magnitud en el que razonablemente se ha de mover el consumo de agua de los cultivos, que ha de servir para el cálculo de agua virtual atribuida a los productos agrarios importados y exportados por la Comunidad de Madrid y de su huella hidrológica.

Figura 16. Estimaciones del consumo de agua en la agricultura según superficie y cultivos (hm³/año)



Fuente: Elaboración propia a partir de las fuentes comentadas en el texto

Tabla 35. Consumos de agua suponiendo labores de conservación de suelos y agua en la Comunidad de Madrid, (hm³)

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Secano										
Cultivos herbáceos	340	343	346	340	358	335	310	359	316	305
Barbecho y tierras no ocupadas	137	137	134	142	132	139	146	129	142	109
Cultivos leñosos	131	130	129	125	116	116	116	116	116	114
Total secano	**608**	**609**	**609**	**608**	**606**	**590**	**572**	**604**	**574**	**528**
Regadío										
Cultivos herbáceos	134	144	130	129	135	140	124	126	115	116
Barbecho y tierras no ocupadas	4	0	4	5	2	4	4	4	6	6
Cultivos leñosos	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2
Total regadío	**142**	**148**	**138**	**138**	**141**	**149**	**132**	**134**	**125**	**124**
Total Secano y Regadío (hm³/año)	**750**	**758**	**748**	**746**	**747**	**739**	**705**	**738**	**699**	**652**

Tabla 35. Continuación

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Secano											
Cultivos herbáceos	304	310	310	285	289	270	252	253	249	232	234
Barbecho y tierras no ocupadas	115	138	118	120	114	125	117	130	90	115	103
Cultivos leñosos	112	113	113	107	104	104	106	110	112	108	106
Total secano	**532**	**562**	**541**	**512**	**506**	**499**	**475**	**492**	**451**	**455**	**444**
Regadío											
Cultivos herbáceos	115	115	117	119	110	107	120	113	114	115	123
Barbecho y tierras no ocupadas	2	5	7	6	4	3	5	5	3	7	3
Cultivos leñosos	2	2	2	2	2	1	2	3	3	2	2
Total regadío	**119**	**122**	**126**	**126**	**115**	**112**	**127**	**121**	**120**	**124**	**128**
Total Secano y Regadío (hm³/año)	**651**	**684**	**668**	**638**	**621**	**611**	**602**	**613**	**571**	**578**	**572**

Tabla 36. Estimación propia del agua virtual asociada a los cultivos de la Comunidad de Madrid a partir de coeficientes específicos obtenidos atendiendo a los suelos y marcos de plantación

	ETR (m^3/ha)	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Cereales grano											
Trigo	4.767	179	196	196	201	191	188	148	147	123	108
Cebada	4.201	213	192	188	172	239	232	231	290	253	253
Maíz	7.677	76	77	64	62	79	73	65	68	56	65
Otros	3.670	20	22	23	21	9	11	9	14	11	16
Leguminosas grano	3.814	20	18	31	25	14	14	12	11	10	12
Tubérculos para consumo humano	4.781	15	17	17	17	17	17	16	17	12	11
Cultivos industriales											
Girasol	4.334	19	15	15	15	14	15	12	23	39	24
Otros	3.467	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
Cultivos forrajeros	6.192	47	76	60	73	55	39	41	24	20	26
Hortalizas	4.644	41	42	47	49	51	47	45	47	44	40
Flores y plantas ornamentales	4.807	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leñosos											
Frutales no cítricos	4.780	5	4	5	4	4	4	4	4	4	2
Viñedo	4.588	137	137	135	128	115	115	114	111	110	105
Olivar	4.201	93	93	93	93	94	93	93	94	95	93
Otros	4.523	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asociación de cultivos herbáceos o barbecho con monte abierto	3.575	3	3	3	8	8	0	7	6	8	9
TOTAL (hm^3/año)	--	**874**	**894**	**876**	**870**	**889**	**848**	**797**	**857**	**786**	**765**

Tabla 36. Continuación

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Media 2003-05
Cereales grano												
Trigo	115	115	112	109	128	128	118	124	120	63	81	88
Cebada	249	255	252	213	191	182	168	158	160	187	173	173
Maíz	67	68	78	80	69	71	76	72	74	75	60	70
Otros	15	19	18	18	22	20	19	21	19	18	20	19
Leguminosas grano	13	18	22	29	33	38	20	44	42	47	42	43
Tubérculos para consumo humano	12	10	7	6	6	5	7	7	8	9	6	8
Cultivos industriales												
Girasol	19	15	14	13	9	10	10	4	3	1	1	2
Otros	2	3	3	6	6	1	1	1	0	-	-	
Cultivos forrajeros	23	20	23	29	33	15	21	16	21	16	19	19
Hortalizas	40	34	36	32	33	22	29	31	31	26	35	31
Flores y plantas ornamentales	0	21	26	26	7	-	-	10	10	1	1	4
Leñosos												
Frutales no cítricos	3	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0
Viñedo	97	75	93	87	85	85	86	85	85	63	74	74
Olivar	94	98	98	93	91	90	96	103	107	109	108	108
Otros	1	1	1	0	0	0	-	0	0	0	0	0
Asociación de cultivos herbáceos o barbecho con monte abierto	9	-	9	2	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL (hm^3/año)	**759**	**754**	**793**	**747**	**715**	**671**	**650**	**676**	**680**	**615**	**619**	**638**

Tabla 37. Estimación de agua virtual asociada a los cultivos en la Comunidad de Madrid utilizando coeficientes medios del cultivo para el conjunto de España, (media 2003-2005)

	Media 2003-2005			Producción (miles de tm)			Superficie (hectáreas)			Rendimientos (tm/ha)		
	ETR (m^3/ha)	ETR (m^3/tm)	ETR (m^3)	2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005
Trigo	3.070	1.203	56.766.347	77,5	39,2	24,9	25.090	13.313	17.069	3,1	2,9	1,5
Cebada	2.830	1.073	116.860.133	103,1	153,5	70,3	38.198	44.536	41.146	2,7	3,4	1,7
Maíz	6.120	473	55.571.640	134,2	127,0	91,5	9.596	9.773	7.872	14,0	13,0	11,6
Patata	4.860	169	7.643.160	52,8	53,4	29,4	1.762	1.781	1.175	30,0	30,0	25,0
Alfalfa	1.440	25	1.663.200	72,5	46,1	79,3	1.210	774	1.481	59,9	59,6	53,5
Veza para forraje	3.870	459	2.466.480	7,8	6,5	1,8	873	721	318	8,9	9,0	5,7
Praderas polífitas	5.590	170	2.394.383	14,1	14,8	13,3	415	435	435	34,0	34,0	30,6
Cereales de invierno para forraje	...	...	...	11,2	12,0	5,3	931	585	879	12,0	20,5	6,0
Melón	3.660	260	12.323.220	48,6	28,0	65,9	2.415	2.777	4.909	20,1	10,1	13,4
Lechuga	980	49	1.442.560	22,1	23,6	42,6	1.106	1.182	2.128	20,0	20,0	20,0
Col	4.710	168	1.022.070	8,1	5,8	4,3	290	208	153	27,9	28,0	28,0
Tomate	3.190	71	271.150	5,2	4,3	1,9	116	96	43	44,8	45,0	45,0
Coliflor	1.100	44	252.267	10,1	5,7	1,4	404	227	57	25,0	25,0	25,0
Cebolla	1.200	34	211.200	7,9	7,8	2,7	226	224	78	35,0	35,0	35,0
Alcachofa	9.740	697	1.068.153	1,8	1,9	0,9	122	141	66	14,8	13,5	13,5
Ajo	3.380	380	1.596.487	5,3	6,0	1,3	578	682	157	9,2	8,8	8,3
Manzana	9.300	353	139.500	0,6	0,3	0,2	23	11	11	26,1	30,8	22,4
Uva (mesa+transformación)	6.620	1.902	106.676.887	89,3	41,5	37,5	18.549	13.761	16.033	4,8	3,0	2,3

Tabla 37. Continuación

	Media 2003-2005			Producción (miles de tm)			Superficie (hectáreas)			Rendimientos (tm/ha)		
	ETR (m^3/ha)	ETR (m^3/tm)	ETR (m^3)	2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005
Aceituna (almazara)	7.350	10.983	188.635.300	25,9	8,7	16,9	25.414	25.976	25.604	1,0	0,3	0,7
Judías secas	3.900	1.847	11.700	0	0	...	4	5	...	2,0	2,2	...
Habas secas	4.750	992	82.333	0	0,2	0,1	2	19	31	1,0	8,7	2,6
Lentejas	6.580	10.896	8.676.827	0,9	0,8	0,7	1.058,00	1.302	1.596,00	0,8	0,6	0,4
Garbanzos	2.120	3.421	4.001.853	1,6	1,4	0,6	1.921,00	1.655	2.087,00	0,8	0,8	0,3
Guisantes secos	3.540	2.487	15.163.000	5,7	9	3,6	3.187,00	4.240	5.423,00	1,8	2,1	0,7
Veza	3.870	5.973	6.360.990	1,6	1,2	0,4	1.913,00	1.423	1.595,00	0,8	0,8	0,3
Yeros	3.970	5.141	8.931.177	2,4	2,3	0,6	2.917,00	2.472	1.360,00	0,8	0,9	0,4
TOTAL agua virtual, producción y superficies			**600.232.017**	**774**	**629**	**524**	**138.320**	**128.319**	**131.706**			

Fuente: Resultado de aplicar a las superficies cultivadas de la Comunidad de Madrid los coeficientes de cultivo estimados para España en Chapagain y Hoekstra (2004).

6.2. Flujos físicos de la Comunidad de Madrid

La Comunidad de Madrid tiene en la actualidad cerca de 6 millones de habitantes y además de su destacada actividad en los servicios tiene una importante actividad industrial que, aunque solo supone el 10,4 por ciento del Producto Interior Bruto (PIB) regional, hace que se sitúe como la segunda comunidad industrial de España, solo superada por Cataluña. Por otra parte, carece casi por completo de recursos minerales y energéticos en explotación (salvo ciertos materiales para la construcción: arena, grava, yeso, granito, etc.) por lo cual precisa importar cantidades enormes de materias primas, productos energéticos, alimentos y mercancías para satisfacer las necesidades de sus actividades económicas y su elevada población.

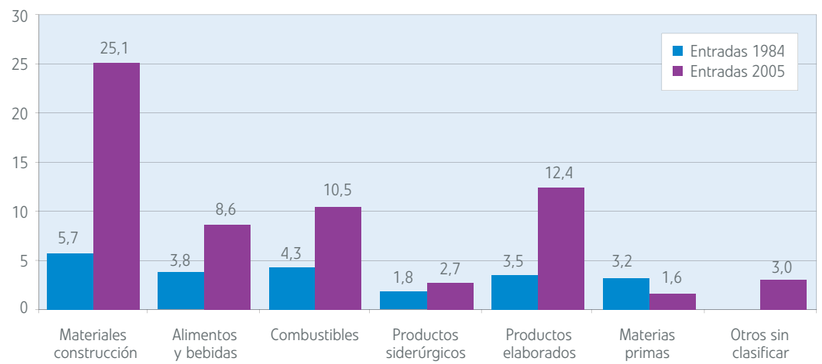
Aunque no es el propósito de este estudio detallar todos los flujos físicos que tienen lugar en la Comunidad de Madrid, resulta preciso estimarlos para poder cuantificar el agua virtual que entra, sale y se consume en el territorio.

La estimación de flujos se realiza, en gran parte, a partir de la información física y monetaria disponible en estadísticas existentes. Los grandes sectores a considerar son:

- Entradas (incluyendo importaciones)
- Sistema agrario
- Sistema industrial
- Sistema de distribución y utilización
- Consumo doméstico
- Residuos y reciclado
- Salidas (incluyendo Exportación).

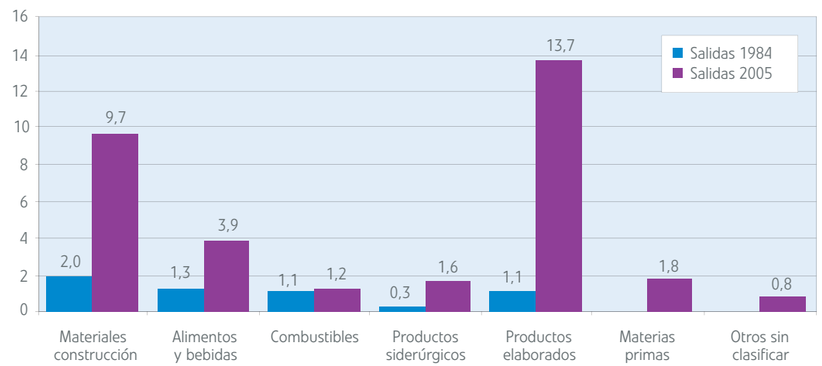
En las figuras 17 y 18 se presenta el global de las entradas y salidas de energía, materiales y productos con origen y destino en Madrid. Llama la atención, desde el punto de vista del tonelaje, el montante que supone la entrada de materiales de construcción, casi quintuplicando las cifras de 1984, como consecuencia del potente "boom" inmobiliario que viene registrando durante el último decenio. En gran medida, los dos territorios que vienen sirviendo sistemáticamente de cantera y abasteciendo a la Comunidad de Madrid para esos propósitos son Castilla y León y Castilla y La Mancha, mientras que la principal salida de materiales tiene que ver con los productos elaborados.

Figura 17. Entradas de materiales 1984-2005 (millones de toneladas)



Fuente: Ministerio de Fomento - Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera, Madrid

Figura 18. Salidas de materiales 1984-2005 (millones de toneladas)



Fuente: Ministerio de Fomento - Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera, Madrid

La tabla 38 presenta las entradas y salidas de la Comunidad de Madrid según el modo de transporte. Como se puede observar, las entradas casi duplican las salidas, y el modo de transporte fundamental es la carretera, con la única excepción de los productos petrolíferos y el gas natural que se transportan por oleoducto y gasoducto respectivamente. Por ello, se presentan, a continuación, las entradas y salidas recogidas por la encuesta de transporte por carretera clasificadas por tipos de mercancías (tabla 39).

Tabla 38. Tráfico de mercancías según modo de transporte en la Comunidad de Madrid

	Miles de toneladas 1984	Miles de toneladas 2001	Miles de toneladas 2005	Porcentaje 1984	Porcentaje 2001	Porcentaje 2005	Tasas 1984-05
Carretera							
Entradas	16.967	33.131	52.078	76,3	82,0	81,5	206,9
Salidas	4.121	21.870	32.211	71,5	97,8	98,6	681,6
Ferrocarril							
Entradas	2.277	1.824	1.685	10,2	4,5	2,6	-26,0
Salidas	1.545	325	306	26,8	1,5	0,9	-80,2
Aéreo							
Entradas	71	133	138	0,3	0,3	0,2	93,7
Salidas	97	163	147	1,7	0,7	0,4	51,3
Oleoducto							
Entradas	2.914	3.600	3.719	13,1	8,9	5,8	23,5
Gasoducto							
Entradas	--	1.700	6.300	--	4,2	9,9	…
TOTAL							
Entradas	**22.229**	**40.388**	**63.919**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**187,5**
Salidas	**5.763**	**22.358**	**32.664**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**466,8**

Nota: En el cuadro figuran solamente las entradas y las salidas desde/hacia fuera del territorio de la Comunidad de Madrid
Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera, Renfe y Aena

Tabla 39. Entradas y salidas de mercancías interregionales e internacionales de la Comunidad de Madrid por carretera (miles de toneladas)

	2005	Productos agrícolas y animales vivos	Productos alimenticios y forrajes	Combustibles minerales sólidos	Productos petrolíferos
Transporte intramunicipal (a)	46.186	642	671	--	884
Transporte intrarregional (b)	87.163	714	2.091	23	2.310
Expedido (c)	32.211	1.013	2.979	--	1.121
Recibido (d)	52.078	2.601	6.027	164	531
Total transportado (a+b+c+d)	217.638	4.970	11.767	188	4.845
Total de origen (a+b+c)	165.560	2.370	5.741	23	4.314
Total de destino (a+b+d)	185.427	3.957	8.789	188	3.724
Transporte interregional (c+d)	84.289	3.614	9.005	164	1.652

Tabla 39. Continuación

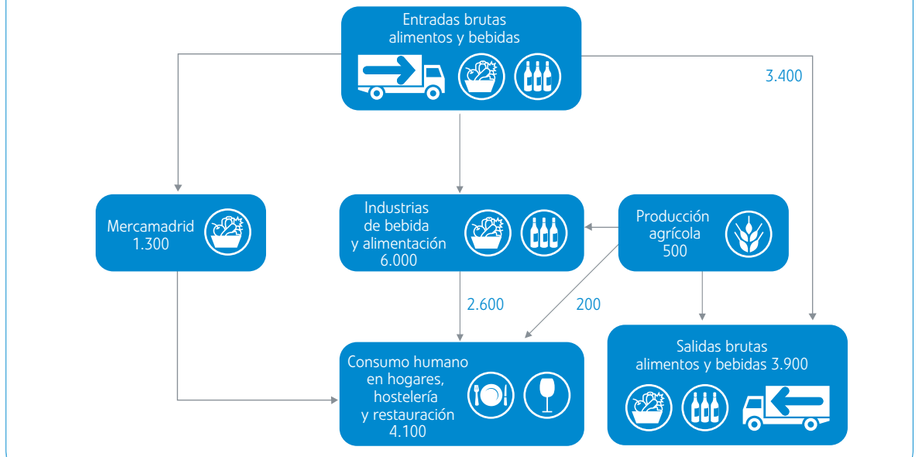
	Minerales y residuos para refundición	Productos metalúrgicos	Minerales y materiales para construcción	Abonos	Productos químicos	Máquinas, vehículos. objetos manufacturados
Transporte intramunicipal (a)	460	217	38.445	516	202	4.148
Transporte intrarregional (b)	705	1.791	69.568	461	1.451	8.048
Expedido (c)	305	1.587	9.671	94	1.784	13.658
Recibido (d)	619	2.723	25.057	273	1.642	12.441
Total transportado (a+b+c+d)	2.089	6.319	142.741	1.344	5.079	38.295
Total de origen (a+b+c)	1.470	3.596	117.685	1.071	3.437	25.854
Total de destino (a+b+d)	1.784	4.732	133.070	1.250	3.295	24.638
Transporte interregional (c+d)	924	4.311	34.728	368	3.425	26.099

Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera, Renfe y Aena.

Los flujos más importantes de entradas en la Comunidad de Madrid son los correspondientes a los materiales de construcción (25 millones de toneladas) seguidos por las máquinas, vehículos y otras manufacturas (12,4 millones de toneladas) y en tercer lugar alimentos y bebidas (6 millones de toneladas). Los flujos de entradas de alimentos son los que más cantidad de agua virtual importada ocultan. Así pues son los que precisan de una investigación más exhaustiva. Se ha efectuado una explotación detallada de la encuesta de transportes que permite tener una información desagregada de estos flujos de entradas y salidas.

El primer paso para la estimación detallada de los flujos de alimentos y bebidas es determinar el consumo de alimentos y bebidas que tiene lugar en la Comunidad de Madrid. Para ello se dispone de una importante fuente de información, la encuesta de presupuestos familiares (EPF) del INE. En el cuadro adjunto se presenta el resultado de esa estimación con el mayor grado de desagregación posible. Los consumos de alimentos y bebidas ascienden a 4,1 millones de toneladas, de los que 650.000 toneladas corresponden a bebidas envasadas.

Figura 19. Flujos de alimentos y bebidas en la Comunidad de Madrid (miles de toneladas)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de la encuesta de presupuestos familiares

Para realizar esta estimación se ha partido de los datos de consumos físicos de la EPF que se refieren a la población que vivía en hogares familiares en el momento de la recogida de datos de la encuesta. Se ha calculado la población total y un coeficiente de elevación de los datos suponiendo que el resto de la población realizase el mismo consumo per cápita. Para estimar el consumo de los turistas se han tomado el número total de plazas hoteleras multiplicado por el coeficiente de ocupación y se ha aplicado el supuesto de que realizan el mismo consumo per cápita que la población inicial de referencia. Por último se han estimado las cantidades físicas consumidas en los establecimientos de hostelería a partir del gasto anual en este concepto.

Cabe destacar, aunque sea de manera aproximada, que el agua virtual asociada al consumo alimentario de la Comunidad de Madrid se sitúa entre los 8,3 y los 9,4 kilómetros cúbicos (ver tabla 40), cifra que se muestra razonable dado el tamaño de la población y el nivel de consumo.

Tabla 40. Estimación del consumo de agua virtual asociada a los alimentos y bebidas en la Comunidad de Madrid, 2005

	Estimación de la cantidad consumida total en la Comunidad de Madrid (Toneladas)	Cantidad media por persona (Kg)	Agua virtual m^3/tm (coeficiente España)	Código FAO/PCTAS	Consumo de agua virtual (m^3) (coeficiente España)	Agua virtual m^3/tm (media mundial)	Consumo de agua virtual (m^3) (media mundial)
Arroz	32.949	5,6	1.485	27	48.929.265	2.291	75.486.159
Pan no integral	308.530	52,7	1.227	15 (trigo)	378.566.310	1.334	411.579.020
Pan integral	7.315	1,2	1.227	15 (trigo)	8.975.505	1.334	9.758.210
Otros productos de panadería	43.122	7,4	n.d	--	n.d	n.d	n.d
Pastas alimenticias	31.785	5,4	n.d	--	n.d	n.d	n.d
TOTAL	**423.700**	--	--	--	**436.471.080**	--	**496.823.389**
Carne de bovino (fresca, refrigerada o congelada)	86.434	14,8	20.157	20120	1.742.250.138	11.001	950.860.434
Carne de porcino (fresca, refrigerada o congelada)	42.570	7,3	6.470	20319	275.427.900	6.655	283.303.350
Carne de ovino y caprino (fresca, refrigerada o congelada)	8.602	1.5	10.267	20422	88.316.734	4.910	42.235.820
Pollo y gallina frescos, refrigerados o congelados	120.600	20,6	3.221	10599	388.452.600	3.046	367.347.600
Otras aves frescas, refrigeradas o congeladas	4.785	0,8	3.221	10599	15.412.485	3.046	14.575.110
Productos de charcutería grasos	101.071	17,3	4.143	20900	418.737.153	3.918	395.996.178
Productos de charcutería bajos en grasa	18.012	3,1	21.135	20890	380.683.620	11.535	207.768.420
Despojos, menudillos y casquería	7.314	1,2	n.a	--	n.a	n.a	n.a
Carnes preparadas y otros productos conteniendo carne (frescos y congelados)	21.853	3.7	21.135	20890	461.863.155	11.535	252.074.355
Otras carnes comestibles frescas y congeladas y sus despojos	2.568	0,4	21.135	20890	54.274.680	11.535	29.621.880
TOTAL	**413.808**	--	--	--	**3.825.418.465**	--	**2.543.783.147**

Continúa en la página siguiente

Tabla 40. **Continuación**

	Estimación de la cantidad consumida total en la Comunidad de Madrid (Toneladas)	Cantidad media por persona (Kg)	Agua virtual m^3/tm (coeficiente España)	Agua virtual m^3/tm (media mundial)	Código FAO/PCTAS	Consumo de agua virtual (m^3) (coeficiente España)	Consumo de agua virtual (m^3) (media mundial)
Merluza (lluç o lepaza) fresca o refrigerada	7.711	1,3	n.a	n.a	--	n.a	n.a
Pescadilla y crías de merluza frescas o refrigeradas	17.634	3	n.a	n.a	--	n.a	n.a
Merluza o pescadilla congeladas	7.403	1,3	n.a	n.a	--	n.a	n.a
Otros pescados frescos, refrigerados o congelados de mar o río	70.659	12,1	n.a	n.a	--	n.a	n.a
Crustáceos y moluscos frescos, refrigerados o congelados	25.791	4,4	n.a	n.a	--	n.a	n.a
Pescados y mariscos secos, ahumados o salados	2.429	0,4	n.a	n.a	--	n.a	n.a
Otros pescados y mariscos procesados o conservados	37.986	6,5	n.a	n.a	--	n.a	n.a
TOTAL	**169.611**	--	--	--	--	--	--
Leche entera	431.986	73,8	1.789	1.023	40120	772.822.954	441.921.678
Leche semidescremada y descremada	290.895	49,7	1.731	990	40110	503.539.245	287.986.050
Leche en polvo	4.001	0,7	8.048	4.602	40210	32.200.048	18.412.602
Leche condensada o evaporada	1.399	0,2	8.048	4.602	40210	11.259.152	6.438.198
Yogures	121.042	20,7	2.012	1.151	40310	243.536.504	139.319.342
Queso y requesón	35.448	6,1	8.582	4.914	40620	304.214.736	174.191.472
Otros productos a base de leche	29.691	5,1	2.012	1.151	40310	59.738.292	34.174.341
TOTAL	**914.462**	--	--	--	--	**1.927.310.931**	**1.102.443.683**
Huevos en peso	50.033	8,5	3.533	3.340	40700	176.766.589	167.110.220
TOTAL	**50.033**	--	--	--	--	**176.766.589**	**167.110.220**

Continúa en la página siguiente

Tabla 40. **Continuación**

	Estimación de la cantidad consumida total en la Comunidad de Madrid (Toneladas)	Cantidad media por persona (Kg)	Agua virtual m^3/tm (coeficiente España)	Agua virtual m^3/tm (media mundial)	Código FAO/PCTAS	Consumo de agua virtual (m^3) (coeficiente España)	Consumo de agua virtual (m^3) (media mundial)
Mantequilla	2.160	0,4	n.d	n.d	...	n.d	n.d
Margarina y otras grasas vegetales	3.526	0,6	n.d	n.d	...	n.d	n.d
Aceite de oliva	89.983	15,4	15.831	21.106	150910	1.424.520.873	1.899.181.198
Otros aceites comestibles	17.304	3	2.712	6.090	151211 (girasol)	46.928.448	105.381.360
TOTAL	**112.973**					**1.471.449.321**	**2.004.562.558**
Cítricos (frescos o refrigerados)	208.265	35,6	362	457	490 (naranjas)	75.391.930	95.177.105
Plátanos (frescos o refrigerados)	56.041	9,6	266	859	486	14.906.906	48.139.219
Manzanas (frescas o refrigeradas)	82.871	14,2	501	697	515	41.518.371	57.761.087
Peras (frescas o refrigeradas)	51.993	8,9	533	727	521	27.712.269	37.798.911
Frutas con hueso (frescas o refrigeradas)	62.380	10,7	1.881	1.881	541	117.336.780	117.336.780
Bayas (frescas o refrigeradas)	23.740	4,1	373	482	558	8.855.020	11.442.680
Otras frutas (frescas o refrigeradas)	111.050	19	1.022	1.404	619	113.493.100	155.914.200
Frutos secos y nueces	15.696	2,7	2.830	4.235	222 (nueces)	44.419.680	66.472.560
Frutas congeladas y en conserva	8.952	1,5	4.086	5.616	81.340	36.577.872	50.274.432
TOTAL	**620.988**					**480.211.928**	**640.316.974**

Continúa en la página siguiente

Tabla 40.Continuación

	Estimación de la cantidad consumida total en la Comunidad de Madrid (Toneladas)	Cantidad media por persona (Kg)	Agua virtual m^3/tm (coeficiente España)	Agua virtual m^3/tm (media mundial)	Código FAO/PCTAS	Consumo de agua virtual (m^3) (coeficiente España)	Consumo de agua virtual (m^3) (media mundial)
Hortalizas de hoja o de tallo y hierbas culinarias	55.823	9,5	36	133	372 (lechugas)	2.009.628	7.424.459
Coles (frescas o refrigeradas)	18.652	3,2	167	211	358	3.114.884	3.935.572
Hortalizas cultivadas por su fruto (frescas o refrigeradas)	186.528	31,9	53	184	388 (tomates)	9.885.984	34.321.152
Hortalizas con raíz o bulbo y setas (frescas o refrigeradas)	75.076	12,8	67	214	402 (cebollas)	5.030.092	16.066.264
Legumbres y hortalizas secas	30.659	5,2	3.584	3.230	191 (garbanzos)	109.881.856	99.028.570
Verduras congeladas	22.025	3,8	372	343	70810 (guisantes congelados)	8.193.300	7.554.575
Legumbres y hortalizas en conserva o preparadas y otros productos	49.561	8,5	178	173	70.890	8.821.858	8.574.053
TOTAL	**438.323**	--	--	--	--	**146.937.602**	**176.904.645**
Patatas	175.554	30,0	202	255	116	35.461.908	44.766.270
Productos derivados de la patata, mandioca y otros tubérculos	8.896	1,5	202	255	116	1.796.992	2.268.480
TOTAL	**184.450**	--	--	--	--	**37.258.900**	**47.034.750**
Azúcar	32.831	5,6	1.165	1.526	170191	38.248.115	50.100.106
Confitura, mermelada y miel	7.964	1,4	1.165	1.526	170191 (azúcar)	9.278.060	12.153.064
Chocolate en barra o en tableta	9.192	1,6	17.772	17.772	180610	163.360.224	163.360.224
Confitería	7.637	1,3	n.d	n.d	--	n.d	n.d
Helados	9.834	1,7	n.d	n.d	--	n.d	n.d
Otros productos a base de azúcar	808	0,1	n.d	n.d	--	n.d	n.d
TOTAL	**68.266**	--	--	--	--	**210.886.399**	**225.613.394**

Continúa en la página siguiente

Tabla 40. Continuación

	Estimación de la cantidad consumida total en la Comunidad de Madrid (Toneladas)	Cantidad media por persona (Kg)	Agua virtual m^3/tm (coeficiente España)	Agua virtual m^3/tm (media mundial)	Código FAO/PCTAS	Consumo de agua virtual (m^3) (coeficiente España)	Consumo de agua virtual (m^3) (media mundial)
Salsas y condimentos	41.433	7,1	n.d.	n.d.	--	n.d.	n.d.
Sal y especias	16.850	2,9	n.d	n.d	--	n.d	n.d
Sopas, preparaciones para postres y levadura	6.743	1,2	n.d.	n.d.	--	n.d.	n.d.
Café	16.212	2,8	17.373	17.373	656	281.651.076	281.651.076
Té e infusiones	2.728	0,5	24.960	24.960	674	68.090.880	68.090.880
Cacao	12.172	2,1	17.772	17.772	180610	216.320.784	216.320.784
TOTAL	**96.137**	--	--	--	--	**566.062.740**	**566.062.740**
Agua mineral	74.274	12,7	1	1	--	74.274	74.274
Bebidas gaseosas	265.053	45,3	1	1	--	265.053	265.053
Zumos de frutas	105.125	18,0	470	2.262	200980	49.408.750	237.792.750
Zumos de vegetales	2.813	0,5	470	2.262	200980	1.322.110	6.363.006
Espirituosos y licores	8.483	1,4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Vinos de uva y de otras frutas fermentadas	62.673	10,7	1.911	935	220410	119.768.103	58.599.255
Otros vinos	4.735	0,8	1.555	761	220421	7.362.925	3.603.335
Cerveza	126.351	21,6	224	290	220300	28.302.624	36.641.790
TOTAL	**649.508**	--	--	--	--	**206.503.839**	**343.339.463**
TOTAL HOGARES	**4.142.259**	**707,7**	--	--	--	**9.485.277.794**	**8.313.994.963**

Fuente: Elaboración propia a partir de la EPF y de Chapagain y Hoekstra (2004). Para las categorías en las que no se disponía de información desagregada a nivel de producto o materia prima se ha calculado el agua virtual, bien seleccionando un producto o materia representativa del grupo, o eligiendo el cultivo principal.

De las dos cifras estimadas, preferimos tomar como más verosímil la segunda de ellas habida cuenta que la estimación del agua virtual asociada a cada producto incorpora coeficientes más ajustados a la realidad española, mientras que la primera cifra se apoya en los coeficientes medios a escala mundial. En todo caso, la propia tabla pone de relieve varios aspectos. En primer lugar, que casi dos tercios de la huella hidrológica de la alimentación (5,9 kilómetros cúbicos) se encuentra directamente relacionada con el consumo de productos de origen animal: carne —principalmente bovino— y leche. Le sigue en importancia, desde este punto de vista, el consumo de aceite de oliva habida cuenta, por un lado, los requerimientos hídricos del olivar en nuestro país —que exigen por término medio, 3.295 metros cúbicos por tonelada de aceituna—, a lo que se añade que únicamente el 21 por ciento del peso total de la aceituna se transforma en aceite virgen, lo que multiplica por cinco el agua virtual repercutida por litro de aceite[67]. En segundo lugar, estas cifras denotan una huella hidrológica en 2005 de 1.631 metros cúbicos por habitante por motivo alimentario, que pudiera estar ligeramente subestimada dada la premisa conservadora manejada en los cálculos.

6.3 Requerimientos hídricos asociados al comercio exterior (interregional e internacional) de la Comunidad de Madrid

Dado que para hallar el consumo aparente de un país o región se suele sumar a la producción en el propio territorio las importaciones detrayendo posteriormente las exportaciones, la estimación de la huella hidrológica exigirá analizar convenientemente el comercio exterior de la Comunidad de Madrid. En este apartado recogeremos, pues, las estimaciones del agua virtual incorporada a los productos importados y exportados por la Comunidad. Conviene recordar que las importaciones que llegan al territorio un doble origen: internacional e interregional (resto de España). Distinguiremos, además, dos grandes grupos de mercancías intercambiadas: los productos agrarios, y los productos industriales. Respecto a los productos agrarios y ganaderos, se comprueba que el grueso de las transacciones se producen con el resto del territorio español, por lo que se ha optado por asociar a cada flujo de importaciones —o grupo de productos, según el caso— los coeficientes que para nuestro país proporcionan Chapagain y Hoekstra (2004), mientras que para las exportaciones madrileñas se han utilizado los coeficientes estimados para la Comunidad de Madrid en los casos en que estaban disponibles. Para aquellas exportaciones de productos agrarios o ganaderos en los que no disponía de esta información, se ha acudido a la media española ofrecida en el trabajo citado anteriormente.

Para el caso de los productos industriales, es cierto que el método más completo y eficaz para obtener esta estimación sería realizar un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de cada mercancía industrial importada que incluyese datos sobre los requerimientos hídricos industriales en el territorio de origen. Sin embargo, tal nivel de desagregación llevaría a tratar con miles de productos, y dificultaría en exceso su estimación. Y esto por dos motivos: porque es posible que las bases de datos de ACV no registren esa estimación para todos los productos comercializados y, en segundo lugar, porque en ocasiones los inventarios de ACV no incorporan datos de requerimientos hídricos, aunque normalmente sí lo hacen con la energía, los materiales o las emisiones. Para resolver esta dificultad con los datos de partida, Chapagain y Hoekstra decidieron repartir el consumo total de agua en la industria de un país en función del VAB de cada actividad, obteniendo así unas ratios de dólares por metros cúbicos de agua que aplicaron a los productos industriales importados para estimar la cantidad de agua que se gastaría ese país si, en vez de importarlos, quisiera producirlos en su propio territorio (de ahí el calificativo de "agua virtual importada").

[67] La diferencia hasta los 15.831 metros cúbicos por toneladas de aceite se atribuye al agua consumida en el procesamiento.

Este procedimiento de imputación de consumos nos parece insuficiente por una razón: existen muchas actividades con bajo valor añadido y mucha utilización de agua y viceversa, por lo que repercutir los consumos proporcionalmente a la generación de VAB podría llevar a la confusión tanto a escala nacional como desde el punto de vista de las importaciones internacionales. En el plano de la Comunidad de Madrid el asunto se ha resuelto razonablemente gracias a la conjunción y contraste de los datos de suministro proporcionados por el Canal de Isabel II y la Confederación Hidrográfica del Tajo (véase epígrafe anterior).

Sin embargo, a la hora de estimar el agua virtual incorporada en los productos industriales importados (internacional e interregionalmente) hemos intentado ofrecer una solución más ajustada a la realidad que la barajada por el informe de Chapagain y Hoekstra. Habida cuenta que sería extremadamente difícil conocer la utilización de agua por cada tipo de producto industrial de los países que exportan productos a España, y para evitar las problemáticas imputaciones descritas anteriormente, hemos procedido del siguiente modo. Dado que tenemos el consumo de agua en la industria de la Comunidad de Madrid para diferentes ramas en 1984, se ha estimado una estructura de consumo de agua por actividades para 2005, bajo la hipótesis inicial de que se haya mantenido dicha estructura a lo largo del tiempo. Para las actividades en que ha sido posible efectuar estimaciones más precisas a partir de la información facilitada por el Canal de Isabel II y otras fuentes fiables se han considerado estas (véase tabla 30). A dicha estructura de consumo de agua le corresponde un VAB determinado y una producción física que también hemos estimado. Agrupando las importaciones de productos industriales con las mismas actividades industriales de la Comunidad de Madrid para las que tenemos datos de consumo de agua directo, hemos asignado los coeficientes obtenidos en la Comunidad—en términos de metros cúbicos por tonelada de producto— a los productos importados (ya sean internacional o interregionalmente). En algunos casos hemos podido contrastar estos cálculos al disponer de coeficientes de agua por tonelada procedentes de procesos concretos y explotaciones en funcionamiento (refinerías de petróleo, cemento, metales, etc.), por lo que la estimación ha ganado en robustez. En el caso del comercio interregional —tal vez el más complicado—, hemos hecho uso de la ya citada Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC), a lo que añadimos los datos procedentes de los flujos interregionales e internacionales transportados por tubería (oleoducto y gasoducto), por ferrocarril y finalmente, por avión.

Es cierto que, actualmente, la base de datos C-intereg contiene información para el periodo 1995-2005 sobre flujos comerciales de bienes entre comunidades autónomas, especificando el origen y destino geográfico del flujo, con detalle a 16 ramas productivas y 4 modos de transporte (carretera, ferrocarril, barco y avión) en toneladas (tm) y valor (€). Aunque la metodología parece aceptable, los resultados analizados —en cuanto a la estimación de los flujos físicos y por lo que respecta a la Comunidad de Madrid— carecen de calidad suficiente y presentan una infravaloración de una magnitud difícil de explicar: un 36 por ciento en las entradas y un 32 en las salidas respecto a nuestras estimaciones. Pero más sorprendente aún resulta el hecho de que los resultados de C-intereg sean claramente inferiores a los publicados por el propio Ministerio de Fomento referidos, tan solo, al transporte por carretera, y que teóricamente sirven de apoyo para la elaboración de dicho estudio. Por ello hemos desechado la base de datos C-intereg como totalmente inútil para los fines de nuestro trabajo.

Tabla 41. Agua virtual asociada al comercio exterior total (interregional e internacional) Comunidad de Madrid 2005

	Origen / Destino	Fuera Comunidad Comunidad de Madrid (millones de tm)	Comunidad de Madrid Fuera Comunidad (millones de tm)	Agua virtual Importaciones (hm^3)	Agua virtual exportaciones (hm^3)	Saldo Importaciones Netas (Imp. – Exp.) (hm^3)
1	Productos agrícolas y animales vivos	2.601	1.013	2.891,3	1.121,1	1.770,2
2	Productos alimenticios y forrajes	6.027	2.979	10.234,1	3.429,3	6.804,8
3	Combustibles minerales sólidos	164	0	n.d	0	...
4	Productos petrolíferos	531	1.121	0,4	0,8	-0,4
5	Minerales y residuos para refundición	619	305	0	0	0,0
6	Productos metalúrgicos	2.723	1.587	1,5	1,2	0,3
7	Minerales brutos o manufacturados y materiales de construcción	25.057	9.671	14,4	4,4	10,0
8	Abonos	273	94	1,2	0,4	0,8
9	Productos químicos	1.642	1.784	5	6	-1,0
10	Maquinas, vehículos, objetos manufacturados y transacciones especiales	12.441	13.658	23,8	23,8	0,0
	TOTAL carretera	**52.078**	**32.212**	**13.171,7**	**4.587,0**	**8.584,7**
11	Oleoducto	3.719	0	2,7	0	2,7
12	Gasoducto	6.300	0	n.d	0	...
13	Ferrocarril (2004)	1.684,1	305,9	1,9	1,1	0,8
14	Avión (2004)	137,5	146,8	16,5	13,7	2,8
	TOTAL	**63.918,7**	**32.664,7**	**13.192,8**	**4.601,8**	**8.591,0**

PROMEMORIA	**Millones de m^3**
Agua Virtual Agrícola Importada (1+2) (*)	13.137,40
Agua Virtual Agrícola Exportada (1+2) (**)	4.557,40
Importaciones netas agua virtual agrícola (Importaciones - Exportaciones)	8.580,00
Agua Virtual Industrial Importada (3+4+5+6+7+8+9+11+12+13+14)	55,40
Agua Virtual Industrial Exportada (3+4+5+6+7+8+9+11+12+13+14)	44,40
Importaciones netas agua virtual industrial (Importaciones - Exportaciones)	11,00

Nota: Las cifras pueden no coincidir exactamente debido al redondeo.
(*) Incorpora 12,1 hm^3 de agua virtual asociada a los productos agrarios importados por avión.
(**) Incorpora 6,8 hm^3 de agua virtual asociada a los productos agrarios exportados por avión.
Fuente: Elaboración propia sobre fuentes comentadas en el texto.
Los flujos incluyen tanto los interregionales como los internacionales. Las posibles discrepancias se deben al redondeo.

Tal y como muestra la tabla 41, la Comunidad de Madrid tiene contraído un déficit hidrológico (importaciones netas) en términos de agua virtual que asciende a 8.591 hectómetros cúbicos. Esta cantidad, aun siendo considerable, puede resultar una estimación ligeramente infravalorada habida cuenta la falta de datos para determinadas partidas, junto a la dificultad de detallar, de forma más precisa, algunas de las mercancías transportadas por ferrocarril y avión, lo que no ha impedido estimar de forma desagregada el agua virtual asociada a la mayoría de ellas. De cualquier modo, parece claro que el principal desequilibrio hídrico cabe achacarlo a los productos agrarios que representan la casi totalidad del déficit exterior de agua virtual. Esta cifra, además, se aproxima razonablemente a la huella hidrológica del consumo alimentario estimado páginas atrás, lo que supone una garantía adicional para las estimaciones teniendo en cuenta que el peso de la agricultura madrileña en el abastecimiento de la población es relativamente reducido.

Llama la atención también la asimetría físico-hídrica tan clara entre el tonelaje comerciado y los flujos de agua virtual asociados con las distintas mercancías. Mientras que en términos físicos, el grueso de las importaciones y exportaciones tiene que ver con productos vinculados al sector industrial (casi el 90 por ciento de las entradas y de las salidas), sin embargo su peso en términos de agua virtual asociada es prácticamente insignificante en el total. Un total que está dominado por los productos agrarios que con apenas el 8 y el 9 por ciento de las importaciones y exportaciones en tonelaje, acapara el 99 por ciento del agua virtual trasegada.

Esto es precisamente lo que se observa cuando se calculan las ratios de agua virtual por tonelada de material importado o exportado. En el caso del total, la tabla 38 muestra que cada tonelada de material que entra en la Comunidad de Madrid arrastra, por termino medio, 206 metros cúbicos de agua, mientras que la misma tonelada exportada lleva asociada 140 metros cúbicos, esto es, un 32 por ciento menos.

Tabla 42. Coeficientes de agua virtual relativa incorporada en el comercio exterior de la Comunidad de Madrid

	Importaciones (m^3/tm)	Exportaciones (m^3/tm)
Productos agrícolas y animales vivos	1.112,00	1.107,00
Productos alimenticios y forrajes	1.698,00	1.151,00
Productos petrolíferos	0,74	0,74
Minerales y residuos para refundición	0,04	0,02
Productos metalúrgicos	0,53	0,73
Minerales brutos o manufacturados y materiales de construcción	0,58	0,45
Abonos	4,24	4,33
Productos químicos	3,07	3,35
Maquinas, vehículos, objetos manufacturados y transacciones especiales	1,91	1,74
Total carretera	**252,00**	**142,00**
Productos alimenticios y forrajes	0,74	0
Productos petrolíferos	1,14	3,73
Minerales y residuos para refundición	119	93
TOTAL	**206,00**	**140,00**

Por otro lado, la comparación de estas cifras de agua virtual externa con el agua interna de la Comunidad de Madrid pone de relieve la gran importancia que esta región tiene desde dos perspectivas. En primer lugar como potente centro de atracción de agua virtual del resto de los territorios para satisfacer el consumo interno y, en segundo término, como plataforma logística de paso para un parte muy notable del comercio interregional español que utiliza la Comunidad de Madrid como "lanzadera de tránsito" hacia el resto de regiones. Respecto a lo primero, hay que tener en cuenta que las importaciones brutas de 13.193 hectómetros cúbicos de agua virtual multiplican por 12 veces el agua extraída y captada procedente del propio territorio de la Comunidad de Madrid y estimada en este trabajo en 1.114 hectómetros cúbicos (sumando el componente urbano —en sentido amplio—, el industrial y el agrario). Si se compara esta cantidad con las importaciones netas, éstas últimas, con 8.591 hectómetros cúbicos, exceden en casi 8 veces al agua interna extraída y captada en el propio territorio de la Comunidad de Madrid. Por último, al combinar estas cifras con el montante de agua virtual asociada a las exportaciones (4.528 hectómetros cúbicos), se obtiene un consumo final de agua que asciende a 9.705 hectómetros cúbicos, esto es, casi 9 veces el agua interna.

Por lo que respecta a la segunda perspectiva mencionada, la comparación del agua virtual asociada a las exportaciones con el agua interna procedente del territorio de la Comunidad de Madrid (4.528 frente a 1.114 hectómetros cúbicos) refleja claramente que una parte importante de las salidas de agua virtual hacia fuera no proviene de productos fabricados dentro de la Comunidad de Madrid, sino de mercancías que utilizan esta región como paso intermedio hacia otros territorios, potenciando así un importante "efecto Rotterdam"[68]. Este efecto se observa tanto en términos físicos como respecto del agua virtual. Por ejemplo, mientras en 2005 la producción agraria en tonelaje ascendió a 717.000 toneladas correspondientes a 638 hectómetros cúbicos de agua (azul y verde), las exportaciones de la Comunidad de Madrid alcanzaron 1,03 millones de toneladas con un agua virtual asociada de 1.047 hectómetros cúbicos. De hecho, sólo el agua virtual asociada a las exportaciones de tránsito que, en forma de frutas y verduras, alcanzaron las 302.000 toneladas, supusieron una exportación de agua virtual equivalente a 601 hectómetros cúbicos, esto es, casi la ETR de todos los cultivos de la Comunidad de Madrid. Y a esto habría que añadir la principal rúbrica exportadora de agua virtual que es la asociada a las salidas de productos ganaderos (carne en sus diversas modalidades) procedentes de la industria agroalimentaria asciende a 2.324 hectómetros cúbicos, lo que supone la tercera parte del agua virtual importada por la Comunidad de Madrid por este concepto (6.384 hectómetros cúbicos). Lo mismo cabe decir del agua virtual asociada a los productos industriales donde los 55 hectómetros cúbicos vinculados a las importaciones equivalen prácticamente al agua utilizada por la propia industria de la Comunidad de Madrid en la fabricación de sus productos (54 hectómetros cúbicos).

Desde un punto de vista temporal, y gracias a estimaciones previas sobre el metabolismo de la Comunidad de Madrid a mediados de la década de los ochenta, hemos observado un incremento notable tanto en las importaciones como en las exportaciones de agua virtual: como se observa en la tabla 43, las entradas (importaciones) se han incrementado en 2,2 veces, pasando de 5.806 hectómetros cúbicos en 1984 a 13.193 en 2005; mientras que las salidas (exportaciones) se han triplicado, pasando de 1.465 hectómetros cúbicos a 4.601. Aspecto que cabe explicar, en parte, por la doble conjunción que se da en la Comunidad de Madrid de poseer una potente industria agroalimentaria que produce un 50 por ciento más de lo que sería necesario para cubrir las necesidades alimenticias de la población madrileña y que además dispone de un centro logístico, de tránsito y de distribución notable hacia el resto de territorios. Como ya se ha apuntado lo más destacado es que en ambos años el 99 por ciento de los flujos de agua virtual son debidos a los productos agrícolas y de alimentación. Las entradas de agua virtual se han -mas que duplicado-, creciendo el 127 por ciento. El aumento de las entradas de mercancías en este mismo periodo fue del 186 por ciento. Los productos agrícolas y de alimentación suponen también el 99 por ciento del agua virtual exportada. Las salidas totales de agua virtual de la Comunidad de Madrid se han triplicado en el periodo analizado aumentando el 209 por ciento. El aumento de las salidas de mercancías en este mismo periodo fue del 464 por ciento.

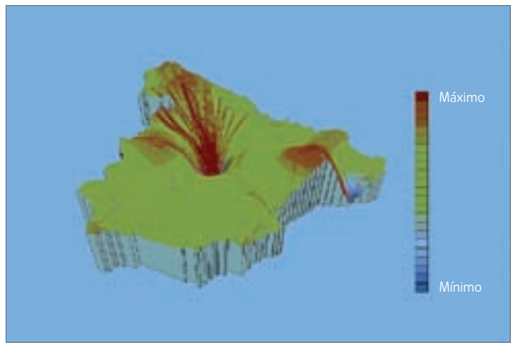
Tabla 43. Evolución de las entradas y salidas de materiales y agua virtual en la Comunidad de Madrid por grupos de productos

	Entradas				Salidas			
	2005		1984		2005		1984	
	Materiales Millón de tm	Agua Virtual hm^3	Materiales Millón de tm	Agua Virtual hm^3	Materiales Millón de tm	Agua Virtual hm^3	Materiales Millón de tm	Agua Virtual hm^3
Materiales construcción	25,1	14,4	5,7	3,3	9,7	5,8	2,0	0,9
Alimentos y bebidas	8,6	13.137,4	3,8	5.780,7	4,0	4.557,4	1,3	1.460,5
Combustibles	10,5	7,9	4,3	3,2	1,2	0,9	1,1	0,8
Productos siderúrgicos	2,7	1,4	1,8	1,0	1,6	1,9	0,3	0,3
Productos elaborados	12,4	23,8	3,5	6,7	13,7	26,8	1,1	2,1
Materias primas	1,6	5,0	3,2	11,0	1,8	6,6	0,0	0,0
Otros sin clasificar	3,0	1,7			0,8	2,5		
TOTAL	**63,9**	**13.192,8**	**22,3**	**5.805,9**	**32,8**	**4.601,8**	**5,8**	**1.464,7**

Por último, hay que indicar que en este trabajo se han analizado pormenorizada y exhaustivamente los flujos de materiales que entran y salen en la Comunidad de Madrid. Esto incluye los flujos de combustibles derivados del petróleo y gas natural movilizados por oleoducto y gaseoducto. Pero quedaría por incluir la energía eléctrica que llega por la red a la Comunidad de Madrid, que es una gran consumidora, mientras que apenas produce electricidad, como se puede apreciar en el mapa tridimensional de la figura 20 en el que se representa la diferencia entre la generación media y el consumo de electricidad previsto para 2008.

[68] Por analogía con el puerto marítimo más importante de Europa donde una parte sustancial de las importaciones que llegan a Holanda utilizan este emplazamiento como vía de tránsito hacia el resto del continente europeo. Véase, Eurostat, Economy-wide material flow accounts and derived indicators: A methodological guide, Luxembourg, 2001, pág. 24.

Figura 20. Diferencia entre la oferta y la demanda de electricidad en cada punto del territorio (representada en la tercera dimensión a modo de cota)



Fuente: Red Eléctrica Española

Este mapa, elaborado por Red Eléctrica Española (REE), presenta a la Comunidad de Madrid como un gran sumidero de la electricidad generada en la Península, pero este panorama, tan impactante en términos energéticos, apenas tiene reflejo en las estimaciones del agua virtual. En efecto, en el año 2005 la electricidad consumida en Madrid ascendió a 2,4 millones de tep[69], lo que significaría unas importaciones asociadas de agua virtual de unos 1,8 hectómetros cúbicos, cifra poco significativa en comparación con las importaciones de agua virtual estimadas para ese año en 13.193 hectómetros cúbicos. Con todo, hay que resaltar que las entradas de electricidad han crecido a mayor ritmo que las del conjunto de los materiales y del agua virtual, al multiplicarse por 2,4 entre 1984 y 2005, siendo además importaciones netas, ya que en el caso de la electricidad, la Comunidad de Madrid es un potente centro receptor, pero no redistribuidor.

[69] Tonelada equivalente de petróleo.

7

La huella hidrológica de la Comunidad de Madrid. Síntesis y Conclusiones

7.1 Objetivo principal

La amplia información manejada en este trabajo invita a recomponer una visión integrada del agua y el territorio que permita clarificar las relaciones entre agua azul y agua verde, así como entre agua interna (utilizada en el territorio de la Comunidad de Madrid), agua virtual y huella hidrológica. En este capítulo de síntesis formalizaremos y cuantificaremos estas relaciones a escala agregada para el territorio objeto de estudio.

7.2 Necesidad de suplir las carencias e incoherencias de la información de base

Hay que advertir que este esfuerzo cuantificador se topado con estadísticas solventes, pero también con serias carencias e incoherencias de la información de base que lo hacen derivar en muchos casos hacia el campo de la conjetura razonable. Quede, pues, claro que las cifras de los gráficos y tablas que a continuación se presentan tienen la voluntad de aproximar las piezas del funcionamiento agregado del agua en el territorio de la Comunidad de Madrid, con ánimo de marcar sus órdenes de magnitud, pero no de suplantar la deseable —pero actualmente inviable— cuantificación estricta de las mismas. Ésta tendría que apoyarse en definiciones y clasificaciones inequívocas de verdaderas magnitudes, medidas y mediciones capaces de controlar sus márgenes de error y que hoy brillan por su ausencia, como se indica a lo largo del texto. La información que ofrece el presente trabajo no debe inducir a creer que ya todo o casi todo se sabe sobre el metabolismo hídrico real y virtual de la Comunidad de Madrid, sino más bien, a mejorar las serias limitaciones de la información de base que empañan este conocimiento. Una primera conclusión a la que se llega es que, al ser la información estadística disponible incompleta y precaria, habría que mejorarla.

7.3 Mejoras metodológicas introducidas

Conviene señalar que en este trabajo no sólo hemos atendido a los conceptos y la metodología desarrollada por Chapagain y Hoekstra (2004), sino que, en la medida de lo posible, hemos realizado mejoras metodológicas encaminadas a una mejor estimación del agua utilizada. En este sentido destacan los siguientes aspectos:

a) En la estimación del agua virtual asociada a la agricultura —a través de la ETR de los cultivos— hemos añadido una estimación del agua que es necesario aplicar para el lavado de suelos con el fin de evitar la salinización y, con ello, seguir permitiendo el cultivo. Se ha considerado también la naturaleza de los suelos en los que se ubican los cultivos (a partir de los mapas de Clases Agrológicas y de Cultivos y Aprovechamientos), ya que la naturaleza de los suelos orienta la selección y el marco de plantación de los cultivos y, por ende, el rendimiento y el agua utilizada por hectárea.

b) Se ha distinguido, al menos, entre el agua que finalmente se consume en los hogares, las industrias,…o los regadíos -utilizada en cálculo del agua virtual- y el agua que hay que derivar en cabecera para abastecer estos usos. La importancia cuantitativa de esta diferencia generalmente incontrolada (de pérdidas diversas, sobre todo en el agua de riego) entre el agua derivada y el agua utilizada, aconseja tenerla en cuenta en la comparación de los balances de agua virtual y agua real de actividades y territorios.

c) Por las razones que se indican en el texto, en el caso del agua virtual asociada a las exportaciones e importaciones de productos industriales, hemos preferido prescindir de la metodología convencional apoyada en imputaciones de consumo a partir de la estructura de VAB (valor añadido bruto) en términos monetarios. En su lugar se ha optado por otro procedimiento, a saber: a partir de los datos de la antigua Encuesta Industrial, y suponiendo que se mantiene la estructura de utilización de agua, se ha estimado una estructura de consumo de agua por actividades para 2005, obteniendo así unas ratios de metros cúbicos por toneladas en términos físicos. Para las actividades en que ha sido posible efectuar estimaciones más precisas a partir de la información facilitada por el Canal de Isabel II y otras fuentes fiables se han considerado éstas. Agrupando las importaciones de productos industriales con las mismas actividades industriales de la Comunidad de Madrid para las que tenemos datos de consumo de agua directo hemos asignado los coeficientes obtenidos —en términos de metros cúbicos por toneladas de producto— a los productos importados (ya sean internacional o interregionalmente). En algunos casos hemos podido contrastar estos cálculos al disponer de coeficientes de agua por tonelada procedentes de procesos concretos y explotaciones en funcionamiento por lo que la estimación ha ganado en robustez.

d) Desde una perspectiva más formal, los gráficos y esquemas de síntesis que se exponen a continuación constituyen un esfuerzo de clarificación conceptual que, así lo esperamos, puede contribuir a la mejor comprensión, alcance y limitaciones de la metodología.

7.4 Agua y territorio en la Comunidad de Madrid

La delimitación administrativa de la Comunidad de Madrid sigue al noroeste la divisoria de vertientes del tramo de la cuenca del Tajo en el que se ubica, lo que le asegura la captación del agua que fluye desde las cumbres de esta divisoria hasta el propio río Tajo, que marca en parte su frontera por el sureste. Esta relativa coincidencia entre la división administrativa y la hidrológica, hace que la importante aglomeración urbana de Madrid se haya nutrido básicamente del agua captada en el propio territorio de la Comunidad de Madrid, a través de la red de embalses del Canal de Isabel II situados en la cabecera de esta vertiente, que le aseguraban agua de muy buena calidad. Sin embargo, la presión de los usos urbanos vinculados a la creciente aglomeración madrileña obligó a extender la red de captaciones del Canal de Isabel II más allá de los límites de la Comunidad de Madrid.

Al contrario de lo que ocurre con el agua para abastecimiento urbano, el grueso de los regadíos de la Comunidad de Madrid se ha venido nutriendo tradicionalmente de las aguas de los ríos que entraban de fuera de su territorio por el sureste, situándose éstos, a menor cota, en las vegas del Henares, el Tajuña y el Tajo. La litología de la cuenca del Tajo, unida a la mala gestión del agua y a la creciente presión de usos y vertidos, viene deteriorando las aportaciones de estas cuencas en cantidad y calidad, hasta el punto de hacerlas inadecuadas para abastecimiento urbano e incluso utilizables para riego solo con limitaciones.

Una vez completadas las captaciones de los embalses en la cabecera de la vertiente, se plantean serias dificultades a la hora de buscar nuevos recursos, exigiendo una política de captaciones muy sensible a la distinta calidad y cota que ofrece la cuenca del Tajo, que invitaría a mirar en esa cuenca aguas arriba de la propia Comunidad de Madrid.

7.5 Formación de agua azul y agua verde en la Comunidad de Madrid

En el territorio de la Comunidad de Madrid predomina el clima mediterráneo, con distintos grados de aridez que hacen que el agua sea un factor limitante para el desarrollo de la vegetación y los asentamientos humanos. En condiciones naturales, el territorio solo obtendría, en media anual, más agua por precipitación de la que gasta por evapotranspiración a partir de los mil metros de altitud. Es decir, que solo a partir de esa cota el territorio en régimen natural arrojaría un excedente medio anual de agua azul; en el resto el agua verde (asociada al suelo y la vegetación) secuestraría toda la precipitación derivándola hacia el gasto en evapotranspiración, arrojando un déficit anual. No obstante, la irregularidad estacional propia del clima mediterráneo predominante en la

Comunidad de Madrid, hace que el déficit anual no excluya el exceso estacional, lo que induce a embalsar ese exceso para utilizarlo a lo largo del año.

En condiciones naturales el territorio de la Comunidad de Madrid sólo generaría, en media anual, 204 hectómetros cúbicos de agua azul, cantidad insuficiente para abastecer a una población de casi seis millones de habitantes, con sus actividades consuntivas. Sin embargo, actualmente se están derivando hacia el sistema de usos unos 936 hectómetros cúbicos anuales (327 para riego y 609 para abastecimientos urbanos-industriales). Ello es posible, tanto por intervenciones sobre el territorio que aumentan la formación de agua azul, en detrimento del agua asociada al suelo y la vegetación, como por que se reciben importantes aportaciones de recursos externos al territorio.

La erosión del suelo, la red de embalses del Canal de Isabel II (que retiene en año medio 495 hectómetros cúbicos) y el "sellado" de suelos derivado de la gran extensión de edificaciones e infraestructuras, favorecen la generación de agua azul, elevándola hasta los 1.864 hectómetros cúbicos (ver tabla 22 y figura 21). Lo cual permite derivar hacia el sistema de usos recursos propios por un volumen de unos 555 hectómetros cúbicos (141 para riego y 414 para abastecimiento urbano-industrial).

A la derivación del agua azul generada en territorio de la Comunidad de Madrid hacia el sistema de usos se añaden aportaciones externas a este territorio, que derivan hacia el sistema de usos un volumen de 381 hectómetros cúbicos (de los que 186 van para regadío y 195 para abastecimiento urbano). Llama la atención, a este respecto, la mala información y la mala gestión que se observa en lo relativo al importante volumen de agua destinada al regadío.

7.6 Aproximación al agua (azul y verde) en la Comunidad de Madrid

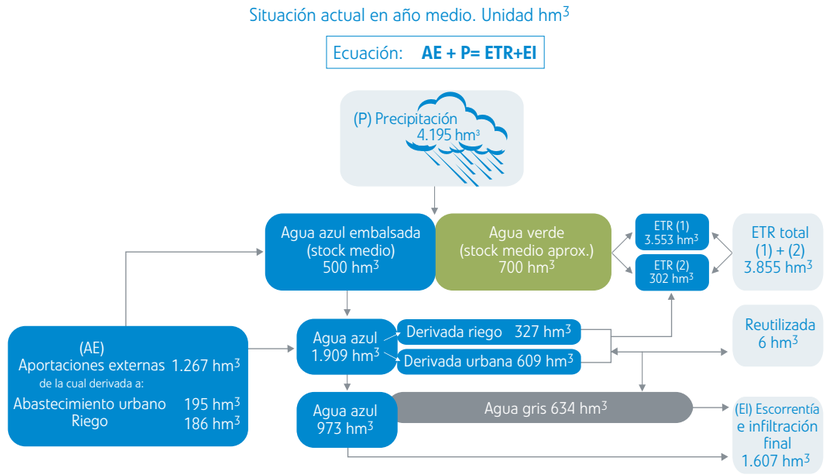
La figura 21 sintetiza el comportamiento y el manejo del agua (azul y verde) en la Comunidad de Madrid. La precipitación entra en contacto con el suelo y pasa a almacenarse en forma de agua verde, en el suelo y la vegetación, o fluye en forma de agua azul, formando parte de cauces y retenciones naturales (lagos o acuíferos) o artificiales (embalses), a la vez que se va perdiendo por evapotranspiración.

El gran volumen del stock medio anual de agua azul almacenada en los embalses señala la importancia de las retenciones artificiales en el territorio, frente al stock de agua verde almacenado en el suelo y la vegetación (según nuestras estimaciones, el suelo viene a albergar nueve veces más agua que la vegetación). Al agua azul del propio territorio derivada para riego y abastecimiento se añade la derivada de aportaciones externas (que suponen algo más de la mitad del agua aportada para riego y cerca de un tercio de la aportada para abastecimiento urbano e industrial).

Lo anterior refleja la importante presión sobre el territorio que ejerce la captación de recursos (se deriva hacia el sistema de usos cerca del 30 por ciento del agua azul recibida anualmente en el territorio) y la todavía mayor presión de los vertidos (a la derivación de agua propia se añade la de las aportaciones externas que pasan a engrosar los vertidos). El inmenso río de vertidos derivado de los usos incrementa en un 65 por ciento el caudal de agua azul que fluye por los cauces superficiales y subterráneos, deteriorando su calidad (los sistemas actuales de depuración no consiguen devolver al agua su calidad originaria, persistiendo los contaminantes más difíciles de limpiar).

Como consecuencia de lo anterior, los solo 204 hectómetros cúbicos anuales de agua azul que habría generado el territorio de la Comunidad de Madrid en estado natural clímax, se han convertido en los 1.607 hectómetros cúbicos anuales de aguas grises y azules que la erosión y las intervenciones humanas han acabado generando.

Figura 21. Aproximación al agua azul y verde en la Comunidad de Madrid



ETR (1): Evapotranspiración real espontánea del suelo y la vegetación natural y de los cultivos de secano.

ETR (2): Evapotranspiración inducida por los usos; incluyendo el consumo por evapotranspiración del regadío, como la parte consuntiva del uso urbano-industrial, al igual que el agua real espontánea del suelo y la vegetación natural y de los cultivos de secano.

Agua gris: Recoge, tanto los vertidos urbanos e industriales como los lixiviados agrarios.

Caudales medios de los últimos 14 años y agua derivada media de los últimos 5 años.

Fuente: Elaboración propia

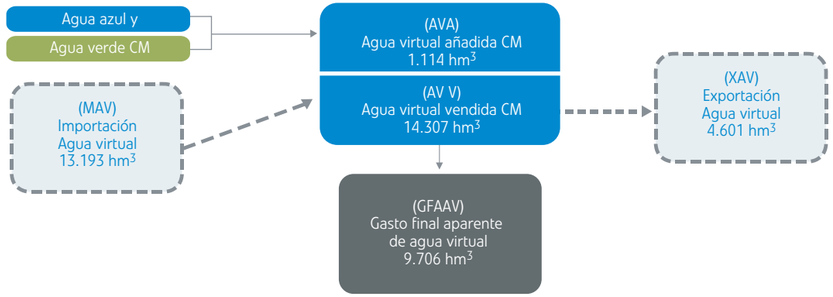
Este volumen de escorrentía e infiltración final (EI), más el volumen de agua consumida por evapotranspiración real (ETR), constituyen las salidas finales del sistema hídrico analizado que, en función de la ley de conservación, han de igualar a las entradas por precipitación (P) y por aportaciones externas (AE) derivadas hacia el sistema de usos, estableciendo el balance de agua del territorio:

$$P + AE = ETR + EI$$

7.7 Aproximación al agua virtual en la Comunidad de Madrid

La figura 22 sintetiza los resultados del cálculo del agua virtual en la Comunidad de Madrid. La primera observación es que los volúmenes de agua virtual que mueve la Comunidad de Madrid son muy superiores a los del agua (recogidos en la figura 21). Por ejemplo, el volumen de agua virtual importada multiplica por tres al agua recibida en forma de precipitación y por 14 a la derivada para riego y abastecimiento de Madrid. Bien es cierto que casi la tercera parte de estas importaciones no tienen por destino último la Comunidad de Madrid, sino que son un flujo de tránsito hacia otros territorios. Así, otra conclusión importante es la que destaca el lugar que ocupa la Comunidad de Madrid como enclave logístico redistribuidor de mercancías hacia otros territorios, pasando por la industria y los servicios madrileños que les aporta dosis variables de elaboración, comercialización y transporte.

Figura 22. Aproximación al agua virtual en la Comunidad de Madrid
Situación actual en año medio. Unidad hm^3



Fuente: Elaboración propia

El agua virtual añadida por los bienes y servicios generados en la propia Comunidad de Madrid es relativamente modesta con relación a la importada: la importación de agua virtual multiplica por 8 a la generada en el propio territorio. El gran peso unitario que tiene el agua virtual en los alimentos, unido a la fuerte dependencia alimentaria de la Comunidad de Madrid, es capital a la hora de explicar los órdenes de magnitud comentados.

Hay que advertir también que el agua virtual añadida en los bienes y servicios alcanza un volumen superior al del agua azul derivada hacia riego y abastecimiento (recogido en la figura 21) porque el agua virtual recoge también el agua verde utilizada por los aprovechamientos agrarios de secano, que multiplica por 4 a la de los cultivos de regadío (como se vio en el capítulo 6). En la misma línea, la exportación de agua virtual multiplica por algo más de 2, a la salida de agua que agrupa los efluentes del sistema de usos y del agua azul captada en el territorio (recogidos en la figura 21).

Por último, la ecuación de balance que iguala los recursos y empleos del agua virtual nos permite obtener, por saldo, el gasto final aparente de agua virtual (GFAAV) de la Comunidad de Madrid. En efecto, las importaciones de agua virtual (MAV), más el agua virtual añadida en la Comunidad de Madrid (AVA), deben igualar al gasto final aparente de agua virtual (GFAAV), más la exportación de agua virtual (XAV):

$$MAV + AVA = GFAAV + XAV$$

Por lo que:

$$GFAAV = MAV + AVA - XAV$$

Se observa que el gasto final de agua virtual, así estimado, se nutre solo en un 8 por ciento del agua virtual añadida en la propia Comunidad de Madrid, correspondiendo el resto a los productos importados, lo que resulta normal en una aglomeración urbana de este porte, con una disponibilidad territorial de solo 0,1 hectáreas por habitante (y solo 0,03 hectáreas de cultivo por habitante), con dotaciones relativamente escasas de agua y de recursos naturales en general.

7.8 Aproximación a la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid

Figura 23. Aproximación a la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid

Situación actual en año medio. Unidad hm^3

(AIU) Agua interna utilizada 1.114 hm^3 + (MNAV) Importación neta de agua virtual 8.591 hm^3 = (HH) Huella hidrológica 9.705

Estimación por habitante en 2005. Unidad m^3/habitante

(AIU) Agua interna utilizada 191 hm^3 + (MNAV) Importación neta de agua virtual 1.476 hm^3 = (HH) Huella hidrológica 1.667

Ecuación:	**AIU + MNAV= HH**	
Evidentemente:	**HH= GFAAV,**	al haber obtenido éste como saldo en la figura 22.
Al igual que:	**(AIU)= (AVA)**	al definirse el *agua virtual* de los bienes y servicios como la *utilizada* para su obtención restándole la contenida en los productos. Sin embargo, como es sabido, esta última cantidad puede despreciarse por considerarse poco significativa.

Fuente: Elaboración propia

La huella hidrológica (HH) resulta de agregar el agua interna utilizada (AIU) en la Comunidad de Madrid y el saldo neto de agua virtual importada (MNAV). Este agregado coincide formalmente con el gasto final aparente de agua virtual (GFAAV) recogido en la figura 22. En efecto, siendo: MNAV = MAV – XAV y AU = AVA, del balance de agua virtual formalizado en la figura 22, se desprende que:

$$GFAAV = HH = AIU + MNAV$$

Se observa, una vez más, el peso muy superior de la importación neta de agua virtual, frente al agua utilizada en el territorio de la Comunidad de Madrid: ésta explica solo el 11,4 por ciento de su huella hidrológica.

La huella hidrológica por habitante y año de la Comunidad de Madrid es de 1.667 metros cúbicos, descomponiéndose en 191 metros cúbicos, de agua real utilizada en la Comunidad y 1.476 de agua virtual neta importada. Si, para hacernos una idea más gráfica, transformamos estas cantidades anuales en términos per cápita diarios, tendremos una huella total de 4.566 litros por habitante y día, compuesta por 523 litros por habitante y día utilizados en el territorio y 4.043 adscritos a la importación neta de productos de fuera de la Comunidad. De esta cantidad, 9.217 hectómetros cúbicos podríamos calificarlos como huella hidrológica de origen agrario, 64 hectómetros cúbicos de origen industrial, y 423 hectómetros cúbicos procedentes del ámbito urbano y de servicios.

Tabla 44. Desglose de la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid, 2005

	hm^3	m^3/hab	Litros/hab/día
Agrícola	9.217	1.583	4.336
Industrial	64	11	30
Urbana y comercial	423	73	200
TOTAL	**9.704**	**1.667**	**4.566**
Importaciones de agua virtual	13.193	2.266	6.208
Exportaciones de agua virtual	4.601	790	2.163

Estos resultados contrastan en varios aspectos con los obtenidos para el conjunto del territorio español por Chapagain y Hoekstra (2004). Sin embargo, dadas las diferencias en las fuentes estadísticas manejadas y en algunos de los supuestos metodológicos empleados, ambas cifras no resultan estrictamente comparables. El razonamiento exhaustivo que justifica esta afirmación y explica las posibles discrepancias se encuentra, más adelante, en el Anexo 4.

7.9 Evolución temporal

En el presente trabajo se ha obtenido también información sobre los flujos físicos de agua y materiales que componen el metabolismo económico de la Comunidad de Madrid de forma completa para 1984-1995, para facilitar la comparación de dichos flujos y del agua virtual asociada a ellos, con los datos actuales que hemos venido comentando, centrados en 2005.

La tabla 45 recoge la evolución durante el largo período de la huella hidrológica total, mostrando que ésta ha aumentado en un 75 por ciento en el intervalo considerado.

Tabla 45. Evolución de la huella hidrológica total de la Comunidad de Madrid (hm^3)

Años	Agua interna utilizada (AIU) (1)	Importación neta de agua virtual (MNAV) (2)	Huella hidrológica (HH) (3) = (1) + (2)	Población (millones de habitantes)
1984	1.249	4.341	5.590	4,78
(%)	(22)	(78)	(100)	
2005	1.114	8.591	9.705	5,82
(%)	(11)	(88)	(100)	
Ratio: 2005/1984	**0,89**	**1,97**	**1,73**	**1,22**

Este aumento viene explicado por el crecimiento de la importación neta de agua virtual, que llega a duplicarse en el período, compensando la disminución que observa el agua utilizada en el territorio. Esta disminución se debe sobre todo a la reducción del agua asociada a la producción agraria madrileña (estudiada en el apartado 5.4) que compensó el aumento relativamente moderado del agua utilizada en los usos urbano-industriales[70]. La reducción del agua utilizada en el territorio de la Comunidad de Madrid resulta más marcada si se considera en términos per cápita (tabla 46). Pero la huella hidrológica total aumenta a mayor ritmo que la población, haciendo que aumente también la huella hidrológica per cápita, arrastrada por el fuerte crecimiento de la importación neta de agua virtual. Con todo, el aumento de la huella hidrológica, total y per cápita, es más moderado que el del requerimiento de materiales y energía de la Comunidad de Madrid, debido al peso tan determinante que tienen los alimentos en el cálculo del agua virtual, que crecen a menor ritmo que el resto de los componentes, habida cuenta su menor elasticidad de consumo respecto a la renta. Interesa, pues, profundizar en estos aspectos.

Tabla 46. Evolución de la huella hidrológica per cápita de la Comunidad de Madrid, (m^3 por habitante y año)

Años	Agua interna utilizada (AIU) (1)	Importación neta de agua virtual (MNAV) (2)	Huella hidrológica (HH) (3) = (1) + (2)
1984	261	908	1.169
2005	191	1.476	1.667
Ratio: 2005/1984	**0,73**	**1,62**	**1,42**

La tabla 47 refleja la importación neta de materiales en tonelaje y su correspondiente agua virtual, distinguiendo entre alimentos y bebidas y el resto, a fin de recordar la "asimetría físico-hídrica" acuñada en el apartado 6.2. Pues el peso, tan determinante, que tienen los alimentos en el agua virtual, contrasta con el peso mayoritario que tienen en el tonelaje comerciado los productos de actividades extractivas e industriales.

[70] Recordemos que el agua interna utilizada (AIU) en la Comunidad de Madrid sirve para estimar el agua virtual añadida (AVA) a los bienes y servicios generados en su territorio, como se indicó en el figura 7.3.

Tabla 47. Evolución del déficit de materiales y de agua virtual de la Comunidad de Madrid

Años	Materiales Millones de tm (1)	Agua virtual hm^3 (2)	Intensidad en agua virtual m^3/tm (3) = (2) / (1)
1984			
-Alimentos y bebidas	2,5	4.320	1.728,00
-Resto	14,0	21	1,50
TOTAL	**16,5**	**4.341**	**263,10**
2005			
-Alimentos y bebidas	4,5	8.580	1.906,60
-Resto	26,5	11	0,37
TOTAL	**31,1**	**8.591**	**276,20**

(Déficit = Importaciones - Exportaciones)

En efecto, mientras que los productos distintos de los alimentos y bebidas suponían, en los dos años considerados, cerca del 85 por ciento del déficit de materiales de la Comunidad de Madrid, en tonelaje apenas representaban entre el 0,5 y el 0,3 por ciento del agua virtual contenida en dicho déficit. También, se aprecia en este déficit un crecimiento ligeramente superior de los productos no agrarios en tonelaje, pero no ocurre lo mismo con el agua virtual, habida cuenta que ha aumentado la intensidad de agua virtual por tonelada de productos agrarios, a la vez que disminuía la del resto. Como consecuencia de ello, mientras el déficit de agua virtual del territorio casi se ha doblado en el período considerado, multiplicándose por 1,98, el déficit de materiales en tonelaje se multiplicó por 1,88.

El hecho de que el agua sea, con mucho, la principal materia prima en tonelaje que interviene en la fotosíntesis, lleva a magnificar el peso de los productos agrarios en las estimaciones del agua virtual, sugiriendo la conveniencia de relacionar este instrumento de análisis con otros que informen sobre el territorio y el metabolismo de los sistemas objeto de estudio desde perspectivas diferentes, como hemos tratado de hacer en este informe.

Anexos

ANEXO 1. Glosario de huella hidrológica y agua virtual

INTRODUCCIÓN AL GLOSARIO

Afortunadamente, el agua es una sustancia inequívocamente definida por su formulación química: H2O. El Diccionario de la Lengua de la Real Academia Española la define así: "sustancia cuyas moléculas están formadas por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno…". Buena parte de esta sustancia se encuentra en los mares, pero las actuales consideraciones hacen abstracción del agua marina. Así, cabe advertir que, aunque en el glosario se hable a veces de agua dulce, con el simple ánimo de referirse a las aguas interiores, excluyendo así el agua del mar de estas reflexiones y cómputos, se omitirá generalmente este adjetivo, presuponiendo esta exclusión e identificando agua con agua dulce.

En lo que sigue se define el agua virtual de un producto como "el volumen de agua usada en producir dicho producto". El agua virtual atribuida a los productos importados y consumidos en un territorio refleja, así, un consumo indirecto de agua, que recae sobre otros territorios. Una vez aclarado esto, una vez puesto el adjetivo virtual al agua así utilizada en un territorio, que puede proceder de otros territorios para obtener los productos consumidos en éste, ¿cómo cabe denominar al agua efectiva y directamente utilizada en el territorio objeto de estudio?: la denominaremos agua interna por contraposición a la virtual. Llamaremos, pues, agua interna al agua contenida o utilizada en el territorio objeto de estudio. Y, como se comenta en el primer capítulo de introducción metodológica, la disponibilidad y el uso del agua directamente asociada a un territorio -calificada de agua interna con el único propósito de no confundirla con el agua virtual- puede presentarse y registrarse en forma de cuentas de flujos y de stocks asociados al sistema del recurso o al sistema de usos. Cabe advertir, para evitar posibles confusiones, que tanto el agua interna como el agua virtual, son bien reales y se refieren ambas a la misma sustancia - H2O - antes mencionada. La diferencia estriba en que el agua interna se refiere a la contenida o utilizada en un territorio y el agua virtual a la utilizada en la obtención de determinados bienes y servicios, que pueden ser utilizados en ese territorio procediendo de otros.

Glossary on Water Footprint and Virtual Water
A. Y. Hoeskstra and A.K. Chapagain
UNESCO-IHE Institute for Water Education
Noviembre de 2004

HUELLA HIDROLÓGICA - Water footprints

Huella hidrológica: La huella hidrológica de una persona, empresa o nación define el volumen total de agua dulce que es usada para producir los alimentos y servicios consumidos por dicha persona, empresa o nación. Una huella hidrológica es generalmente expresada como agua usada en términos de volumen por año.

Huella hidrológica de una nación: La huella hidrológica de una nación define la cantidad total de agua dulce que es usada para producir todos los bienes y servicios consumidos por los habitantes de dicha nación. La huella hidrológica nacional puede ser evaluada de dos maneras:

> (1) Una aproximación superior que considera la suma de todos los bienes y servicios consumidos multiplicados por sus respectivos contenidos virtuales de agua. Hay que resaltar que el consumo de agua virtual para un consumo particular puede variar en función del lugar y las condiciones de producción.
>
> (2) Una aproximación inferior que considera la suma de todos los recursos de agua de uso doméstico más la importación neta de agua virtual.

Huella hidrológica de una persona: La huella hidrológica de una persona individual define el agua usada para producir el total de bienes y servicios consumidos por dicha persona individual.

Huella hidrológica verde vs. azul: La huella hidrológica total de una nación o de una persona individual consta de dos componentes: la huella hidrológica azul y la verde.

> La huella hidrológica azul define el volumen de agua extraída desde el sistema de recurso global, integrado por las aguas superficiales y las subterráneas, para satisfacer la demanda de bienes y servicios consumidos por la nación o la persona individual.
>
> La huella hidrológica verde define el volumen de agua del sistema de recurso de agua verde global (agua almacenada en el suelo como humedad del suelo) que es usado para satisfacer la demanda de bienes y servicios.

Huella hidrológica interior y exterior[71]. La huella hidrológica total de un país incluye dos componentes:

> (1) La huella hidrológica interior, que procede de los recursos de agua del interior del país
>
> (2) La huella hidrológica exterior, que procede de los recursos de agua de y a otros países del mundo.

AGUA VIRTUAL - Virtual water

Contenido de agua virtual: El contenido de agua virtual de un producto define el volumen de agua usado para producir dicho producto, medido en el lugar donde dicho producto es consumido (definición específica de sitio de consumo). En nuestros estudios utilizamos el concepto de definición específica de sitio de producción. El adjetivo virtual se refiere al hecho de que la mayor parte del agua usada para producir un producto no está contenida en el producto final. El contenido real de agua es generalmente despreciable comparado con el contenido de agua virtual.

Agua virtual exportada: El agua virtual exportada desde un país o una región define el volumen de agua virtual asociada a los bienes y servicios exportados desde dicho país o región. Es el volumen total de agua requerida para producir los productos exportados.

Agua virtual importada: El agua virtual importada por un país o una región define el volumen de agua virtual asociada a los bienes y servicios importados por dicho país o región desde el exterior. Es el volumen total de agua requerida para producir en los países o regiones de exportación los productos importados por el país o región objeto de análisis. Mirada desde el país de importación, esta agua puede ser vista como una fuente adicional de agua que entra como recurso de agua disponible.

Flujo de agua virtual: El flujo de agua virtual entre dos naciones o regiones es el volumen de agua virtual que está siendo transferida desde un lugar al otro como resultado de la fabricación de los productos.

Balance de agua virtual: El balance de agua virtual de un país dentro de un periodo de tiempo define la importación neta de agua virtual en dicho periodo de tiempo, siendo igual a la diferencia entre las importaciones brutas y las exportaciones brutas. Un balance negativo supone un flujo neto de exportación de agua virtual.

---

[71] Interior y exterior se refieren al territorio. Interno y externo se refieren al sistema de recursos de agua.

ESCASEZ DE AGUA, AUTOSUFICIENCIA DE AGUA Y DEPENDENCIA DE LA IMPORTACIÓN DE AGUA - Water scarcity, water self-sufficiency and water dependency

Escasez de agua: La escasez de agua es a menudo definida por el cociente entre las extracciones actuales de agua y los recursos disponibles de agua renovable. Esta definición es orientativa y resulta útil desde la perspectiva de la producción. En este estudio, la escasez de agua es definida como el cociente entre la huella hidrológica total de un país o región y el total de los recursos de agua renovable. La escasez nacional de agua puede ser más del 100 por ciento cuando la nación consume más agua que la disponible.

Autosuficiencia de agua: La autosuficiencia de agua es a menudo definida por el cociente entre la huella hidrológica interior y la huella hidrológica total del país o región. La autosuficiencia de agua denota la capacidad nacional para suministrar el agua necesaria para la producción de bienes y servicios capaces de satisfacer su demanda. Una autosuficiencia del 100 por ciento en un país significa que toda el agua necesaria para la producción de bienes y servicios capaces de satisfacer su demanda está disponible en el territorio interior del propio país. Una autosuficiencia cercana a 0 por ciento significa que la satisfacción de la demanda de bienes y servicios en un país es muy dificultosa y el agua virtual necesaria es casi toda de importación.

Dependencia del agua importada: Los países que importan agua virtual registran una dependencia de los recursos de agua disponible en otras partes del mundo. La dependencia del agua virtual importada por un país o región es definida por el cociente entre la huella hidrológica exterior de dicho país o región y la huella hidrológica total de dicho país o región.

AHORRO DE AGUA EN EL COMERCIO INTERNACIONAL

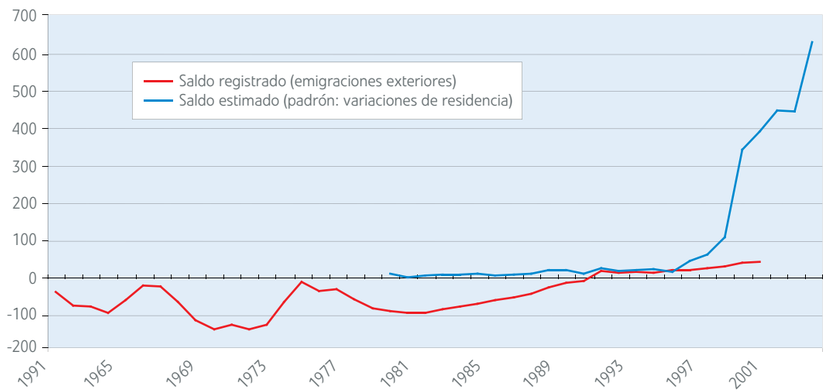
Ahorro de agua de una nación: Una nación puede ahorrar agua si importa productos que consumen mucha agua virtual en vez de producirlos en su interior.

Ahorro de agua global: El comercio internacional puede ahorrar agua a nivel global (mundial) si las mercancías de consumo intenso de agua son transportadas desde un área donde se produce con una alta productividad en términos de consumo de agua (resultando productos de bajo contenido en agua virtual) a otro área de menor productividad en términos de agua.

ANEXO 2. Nota metodológica sobre la población de la Comunidad de Madrid y la población abastecida por el Canal de Isabel II

Las estadísticas demográficas han venido apoyándose desde antiguo en las operaciones censales y en los padrones y registros de población que recogían el movimiento natural y migratorio de la población aportando informaciones de calidad. Sin embargo, en los últimos tiempos, la masiva afluencia de inmigrantes extranjeros buscando legalizar su residencia ha venido a forzar los registros de entrada en el padrón municipal, sin que las bajas se comunicaran con igual empeño y solvencia que las altas. Los registros patronales arrojaban así un máximo de población difícil de depurar, sobre todo cuando la última operación censal de 2001 utilizó el padrón como plantilla a confirmar, en vez de acometer la toma de datos censales de modo independiente, como se había hecho con anterioridad. La figura A.1 denota la discrepancia que se observa entre la inmigración neta legalizada, que minimiza el aumento del número de inmigrantes, y las altas en el padrón, que lo magnifican, al no estar bien registradas las bajas.

Figura A.1. Balance migratorio de la economía española (saldos anuales en miles de personas)



Fuente: Naredo, J.M., *Raíces económicas del deterioro ecológico y social*, Siglo XXI, Madrid 2006, pág. 249

Para resolver el problema indicado, el INE inició un proceso de revisión de los datos de los inmigrantes que no habían renovado su inscripción padronal cuando debían. Este proceso llevó al INE a depurar a la baja las cifras de población de los padrones municipales, en contra del empeño usual de los municipios, interesados en aumentarla. Este proceso de depuración ha de tenerse muy en cuenta en la Comunidad de Madrid, en la que la presencia de inmigrantes es muy superior a la media del país. La tabla A.1 compara las cifras de población de la Comunidad de Madrid con las corregidas por el INE depurando los saltos del padrón. La corrección resulta significativa en los últimos cinco años, en los que la reducción de la población anual alcanza entre uno y tres puntos porcentuales, representando solo décimas de punto el resto del período considerado.

Tabla A.1. Estimaciones de población de la Comunidad de Madrid

Años	Estimaciones de la Comunidad de Madrid apoyadas en el Padrón (1)	Nuevas estimaciones corregidas del INE (2)	Ratio: Población Padrón/Población INE (1) / (2)
1981	4.687.083	4.679.696	1,001578521
1986	4.780.572	4.835.649	0,988610216
1991	4.947.555	4.946.904	1,000131597
1996	5.022.289	5.055.266	0,993476703
1998	5.091.336	5.095.698	0,999143984
1999	5.145.325	5.128.470	1,003286555
2000	5.205.408	5.185.931	1,003755738
2001	5.372.433	5.274.180	1,018629057
2002	5.527.152	5.426.248	1,018595538
2003	5.718.942	5.573.313	1,026129701
2004	5.804.829	5.705.620	1,017387944
2005	5.964.143	5.821.054	1,024581287
2006	6.008.183	5.938.391	1,011752678

Suponiendo que la corrección a la baja de la población se distribuye por igual entre los municipios de la Comunidad de Madrid, se ha corregido la población de los municipios distribuidos por el Canal de Isabel II, para evitar que la población artificialmente inflada por los accidentes estadísticos antes mencionados, sesgue a la baja las dotaciones y consumos per cápita de agua. La tabla A.2 presenta la población originaria de los municipios abastecidos por el Canal de Isabel II y la población corregida aplicando los ratios de la tabla A.1.

Tabla A.2. Población abastecida por el Canal de Isabel II

Año	Población abastecida por el Canal de Isabel II	Población abastecida por el Canal de Isabel II (corregida)
1984	4.449.418	4.442.406
1986	4.482.484	4.534.127
1991	4.701.202	4.700.583
1996	4.777.167	4.808.534
1997	4.859.700	4.859.642
1998	4.940.157	4.944.389
1999	5.021.008	5.004.560
2000	5.114.470	5.095.333
2001	5.204.798	5.109.611
2002	5.287.440	5.190.912
2003	5.498.350	5.358.338
2004	5.581.798	5.486.401
2005	5.740.073	5.602.360
2006	5.883.575	5.815.230

Fuente: Elaboración propia
(Datos originales y corregidos atendiendo a la nueva serie de población)

Tabla A.3. Porcentaje de población de la Comunidad de Madrid abastecida por el Canal de Isabel II

Años	Población de la Comunidad de Madrid (corregida)	Población abastecida por el Canal de Isabel II (corregida)	% Población abastecida (corregida)
1984	4.782.471	4.442.406	93,0
1986	4.835.649	4.534.127	92,7
1991	4.946.904	4.700.583	95,0
1996	5.055.266	4.808.534	94,5
1997	5.075.186	4.859.642	95,8
1998	5.095.698	4.944.389	96,9
1999	5.128.470	5.004.560	97,9
2000	5.185.931	5.095.333	98,3
2001	5.274.180	5.109.611	96,9
2002	5.426.248	5.190.912	95,7
2003	5.573.313	5.358.338	96,1
2004	5.705.620	5.486.401	96,2
2005	5.821.054	5.602.360	96,2
2006	5.938.391	5.815.230	97,9

Fuente: Ibid

ANEXO 3. Régimen de humedad del suelo

El régimen de humedad del suelo define su reserva de humedad (R) a lo largo del año, teniendo en cuenta que la disponibilidad para las plantas disminuye a medida que el suelo tiene menos agua y esta se encuentra a mayor profundidad. En nuestro análisis no se consideran las transferencias de agua desde un suelo a otro, por lo que el régimen de humedad del suelo a nivel de parcela y con carácter ecológico depende de los aportes por precipitación (P) y las extracciones por evapotranspiración (ET).

El modelo del agotamiento exponencial describe con fines hidrológicos el régimen de humedad del suelo con suficiente aproximación. En este modelo, la variación de la reserva respecto al tiempo en un momento dado es proporcional a la reserva existente en dicho momento, según la ecuación siguiente:

$$\frac{dR}{dt} = -K \cdot R$$

Donde k define el coeficiente de consumo, el cual depende de las condiciones iniciales y de frontera, dadas por la evapotranspiración potencial anual y la capacidad de reserva máxima del suelo. Integrando se obtiene:

$$R = Rmáx \cdot e^{-\frac{ETPth}{Rmáx}}$$

Donde se ha considerado el tiempo en unidades de evapotranspiración potencial:

$$k\,t \approx \frac{ETPth}{Rmáx}$$

Dada la finalidad hidrológica, la evapotranspiración potencial se ha calculado por el método de Thornthwaite (ETPth) y la capacidad de reserva máxima (Rmáx), que depende de la retentividad del suelo, se ha estimado en 200 milímetros con fines zonales y ecológicos generales. El modelo aplicado, mes a mes, permite obtener el estado de humedad del suelo (R), la evapotranspiración real (ETR), la falta mensual de agua (F), el exceso (Ex) y un parámetro que estima el desagüe (Ds).

$$F = ETPth - ETR$$
$$Ex = P - ETPth - dR_i$$

Donde dRi define la variación de la reserva en el mes (i) respecto a la capacidad máxima de reserva, la cual depende de la reserva al final del mes anterior (Ri-1).

$$dR_i = R\max - R_{i-1}$$

El parámetro Ds estima el desagüe teniendo en cuenta el exceso del mes (i) y el desagüe producido en el mes anterior (i-1), resultando:

$$Ds_i \approx \frac{Ex_i + Ds_{(i-1)}}{2}$$

Es evidente que el desagüe es igual a la precipitación (Ds = P) en caso de suelo impermeable, por ejemplo el suelo sellado por construcciones urbanas e infraestructuras.

El modelo se ha aplicado en un conjunto de estaciones meteorológicas (tabla A.4) seleccionadas en función de su representatividad territorial, habiéndose comprobado que en la Comunidad de Madrid la altitud del terreno es el factor más significativo a causa de su influencia tanto en la temperatura como en la precipitación.

Tabla A.4. Observatorios meteorológicos

Código	Observatorio meteorológico	Altitud (m)	Latitud
3342	Villa del Prado/Picadas	523	40,781
3169	Alcalá de Henares/La Canaleja	600	40,516
3117	Talamanca del Jarama	654	40,746
3196	Madrid/Aeródromo de Cuatro Vientos	687	40,378
3191	Colmenar Viejo	879	40,657
3191E	Colmenar Viejo/FAMET	1.004	40,699
3185	Embalse de Navacerrada	1.140	40,715
3264I	Embalse de Navalmedio	1.280	40,747
2462	Navacerrada/Puerto	1.890	40,781

El modelo se ha aplicado en suelos con capacidad de reserva de agua útil de 200, 150, 100 y 50 milímetros, según se expone en las tablas y figuras del final del presente anexo. Los resultados (tabla A.5) revelan la influencia que tiene la capacidad de reserva máxima de agua útil del suelo, de manera que el agua azul o libre aumenta al tiempo que disminuye el agua verde o ligada. El estado de erosión del suelo en la Comunidad de Madrid es un parámetro que influye en el agua azul como consecuencia de la disminución de la capacidad máxima de reserva de agua útil, que es la retenida a succiones entre 33 y 1.500 kilopascales. El menor valor de la succión corresponde a la retención compatible con el drenaje libre del agua una vez superada la capacidad de reserva máxima de los suelos permeables. El mayor valor de la succión corresponde a la retención que no puede ser extraída por las raíces en cuyo caso las plantas se marchitan permanentemente.

El agua azul máxima corresponde al suelo impermeable y alcanza una cifra entre 13.299 $m^3\ ha^{-1}$ a la altura de Navacerrada (1.890 metros) y 5.211 $m^3\ ha^{-1}$ en Villa del Prado (523 metros). A medida que aumenta la capacidad de reserva del suelo y la evapotranspiración, disminuye el agua azul disponible, con valores que van desde los 8.857 $m^3\ ha^{-1}$ en Navacerrada (Desagüe 7.880 $m^3\ ha^{-1}$) y solo 169 $m^3 ha^{-1}$ en Villa del Prado (Desagüe 150 $m^3\ ha^{-1}$). El exceso es más que suficiente para atender a las necesidades de evapotranspiración potencial en el caso de Navacerrada (569 $m^3\ ha^{-1}$), pero es claramente insuficiente para atenderlas en el caso de Villa del Prado (3.465 $m^3\ ha^{-1}$), donde el regadío necesita recursos exógenos. El estado de humedad del suelo influye en el estado de humedad de la vegetación y en su susceptibilidad de desencadenar episodios catastróficos de fuego.

Tabla A.5. **Balance exponencial de la humedad del suelo en función de la reserva de agua útil**

Código	Altitud (m)	Tm (°C)	P (mm)	ETPth (mm)	Rmáx (mm)	ETR (mm)	F (mm)	E (mm)	D (mm)
2462	1890	6,4	1329,9	501,1	200	444,2	56,9	885,7	788
					150	431,2	69,9	898,7	801
					100	410,2	90,9	919,7	823
					50	376,2	124,9	953,7	858
3264I	1280	9,9	1013,6	616,8	200	498,3	118,6	515,3	468
					150	475,3	141,6	538,3	492
					100	444,3	172,6	569,3	524
					50	401,3	215,6	612,3	567
3185	1140	11,0	782,1	654,9	200	490,2	164,7	291,9	266
					150	462,2	192,7	319,9	292
					100	425,2	229,7	356,9	331
					50	379,2	275,7	402,9	376
3191E	1004	13,2	544,1	727,1	200	505,0	222,1	39,1	31
					150	472,0	255,1	72,1	61
					100	431,0	296,1	113,1	102
					50	383,0	344,1	161,1	148
3191	879	12,5	673,2	710,3	200	499,5	210,9	173,7	139
					150	467,5	242,9	205,7	171
					100	427,5	282,9	245,7	210
					50	379,5	30,9	293,7	256
3196	687	14,2	460,5	768,2	200	460,5	307,7	0,0	0
					150	459,3	308,8	1,1	1
					100	415,3	352,8	45,1	40
					50	366,3	401,8	94,1	87
3117	654	13,8	484,3	754,7	200	484,3	270,0	0,0	0
					150	461,6	293,1	22,7	18
					100	418,6	336,1	66,7	57
					50	369,6	385,1	114,7	103

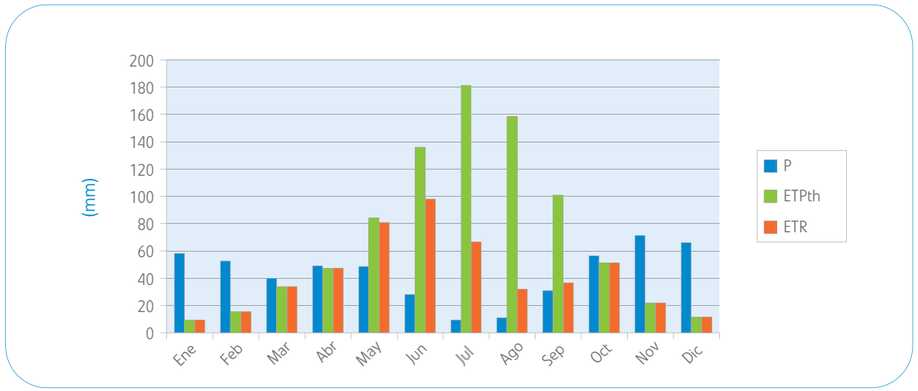
Continúa en la página siguiente

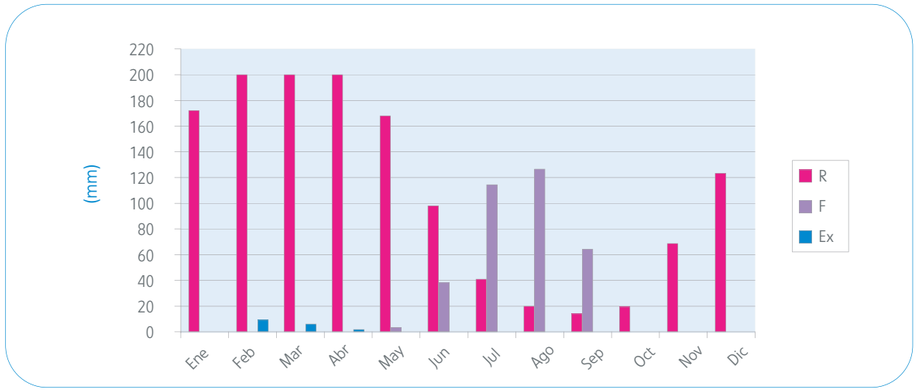
Tabla A.5. **Continuación**

Código	Altitud (m)	Tm (°C)	P (mm)	ETPth (mm)	Rmáx (mm)	ETR (mm)	F (mm)	E (mm)	D (mm)
3169	600	13,8	441,6	754,6	200	441,6	313,0	0,0	0
					150	441,6	313,0	0,0	0
					100	420,7	333,9	20,9	18
					50	371,7	382,9	69,9	65
3342	523	15,7	521,1	850,7	200	504,2	346,5	16,9	15
					150	464,2	386,5	56,9	50
					100	418,2	432,5	102,9	93
					50	368,2	482,5	152,9	140

Villa del Prado - Picadas

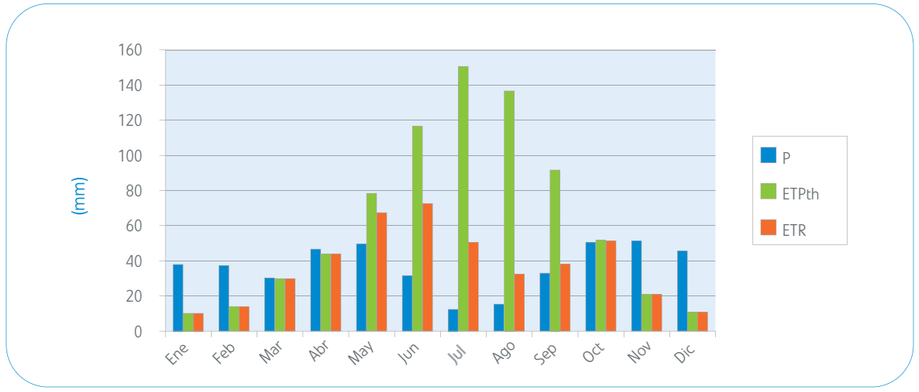
Cod	3342			Alt	523			Lat	40,33			Rmáx	200
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	6,1	8,2	11,6	13,4	17,7	23,5	27,4	26,6	22,0	15,4	10,1	7,0	15,7
P	58,1	52,6	40,0	48,9	48,7	28,0	9,5	10,9	30,6	56,5	71,4	66,0	521,1
ETPth	9,4	15,4	33,9	47,2	84,0	136,0	180,9	158,4	100,8	51,3	21,9	11,5	850,7
R	171,9	200,0	200,0	200,0	168,0	98,0	41,0	20,0	14,0	19,3	68,8	123,2	
ETR	9,4	15,4	33,9	47,2	80,7	98,0	66,5	31,9	36,6	51,3	21,9	11,5	504,2
F	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	38,0	114,5	126,6	64,2	0,0	0,0	0,0	346,5
Ex	0,0	9,1	6,1	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,9
Ds	0,0	5,0	6,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0

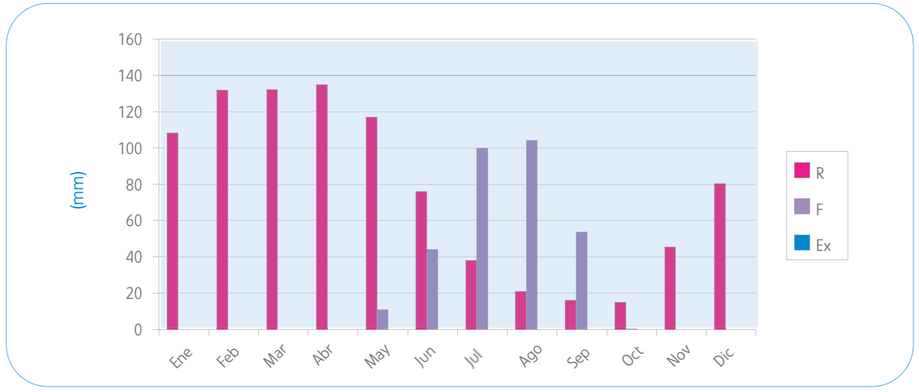




Alcalá de Henares - La Canaleja

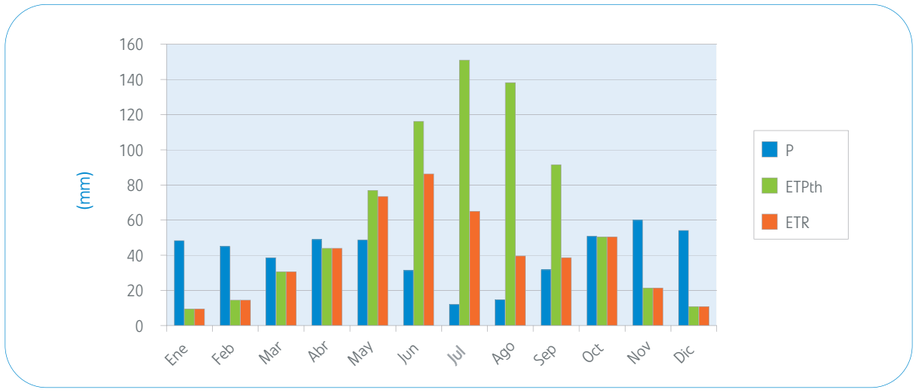
Cod	3169			Alt	600			Lat	40,52			Rmáx	200
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	5,2	6,4	9,4	11,5	15,8	20,7	24,3	23,9	20,0	14,3	8,5	5,4	13,8
P	38,0	37,4	30,2	46,7	49,5	31,6	12,5	15,4	33,0	50,3	51,3	45,7	441,6
ETPth	10,1	13,8	29,9	44,0	78,3	116,6	150,3	136,5	91,7	51,7	20,9	10,7	754,6
R	108,3	131,9	132,2	134,9	117,0	76,0	38,0	21,0	16,0	15,0	45,4	80,4	
ETR	10,1	13,8	29,9	44,0	67,4	72,6	50,5	32,4	38,0	51,3	20,9	10,7	441,6
F	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9	44,0	99,9	104,2	53,7	0,4	0,0	0,0	313,0
Ex	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ds	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

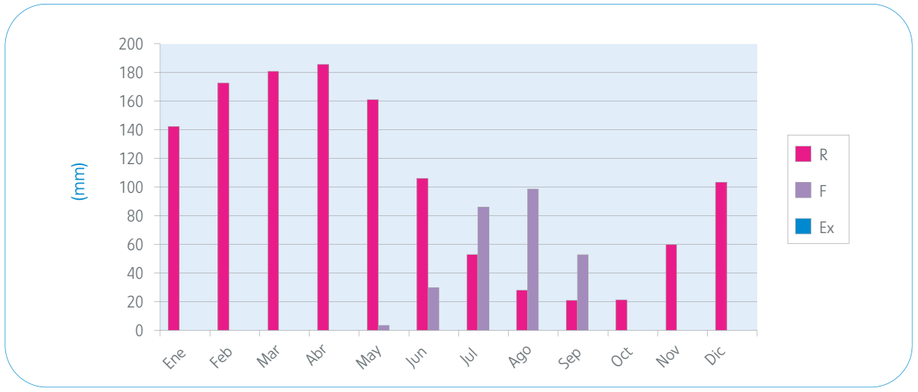




Talamanca del Jarama

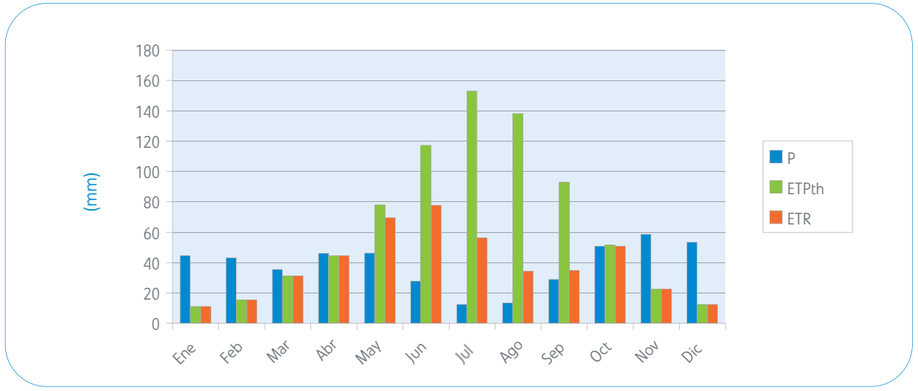
Cod	3117			Alt	654			Lat	40,75			Rmáx	200
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	4,9	6,6	9,5	11,5	15,6	20,6	24,4	24,1	19,9	14,0	8,6	5,5	13,8
P	48,4	45,0	38,7	48,9	48,8	31,3	12,0	14,6	31,7	50,8	59,9	54,1	484,3
ETPth	9,5	14,6	30,6	44,0	76,9	116,1	150,9	138,2	91,4	50,5	21,3	10,7	754,7
R	142,3	172,7	180,8	185,7	161,0	106,0	53,0	28,0	21,0	21,3	59,9	103,4	
ETR	9,5	14,6	30,6	44,0	73,5	86,3	65,0	39,6	38,7	50,5	21,3	10,7	484,3
F	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	29,8	85,9	98,6	52,8	0,0	0,0	0,0	270,4
Ex	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ds	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

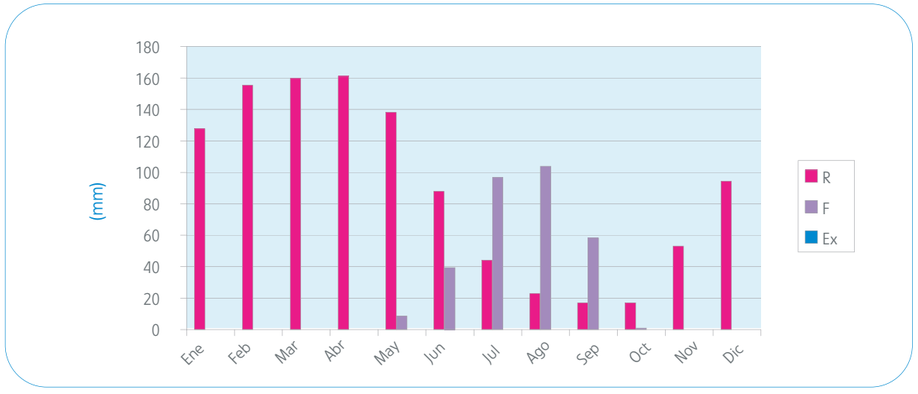




Madrid - Aeródromo de Cuatro Vientos

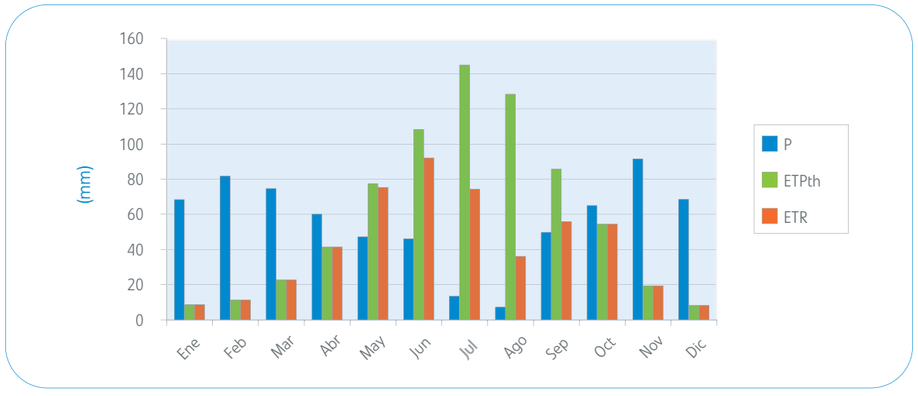
Cod	3196			Alt	687			Lat	40,38			Rmáx	200
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	5,7	7,1	9,9	11,9	16,0	20,9	24,7	24,2	20,3	14,5	9,2	6,2	14,2
P	44,6	43,1	35,4	46,1	46,2	27,8	12,4	13,3	28,8	50,7	58,7	53,3	460,5
ETPth	11,1	15,3	31,2	44,6	78,1	117,2	153,1	138,2	93,0	51,6	22,5	12,3	768,2
R	127,6	155,4	159,6	161,1	138,0	88,0	44,0	23,0	17,0	17,0	53,2	94,2	
ETR	11,1	15,3	31,2	44,6	69,3	77,8	56,4	34,3	34,8	50,7	22,5	12,3	460,5
F	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	39,5	96,7	103,8	58,1	0,9	0,0	0,0	307,7
Ex	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ds	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

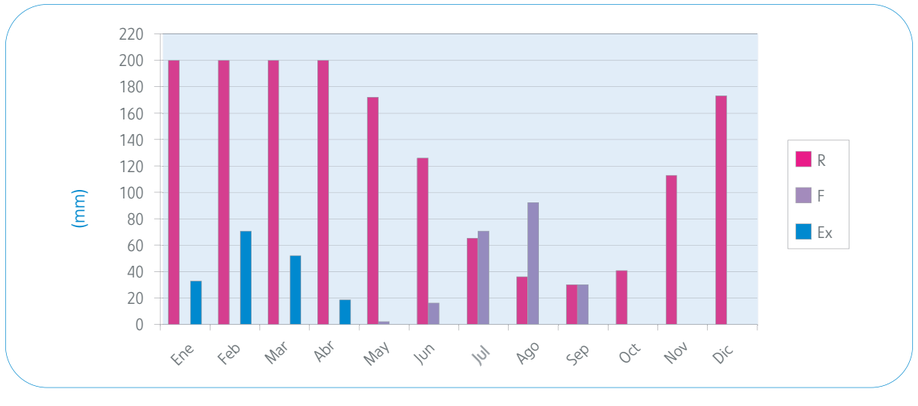




Colmenar Viejo

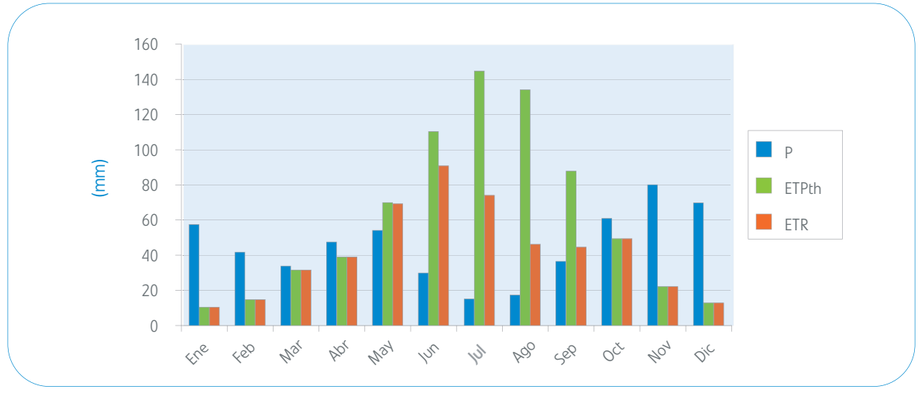
Cod	3191			Alt	879			Lat	40,66			Rmáx	200
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	4,0	4,9	7,0	10,3	15,0	19,1	23,5	22,6	18,5	14,1	7,3	3,9	12,5
P	68,3	81,7	74,6	60,0	47,3	46,1	13,3	7,1	49,8	65,0	91,5	68,5	673,2
ETPth	8,7	11,3	22,7	41,5	77,3	108,2	144,9	128,3	85,8	54,4	19,3	8,1	710,3
R	200,0	200,0	200,0	200,0	172,0	126,0	65,0	36,0	30,0	40,6	112,8	173,1	
ETR	8,7	11,3	22,7	41,5	75,3	92,1	74,3	36,1	55,8	54,4	19,3	8,1	499,5
F	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	16,1	70,6	92,1	30,0	0,0	0,0	0,0	210,9
Ex	32,8	70,5	52,0	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	173,8
Ds	16,0	43,0	47,0	33,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	139,0

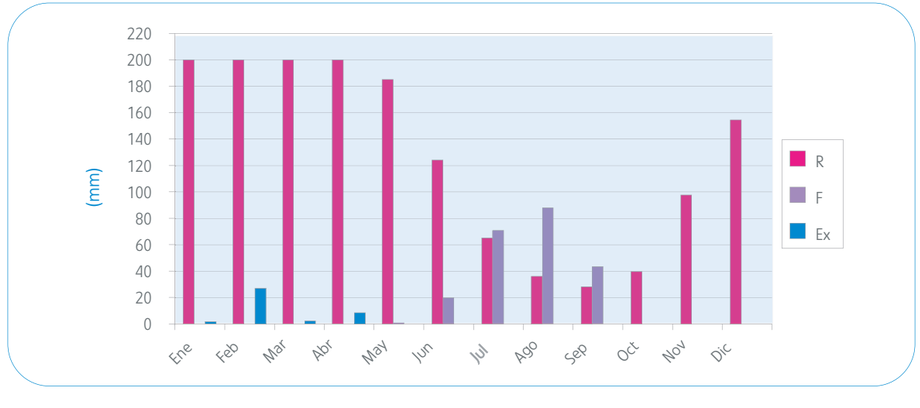




Colmenar Viejo - FAMET

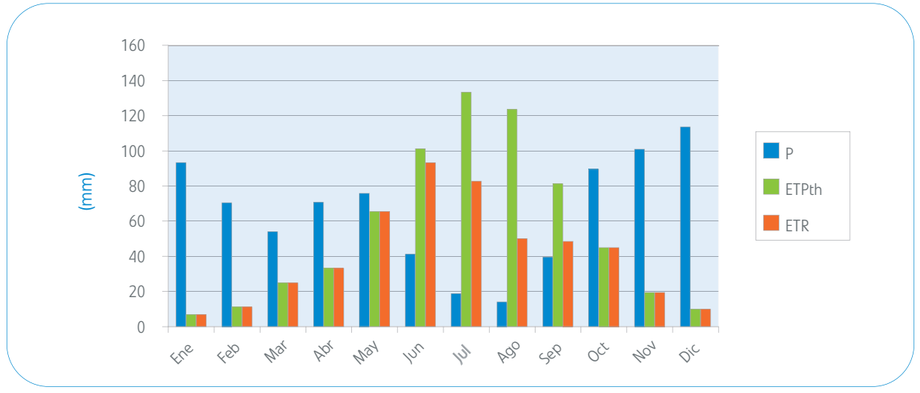
Cod	3191E			Alt	1004			Lat	40,7			Rmáx	200
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	4,9	6,3	9,3	10,2	14,2	19,6	23,6	23,5	19,1	13,4	8,4	5,8	13,2
P	57,5	41,7	33,8	47,4	54,2	29,8	15,0	17,3	36,5	60,9	80,1	69,7	544,1
ETPth	10,4	14,7	31,6	39,1	69,9	110,4	144,8	134,1	87,8	49,3	22,2	12,8	727,1
R	200,0	200,0	200,0	200,0	185,0	124,0	65,0	36,0	28,0	39,6	97,5	154,4	
ETR	10,4	14,7	31,6	39,1	69,2	90,8	74,0	46,3	44,5	49,3	22,2	12,8	505,0
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	19,6	70,7	87,8	43,2	0,0	0,0	0,0	222,1
Ex	1,5	27,0	2,2	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,2
Ds	1,0	14,0	8,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,0

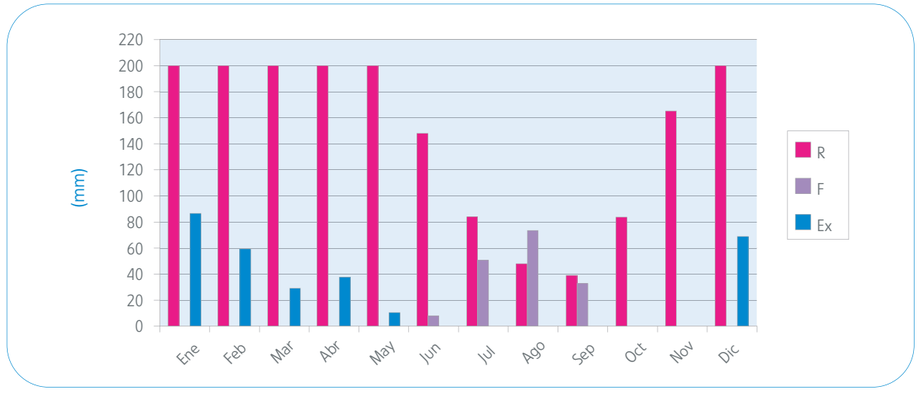




Embalse de Navacerrada

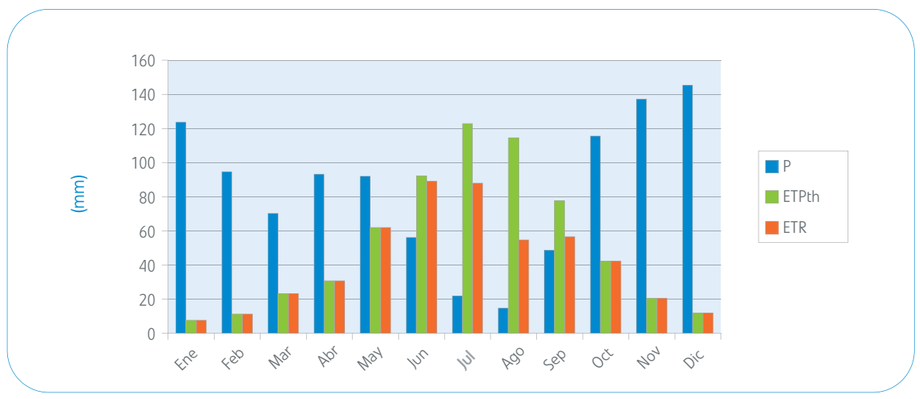
Cod	3185			Alt	1140			Lat	40,72			Rmáx	200
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	2,7	4,0	6,5	7,7	12,2	17,4	21,6	21,5	17,0	11,2	6,3	3,7	11,0
P	93,4	70,5	54,0	70,7	75,8	41,2	18,7	14,1	39,6	89,6	100,9	113,6	782,1
ETPth	6,8	11,2	24,8	33,1	65,4	101,2	133,4	123,6	81,2	44,9	19,4	9,9	655,0
R	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	148,0	84,0	48,0	39,0	83,7	165,2	200,0	
ETR	6,8	11,2	24,8	33,1	65,4	93,2	82,7	50,1	48,6	44,9	19,4	9,9	490,2
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	50,6	73,5	32,7	0,0	0,0	0,0	164,7
Ex	86,6	59,4	29,1	37,6	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	68,9	291,9
Ds	60,0	60,0	45,0	41,0	26,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,0	266,0

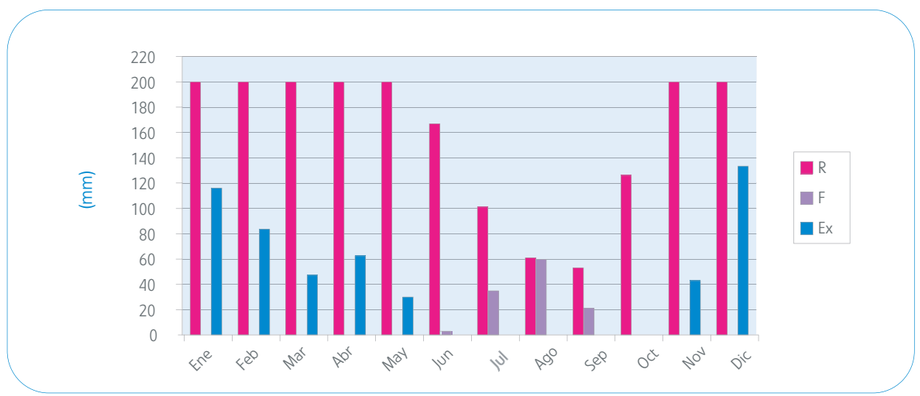




Embalse de Navalmedio

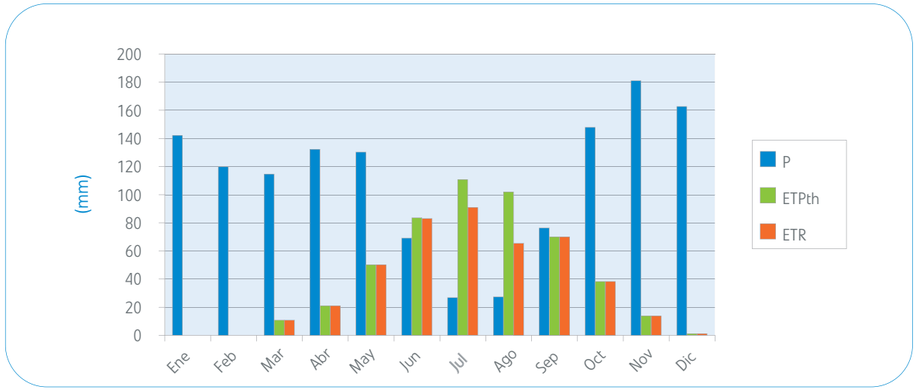
Cod	3264I			Alt	1280			Lat	40,75			Rmáx	200
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	2,4	3,4	5,4	6,4	10,9	15,4	19,7	19,7	15,7	9,8	5,8	3,7	9,9
P	123,7	94,7	70,3	93,2	92,0	56,1	22,0	14,8	48,7	115,5	137,2	145,2	1.013,6
ETPth	7,7	11,3	23,2	30,8	62,0	92,1	122,9	114,5	77,7	42,3	20,5	11,9	616,8
R	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	167,0	101,0	61,0	53,0	126,3	200,0	200,0	
ETR	7,7	11,3	23,2	30,8	62,0	89,1	88,0	54,8	56,7	42,3	20,5	11,9	498,3
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	34,9	59,7	21,0	0,0	0,0	0,0	118,6
Ex	116,0	83,5	47,1	62,4	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,0	133,3	515,3
Ds	97,0	90,0	69,0	66,0	48,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	77,0	468,0

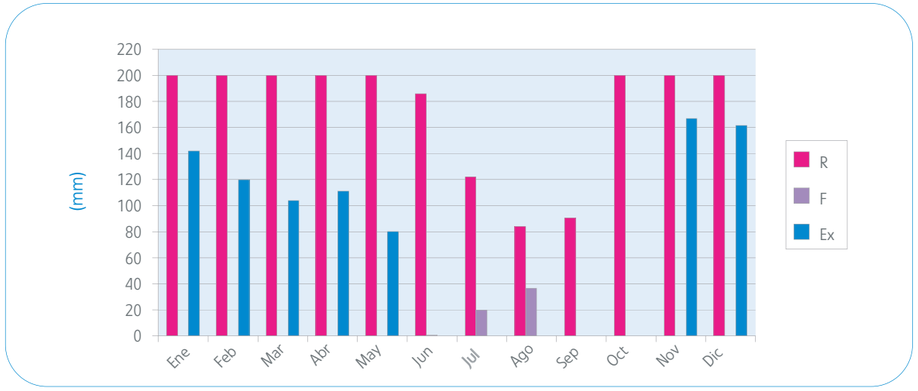




Puerto de Navacerrada

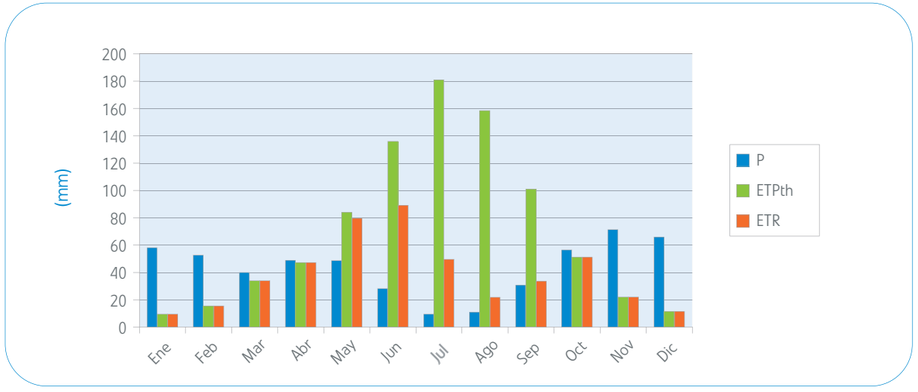
Cod 2462				Alt 1890				Lat 40,78				Rmáx 200	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	-0,7	-0,3	1,5	2,9	6,8	12,1	16,3	16,1	12,3	6,8	2,6	0,1	6,4
P	142,1	119,8	114,6	132,2	130,2	69,0	26,8	27,4	76,3	147,8	180,9	162,7	1.329,9
ETPth	0,0	0,0	10,8	21,0	50,0	83,5	110,7	101,9	70,0	38,3	13,8	1,0	501,1
R	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	186,0	122,0	84,0	90,3	199,9	200,0	200,0	
ETR	0,0	0,0	10,8	21,0	50,0	83,0	90,8	65,4	70,0	38,3	13,8	1,0	444,2
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	19,9	36,5	0,0	0,0	0,0	0,0	56,9
Ex	142,1	119,8	103,8	111,2	80,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	167,0	161,6	885,7
Ds	132,0	126,0	115,0	113,0	97,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,0	122,0	788,0

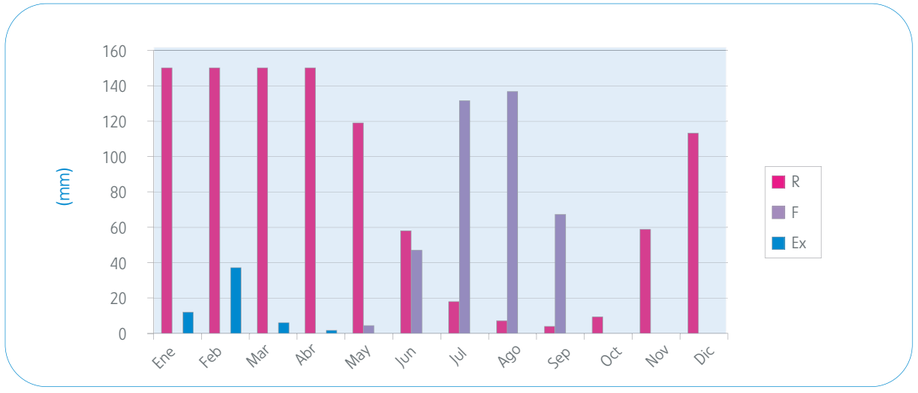




Villa del Prado - Picadas

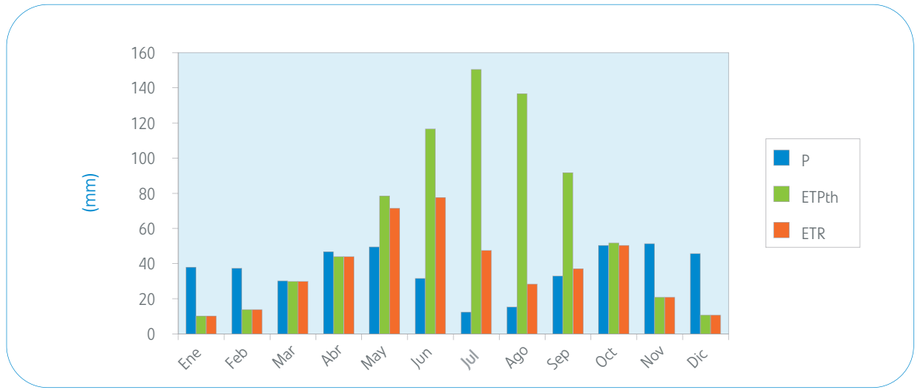
Cod 3342				Alt 523				Lat 40,33				Rmáx 150	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	6,1	8,2	11,6	13,4	17,7	23,5	27,4	26,6	22,0	15,4	10,1	7,0	15,7
P	58,1	52,6	40,0	48,9	48,7	28,0	9,5	10,9	30,6	56,5	71,4	66,0	521,1
ETPth	9,4	15,4	33,9	47,2	84,0	136,0	180,9	158,4	100,8	51,3	21,9	11,5	850,7
R	150,0	150,0	150,0	150,0	119,0	58,0	18,0	7,0	4,0	9,3	58,8	113,2	
ETR	9,4	15,4	33,9	47,2	79,7	89,0	49,5	21,9	33,6	51,3	21,9	11,5	464,2
F	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	47,0	131,5	136,6	67,2	0,0	0,0	0,0	386,5
Ex	11,9	37,2	6,1	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,9
Ds	6,0	22,0	14,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0

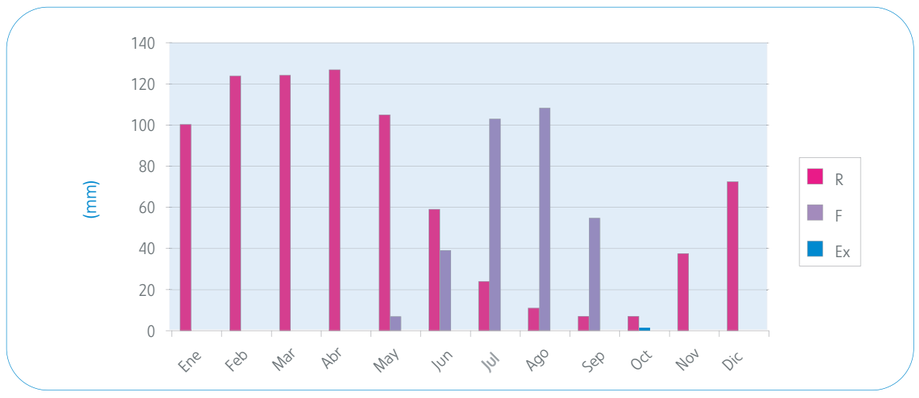




Alcalá de Henares - La Canaleja

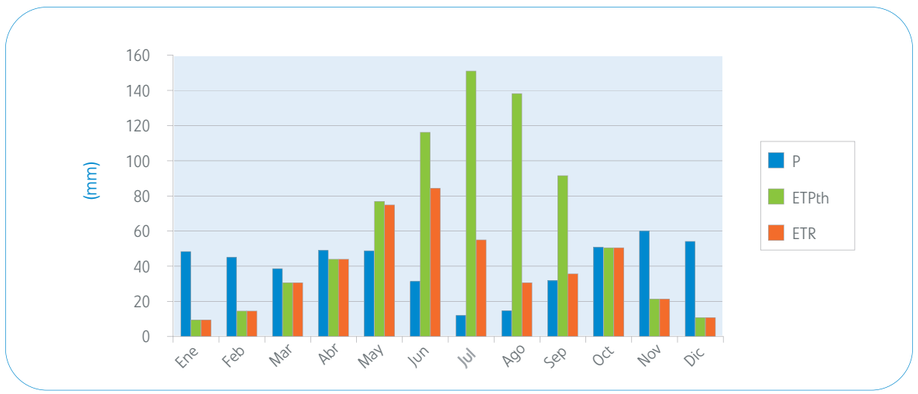
Cod	3169			Alt	600			Lat	40,52			Rmáx	150
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	5,2	6,4	9,4	11,5	15,8	20,7	24,3	23,9	20,0	14,3	8,5	5,4	13,8
P	38,0	37,4	30,2	46,7	49,5	31,6	12,5	15,4	33,0	50,3	51,3	45,7	441,6
ETPth	10,1	13,8	29,9	44,0	78,3	116,6	150,3	136,5	91,7	51,7	20,9	10,7	754,6
R	100,3	123,9	124,2	126,9	105,0	59,0	24,0	11,0	7,0	7,0	37,4	72,4	
ETR	10,1	13,8	29,9	44,0	71,4	77,6	47,5	28,4	37,0	50,3	20,9	10,7	441,6
F	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	39,0	102,9	108,2	54,7	1,4	0,0	0,0	313,0
Ex	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ds	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

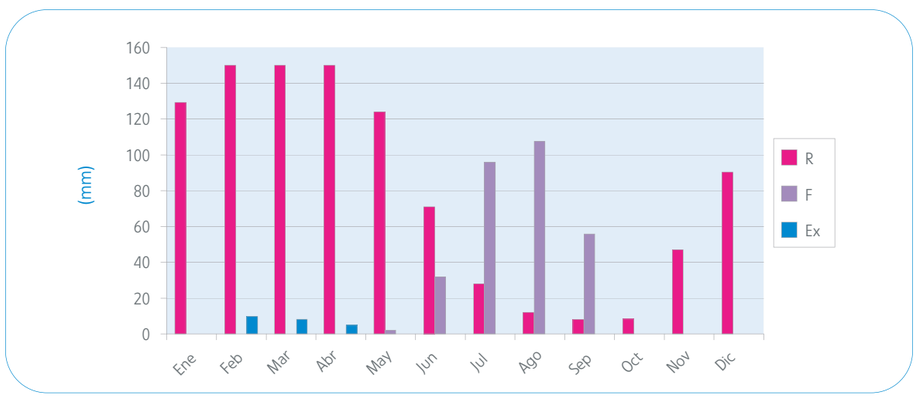




Talamanca del Jarama

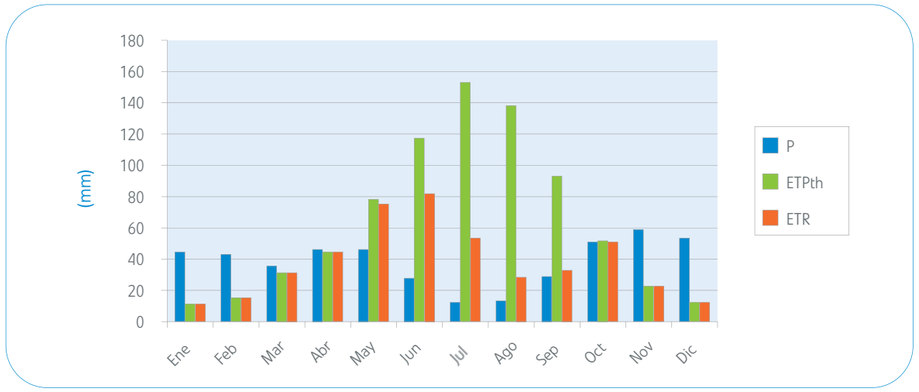
Cod	3117			Alt	654			Lat	40,75			Rmáx	150
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	4,9	6,6	9,5	11,5	15,6	20,6	24,4	24,1	19,9	14,0	8,6	5,5	13,8
P	48,4	45,0	38,7	48,9	48,8	31,3	12,0	14,6	31,7	50,8	59,9	54,1	484,3
ETPth	9,5	14,6	30,6	44,0	76,9	116,1	150,9	138,2	91,4	50,5	21,3	10,7	754,7
R	129,3	150,0	150,0	150,0	124,0	71,0	28,0	12,0	8,0	8,3	46,9	90,4	
ETR	9,5	14,6	30,6	44,0	74,8	84,3	55,0	30,6	35,7	50,5	21,3	10,7	461,6
F	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	31,8	95,9	107,6	55,8	0,0	0,0	0,0	293,1
Ex	0,0	9,7	8,1	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,7
Ds	0,0	5,0	7,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0

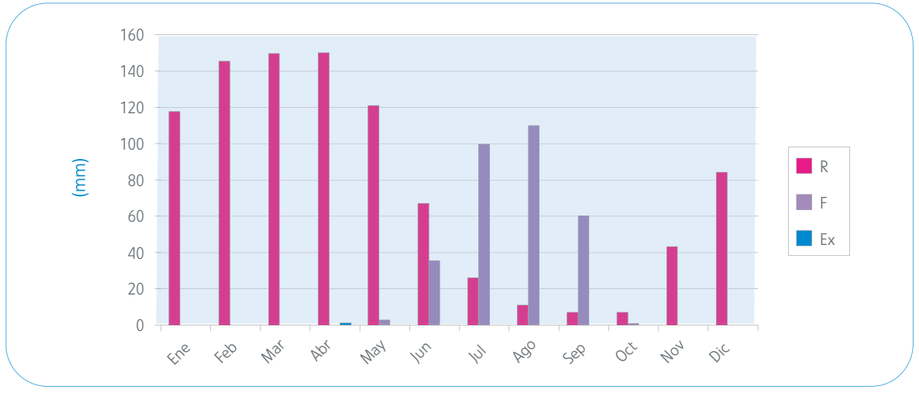




Madrid - Aeródromo de Cuatro Vientos

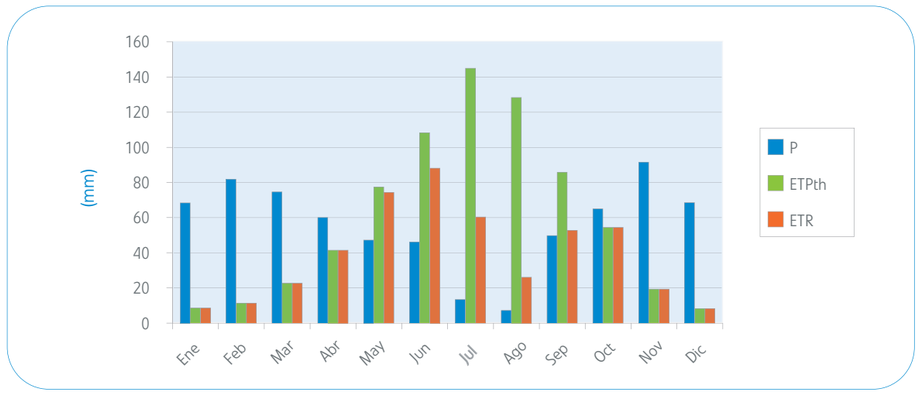
Cod 3196				Alt 687				Lat 40,38				Rmáx 150	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	5,7	7,1	9,9	11,9	16,0	20,9	24,7	24,2	20,3	14,5	9,2	6,2	14,2
P	44,6	43,1	35,4	46,1	46,2	27,8	12,4	13,3	28,8	50,7	58,7	53,3	460,5
ETPth	11,1	15,3	31,2	44,6	78,1	117,2	153,1	138,2	93,0	51,6	22,5	12,3	768,2
R	117,6	145,4	149,6	150,0	121,0	67,0	26,0	11,0	7,0	7,0	43,2	84,2	
ETR	11,1	15,3	31,2	44,6	75,2	81,8	53,4	28,3	32,8	50,7	22,5	12,3	459,3
F	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	35,5	99,7	109,8	60,1	0,9	0,0	0,0	308,8
Ex	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1
Ds	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0

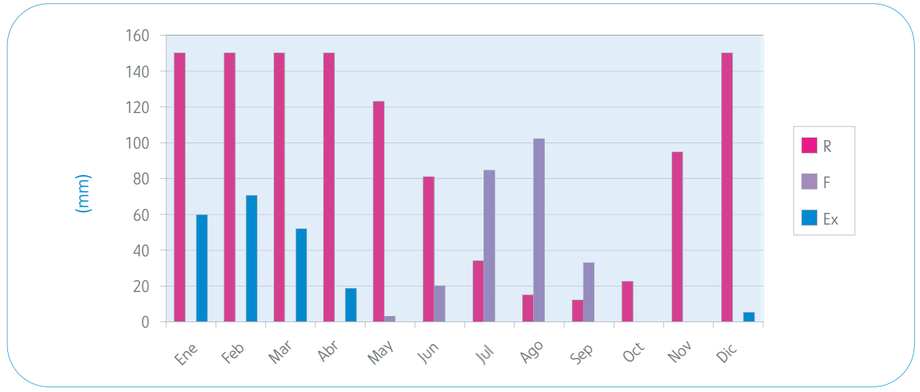




Colmenar Viejo

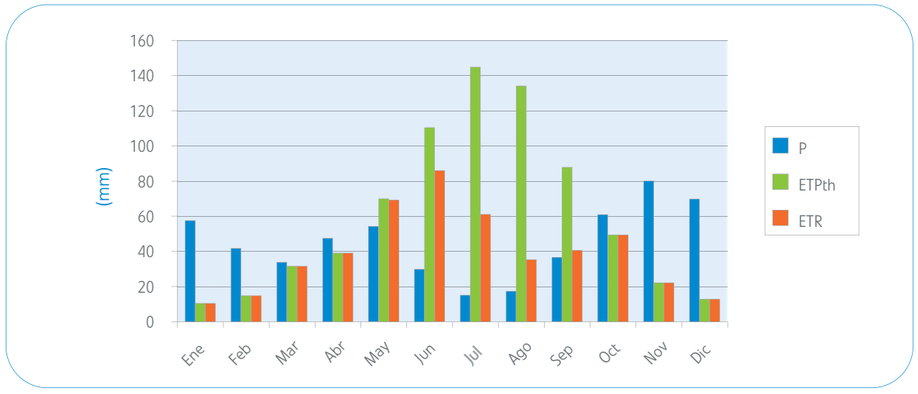
Cod 3191				Alt 879				Lat 40,66				Rmáx 150	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	4,0	4,9	7,0	10,3	15,0	19,1	23,5	22,6	18,5	14,1	7,3	3,9	12,5
P	68,3	81,7	74,6	60,0	47,3	46,1	13,3	7,1	49,8	65,0	91,5	68,5	673,2
ETPth	8,7	11,3	22,7	41,5	77,3	108,2	144,9	128,3	85,8	54,4	19,3	8,1	710,3
R	150,0	150,0	150,0	150,0	123,0	81,0	34,0	15,0	12,0	22,6	94,8	150,0	
ETR	8,7	11,3	22,7	41,5	74,3	88,1	60,3	26,1	52,8	54,4	19,3	8,1	467,5
F	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	20,1	84,6	102,1	33,0	0,0	0,0	0,0	242,9
Ex	59,7	70,5	52,0	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	205,8
Ds	31,0	51,0	51,0	35,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	171,0

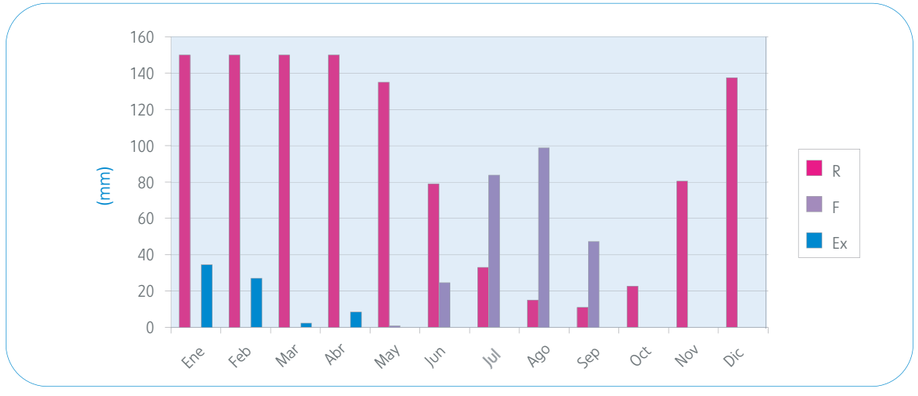




Colmenar Viejo - FAMET

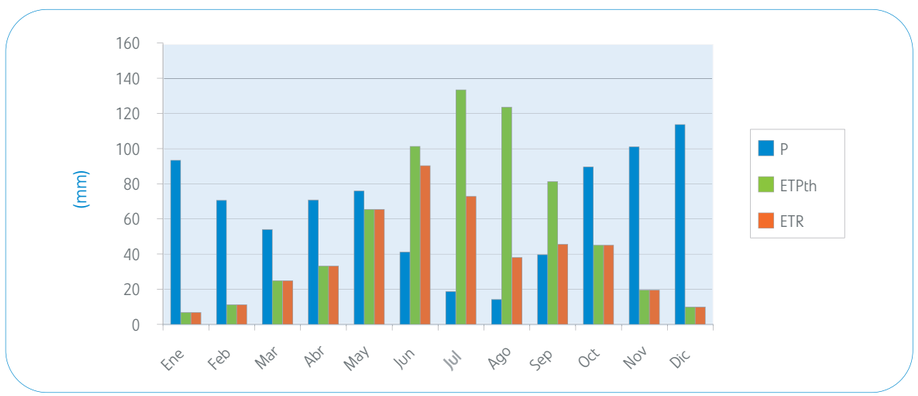
Cod	3191E			Alt	1004			Lat	40,7			Rmáx	150
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	4,9	6,3	9,3	10,2	14,2	19,6	23,6	23,5	19,1	13,4	8,4	5,8	13,2
P	57,5	41,7	33,8	47,4	54,2	29,8	15,0	17,3	36,5	60,9	80,1	69,7	544,1
ETPth	10,4	14,7	31,6	39,1	69,9	110,4	144,8	134,1	87,8	49,3	22,2	12,8	727,1
R	150,0	150,0	150,0	150,0	135,0	79,0	33,0	15,0	11,0	22,6	80,5	137,4	
ETR	10,4	14,7	31,6	39,1	69,2	85,8	61,0	35,3	40,5	49,3	22,2	12,8	472,0
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	24,6	83,7	98,8	47,2	0,0	0,0	0,0	255,1
Ex	34,5	27,0	2,2	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,2
Ds	17,0	22,0	12,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	61,0

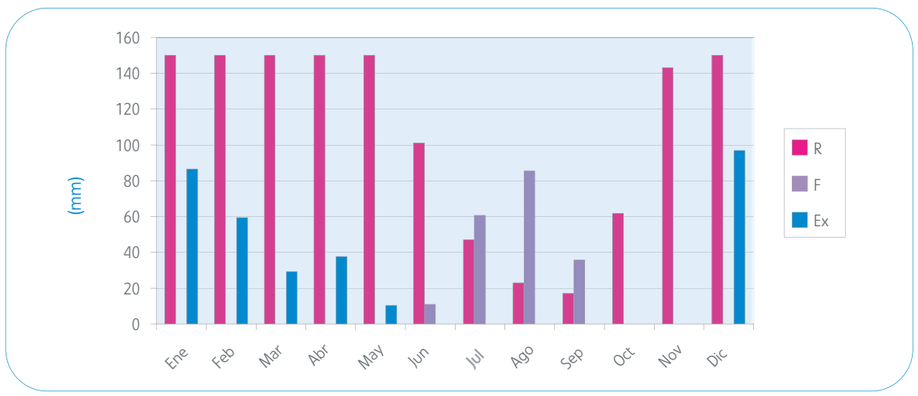




Embalse de Navacerrada

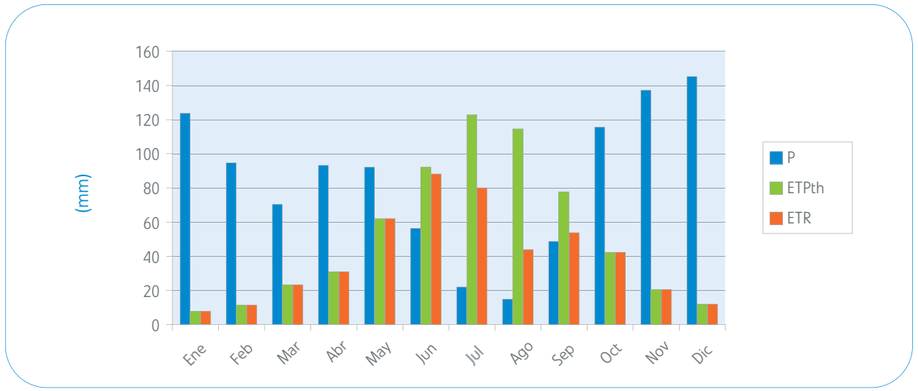
Cod	3185			Alt	1140			Lat	40,72			Rmáx	150
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	2,7	4,0	6,5	7,7	12,2	17,4	21,6	21,5	17,0	11,2	6,3	3,7	11,0
P	93,4	70,5	54,0	70,7	75,8	41,2	18,7	14,1	39,6	89,6	100,9	113,6	782,1
ETPth	6,8	11,2	24,8	33,1	65,4	101,2	133,4	123,6	81,2	44,9	19,4	9,9	655,0
R	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	101,0	47,0	23,0	17,0	61,7	143,2	150,0	
ETR	6,8	11,2	24,8	33,1	65,4	90,2	72,7	38,1	45,6	44,9	19,4	9,9	462,2
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	60,6	85,5	35,7	0,0	0,0	0,0	192,7
Ex	86,6	59,4	29,1	37,6	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	96,9	319,9
Ds	67,0	63,0	46,0	42,0	26,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,0	292,0

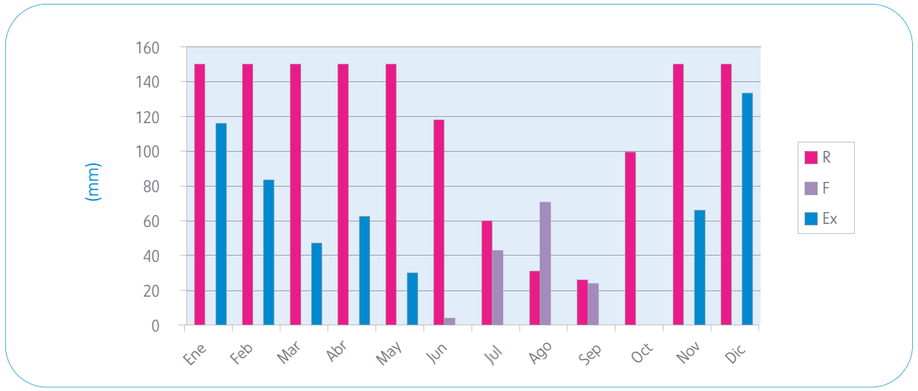




Embalse de Navalmedio

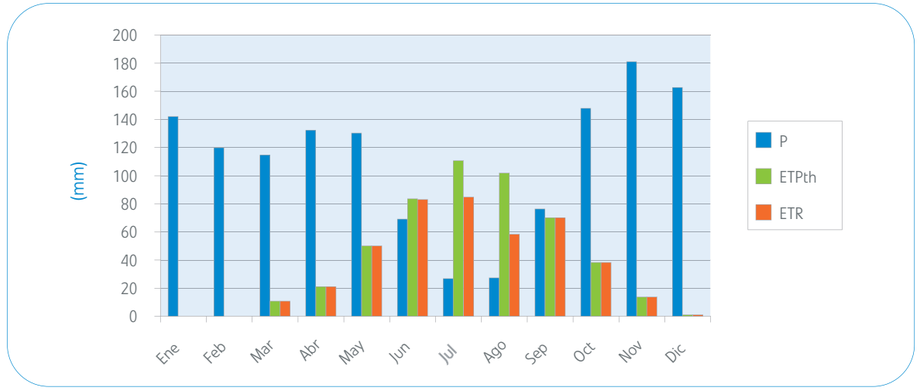
Cod	3264I			Alt	1280			Lat	40,75			Rmáx	150
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	2,4	3,4	5,4	6,4	10,9	15,4	19,7	19,7	15,7	9,8	5,8	3,7	9,9
P	123,7	94,7	70,3	93,2	92,0	56,1	22,0	14,8	48,7	115,5	137,2	145,2	1.013,6
ETPth	7,7	11,3	23,2	30,8	62,0	92,1	122,9	114,5	77,7	42,3	20,5	11,9	616,8
R	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	118,0	60,0	31,0	26,0	99,3	150,0	150,0	
ETR	7,7	11,3	23,2	30,8	62,0	88,1	80,0	43,8	53,7	42,3	20,5	11,9	475,3
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	42,9	70,7	24,0	0,0	0,0	0,0	141,6
Ex	116,0	83,5	47,1	62,4	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	66,0	133,3	538,3
Ds	100,0	92,0	70,0	66,0	48,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,0	83,0	492,0

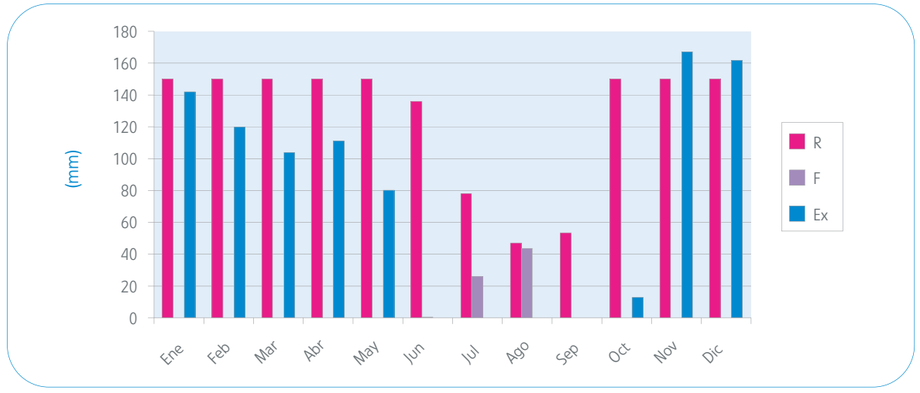




Puerto de Navacerrada

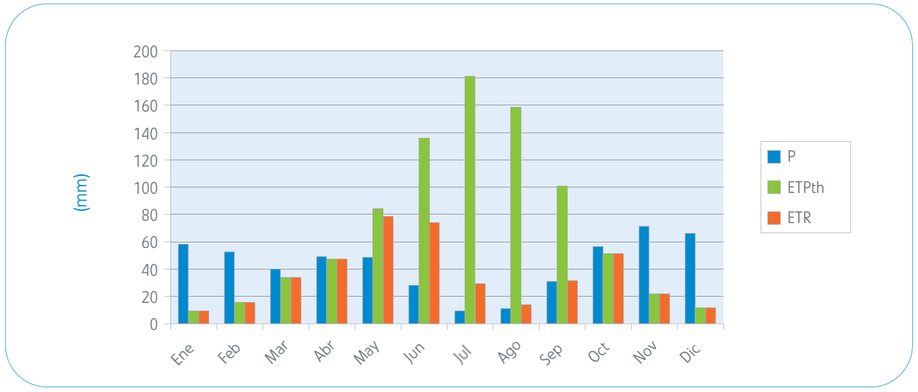
Cod	2462			Alt	1890			Lat	40,78			Rmáx	150
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	-0,7	-0,3	1,5	2,9	6,8	12,1	16,3	16,1	12,3	6,8	2,6	0,1	6,4
P	142,1	119,8	114,6	132,2	130,2	69,0	26,8	27,4	76,3	147,8	180,9	162,7	1.329,9
ETPth	0,0	0,0	10,8	21,0	50,0	83,5	110,7	101,9	70,0	38,3	13,8	1,0	501,1
R	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	136,0	78,0	47,0	53,3	150,0	150,0	150,0	
ETR	0,0	0,0	10,8	21,0	50,0	83,0	84,8	58,4	70,0	38,3	13,8	1,0	431,2
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	25,9	43,5	0,0	0,0	0,0	0,0	69,9
Ex	142,1	119,8	103,8	111,2	80,2	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9	167,1	161,6	898,7
Ds	133,0	126,0	115,0	113,0	97,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	87,0	124,0	801,0

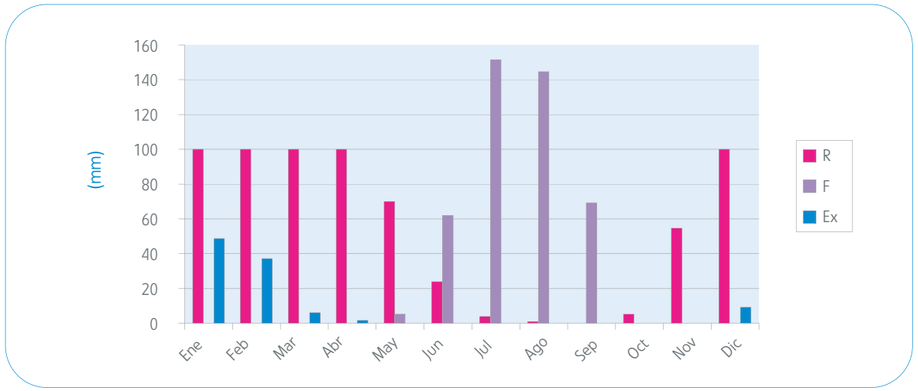




Villa del Prado - Picadas

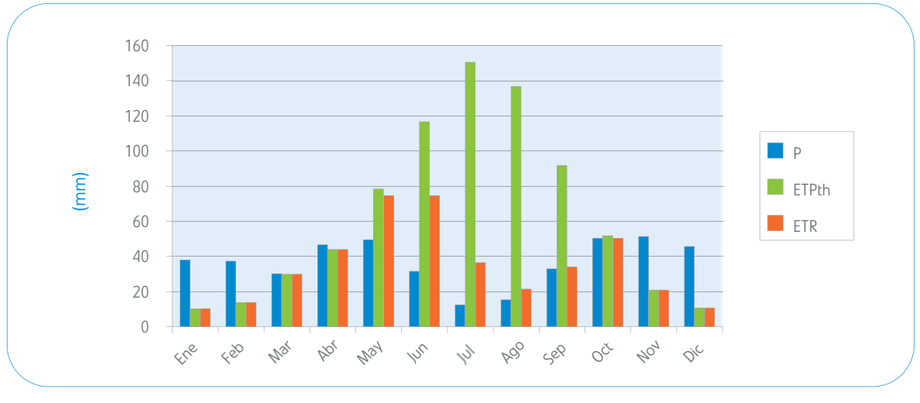
Cod	3342				Alt	523			Lat	40,33			Rmáx	100
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	
tm	6,1	8,2	11,6	13,4	17,7	23,5	27,4	26,6	22,0	15,4	10,1	7,0	15,7	
P	58,1	52,6	40,0	48,9	48,7	28,0	9,5	10,9	30,6	56,5	71,4	66,0	521,1	
ETPth	9,4	15,4	33,9	47,2	84,0	136,0	180,9	158,4	100,8	51,3	21,9	11,5	850,7	
R	100,0	100,0	100,0	100,0	70,0	24,0	4,0	1,0	0,0	5,3	54,8	100,0		
ETR	9,4	15,4	33,9	47,2	78,7	74,0	29,5	13,9	31,6	51,3	21,9	11,5	418,2	
F	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	62,0	151,5	144,6	69,2	0,0	0,0	0,0	432,5	
Ex	48,7	37,2	6,1	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,2	102,9	
Ds	27,0	32,0	19,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	93,0	

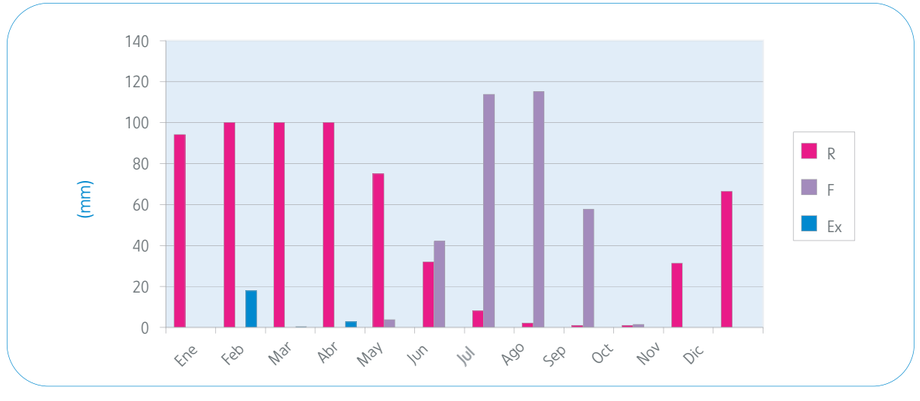




Alcalá de Henares - La Canaleja

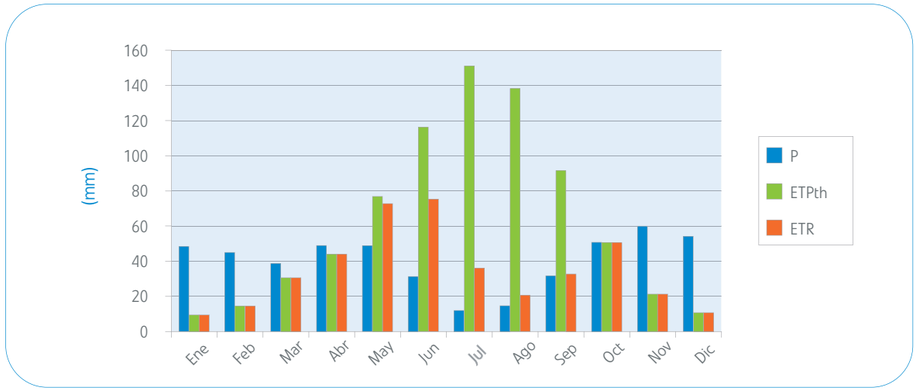
Cod	3169				Alt	600			Lat	40,52			Rmáx	100
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	
tm	5,2	6,4	9,4	11,5	15,8	20,7	24,3	23,9	20,0	14,3	8,5	5,4	13,8	
P	38,0	37,4	30,2	46,7	49,5	31,6	12,5	15,4	33,0	50,3	51,3	45,7	441,6	
ETPth	10,1	13,8	29,9	44,0	78,3	116,6	150,3	136,5	91,7	51,7	20,9	10,7	754,6	
R	94,3	100,0	100,0	100,0	75,0	32,0	8,0	2,0	1,0	1,0	31,4	66,4		
ETR	10,1	13,8	29,9	44,0	74,5	74,6	36,5	21,4	34,0	50,3	20,9	10,7	420,7	
F	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	42,0	113,9	115,2	57,7	1,4	0,0	0,0	333,9	
Ex	0,0	17,9	0,3	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,9	
Ds	0,0	9,0	5,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	

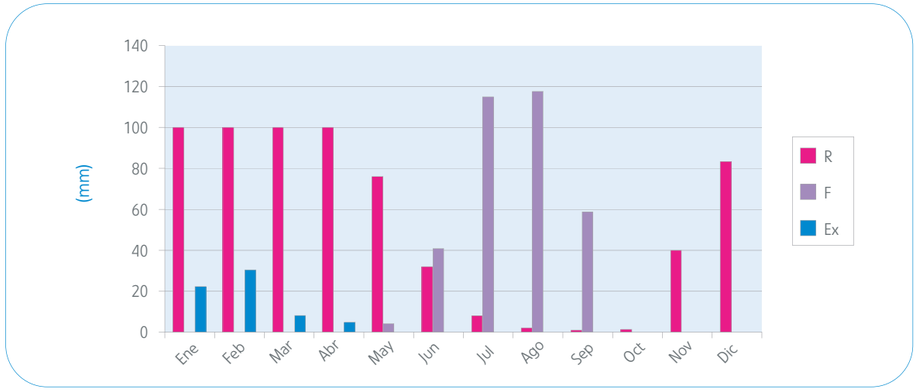




Talamanca del Jarama

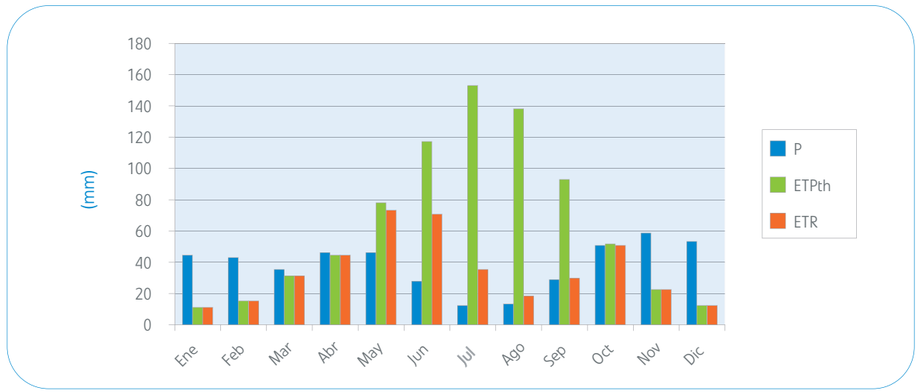
Cod 3117				Alt 654				Lat 40,75				Rmáx 100	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	4,9	6,6	9,5	11,5	15,6	20,6	24,4	24,1	19,9	14,0	8,6	5,5	13,8
P	48,4	45,0	38,7	48,9	48,8	31,3	12,0	14,6	31,7	50,8	59,9	54,1	484,3
ETPth	9,5	14,6	30,6	44,0	76,9	116,1	150,9	138,2	91,4	50,5	21,3	10,7	754,7
R	100,0	100,0	100,0	100,0	76,0	32,0	8,0	2,0	1,0	1,3	39,9	83,4	
ETR	9,5	14,6	30,6	44,0	72,8	75,3	36,0	20,6	32,7	50,5	21,3	10,7	418,6
F	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	40,8	114,9	117,6	58,8	0,0	0,0	0,0	336,1
Ex	22,3	30,4	8,1	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	65,7
Ds	11,0	21,0	15,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	57,0

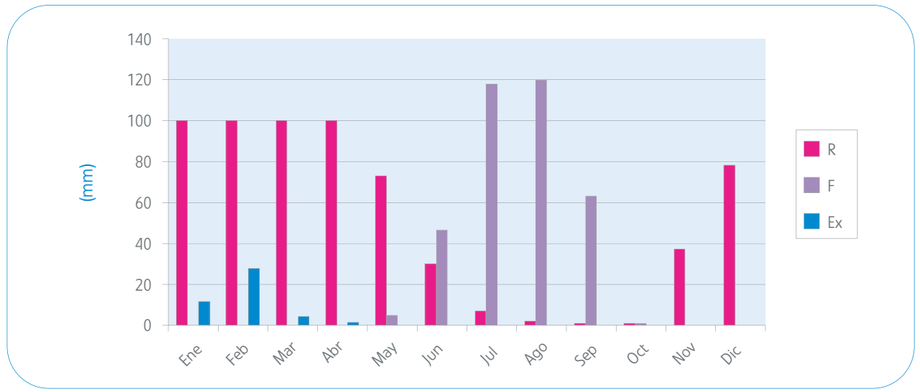




Madrid - Aeródromo de Cuatro Vientos

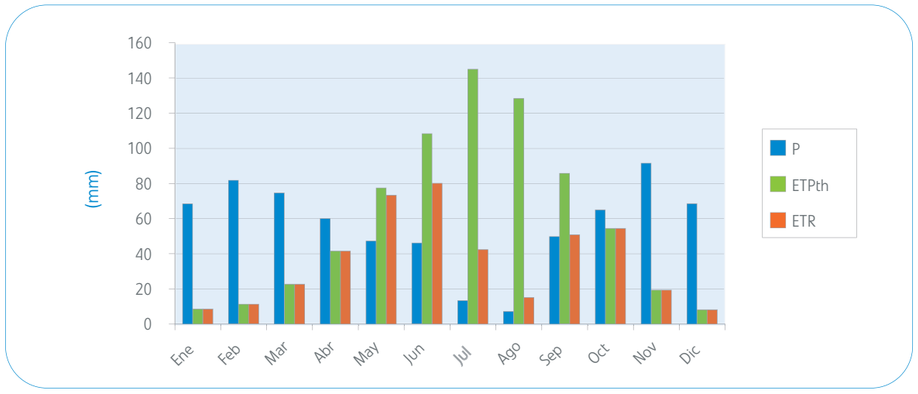
Cod 3196				Alt 687				Lat 40,38				Rmáx 100	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	5,7	7,1	9,9	11,9	16,0	20,9	24,7	24,2	20,3	14,5	9,2	6,2	14,2
P	44,6	43,1	35,4	46,1	46,2	27,8	12,4	13,3	28,8	50,7	58,7	53,3	460,5
ETPth	11,1	15,3	31,2	44,6	78,1	117,2	153,1	138,2	93,0	51,6	22,5	12,3	768,2
R	100,0	100,0	100,0	100,0	73,0	30,0	7,0	2,0	1,0	1,0	37,2	78,2	
ETR	11,1	15,3	31,2	44,6	73,2	70,8	35,4	18,3	29,8	50,7	22,5	12,3	415,3
F	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	46,5	117,7	119,8	63,1	0,9	0,0	0,0	352,8
Ex	11,6	27,8	4,2	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,1
Ds	6,0	17,0	11,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,0

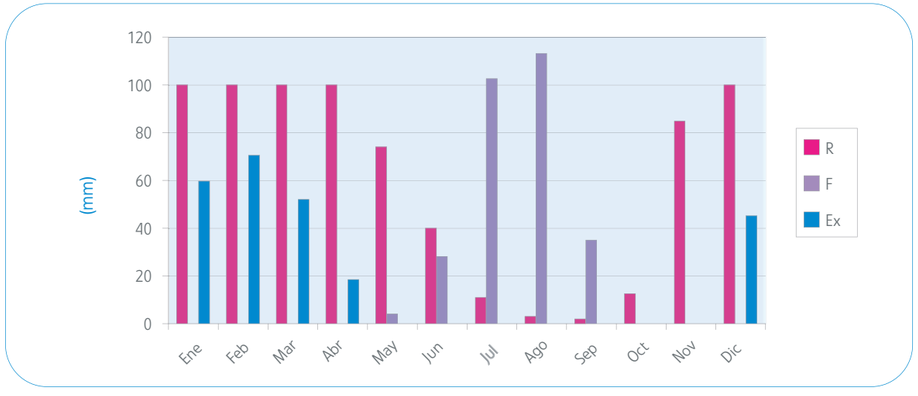




Colmenar Viejo

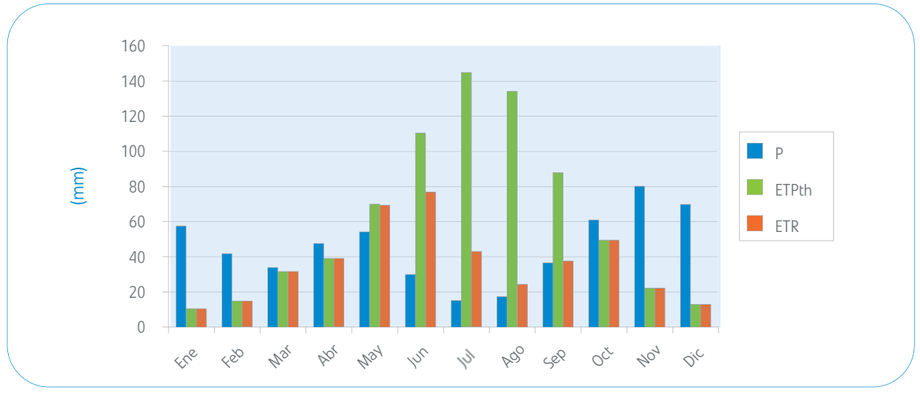
Cod	3191			Alt	879			Lat	40,66			Rmáx	100
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	4,0	4,9	7,0	10,3	15,0	19,1	23,5	22,6	18,5	14,1	7,3	3,9	12,5
P	68,3	81,7	74,6	60,0	47,3	46,1	13,3	7,1	49,8	65,0	91,5	68,5	673,2
ETPth	8,7	11,3	22,7	41,5	77,3	108,2	144,9	128,3	85,8	54,4	19,3	8,1	710,3
R	100,0	100,0	100,0	100,0	74,0	40,0	11,0	3,0	2,0	12,6	84,8	100,0	
ETR	8,7	11,3	22,7	41,5	73,3	80,1	42,3	15,1	50,8	54,4	19,3	8,1	427,5
F	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	28,1	102,6	113,1	35,0	0,0	0,0	0,0	282,9
Ex	59,7	70,5	52,0	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,1	245,8
Ds	41,0	56,0	54,0	36,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	210,0

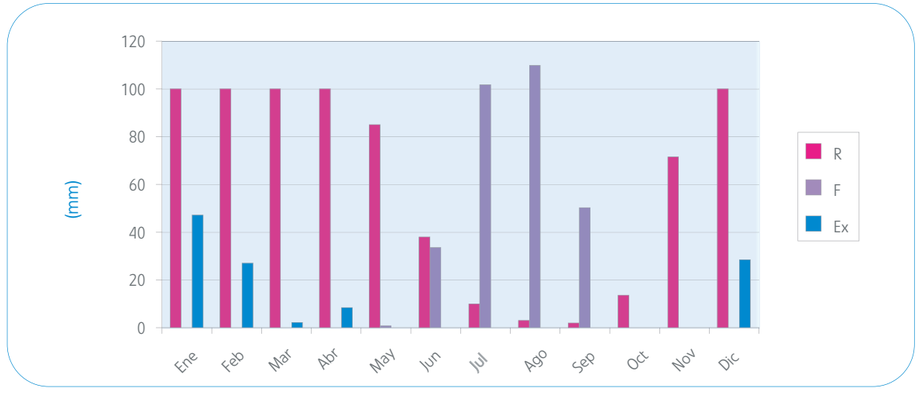




Colmenar Viejo - FAMET

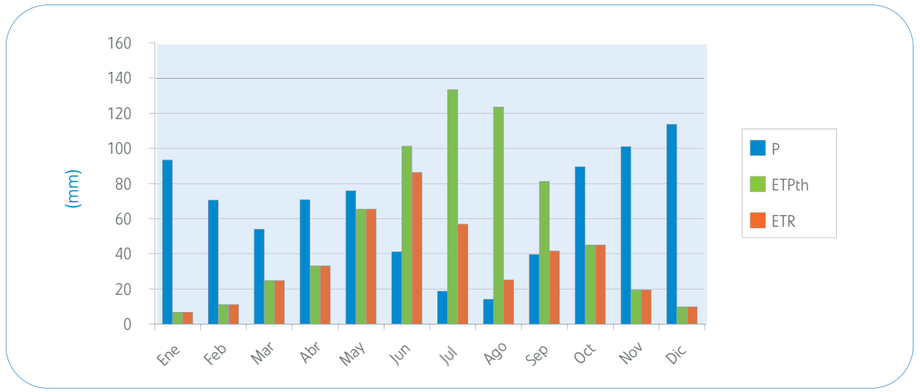
Cod	3191E			Alt	1004			Lat	40,7			Rmáx	100
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	4,9	6,3	9,3	10,2	14,2	19,6	23,6	23,5	19,1	13,4	8,4	5,8	13,2
P	57,5	41,7	33,8	47,4	54,2	29,8	15,0	17,3	36,5	60,9	80,1	69,7	544,1
ETPth	10,4	14,7	31,6	39,1	69,9	110,4	144,8	134,1	87,8	49,3	22,2	12,8	727,1
R	100,0	100,0	100,0	100,0	85,0	38,0	10,0	3,0	2,0	13,6	71,5	100,0	
ETR	10,4	14,7	31,6	39,1	69,2	76,8	43,0	24,3	37,5	49,3	22,2	12,8	431,0
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	33,6	101,7	109,8	50,2	0,0	0,0	0,0	296,1
Ex	47,1	27,0	2,2	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,4	113,2
Ds	31,0	29,0	16,0	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	102,0

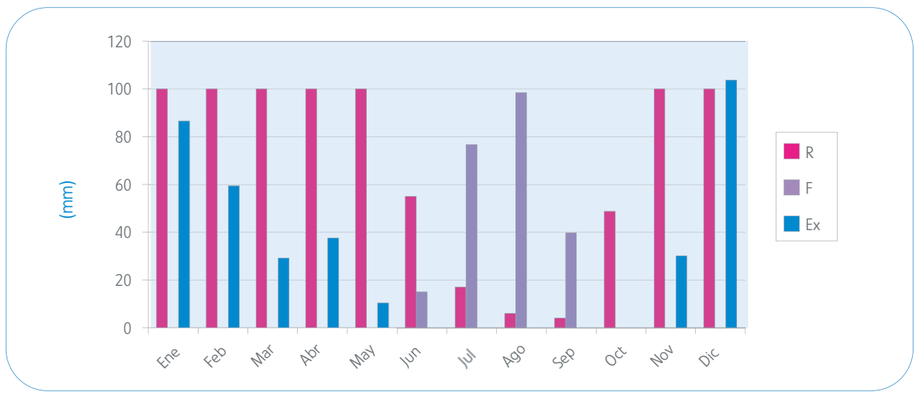




Embalse de Navacerrada

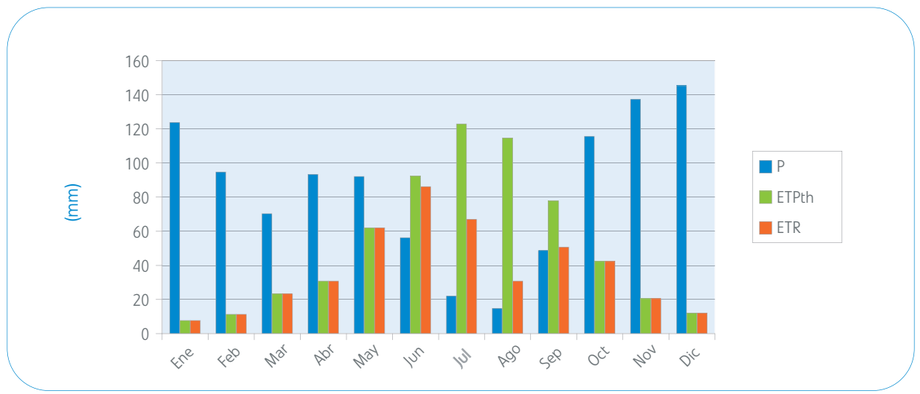
Cod	3185			Alt	1140			Lat	40,72			Rmáx	100
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	2,7	4,0	6,5	7,7	12,2	17,4	21,6	21,5	17,0	11,2	6,3	3,7	11,0
P	93,4	70,5	54,0	70,7	75,8	41,2	18,7	14,1	39,6	89,6	100,9	113,6	782,1
ETPth	6,8	11,2	24,8	33,1	65,4	101,2	133,4	123,6	81,2	44,9	19,4	9,9	655,0
R	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	55,0	17,0	6,0	4,0	48,7	100,0	100,0	
ETR	6,8	11,2	24,8	33,1	65,4	86,2	56,7	25,1	41,6	44,9	19,4	9,9	425,2
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	76,6	98,5	39,7	0,0	0,0	0,0	229,7
Ex	86,6	59,4	29,1	37,6	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,2	103,7	356,9
Ds	73,0	66,0	48,0	43,0	27,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	59,0	331,0

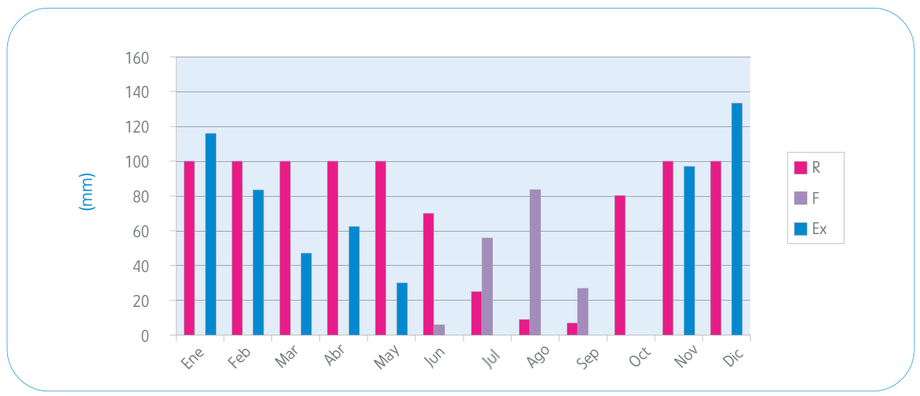




Embalse de Navalmedio

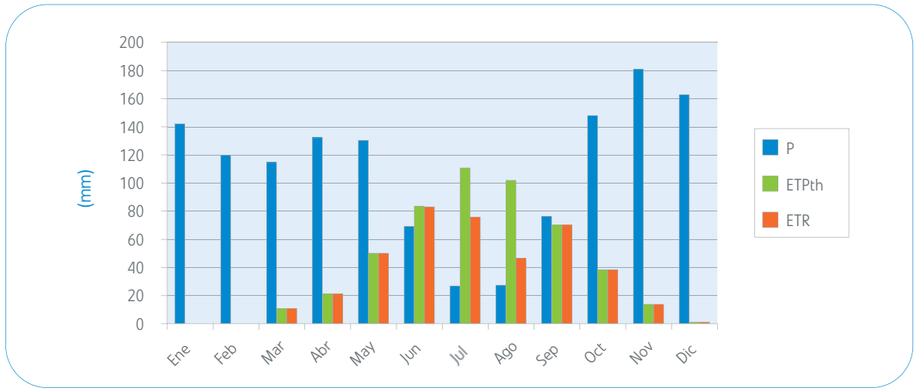
Cod	3264I			Alt	1280			Lat	40,75			Rmáx	100
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	2,4	3,4	5,4	6,4	10,9	15,4	19,7	19,7	15,7	9,8	5,8	3,7	9,9
P	123,7	94,7	70,3	93,2	92,0	56,1	22,0	14,8	48,7	115,5	137,2	145,2	1.013,6
ETPth	7,7	11,3	23,2	30,8	62,0	92,1	122,9	114,5	77,7	42,3	20,5	11,9	616,8
R	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	70,0	25,0	9,0	7,0	80,3	100,0	100,0	
ETR	7,7	11,3	23,2	30,8	62,0	86,1	67,0	30,8	50,7	42,3	20,5	11,9	444,3
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	55,9	83,7	27,0	0,0	0,0	0,0	172,6
Ex	116,0	83,5	47,1	62,4	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	97,0	133,3	569,3
Ds	104,0	94,0	71,0	67,0	49,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,0	91,0	524,0





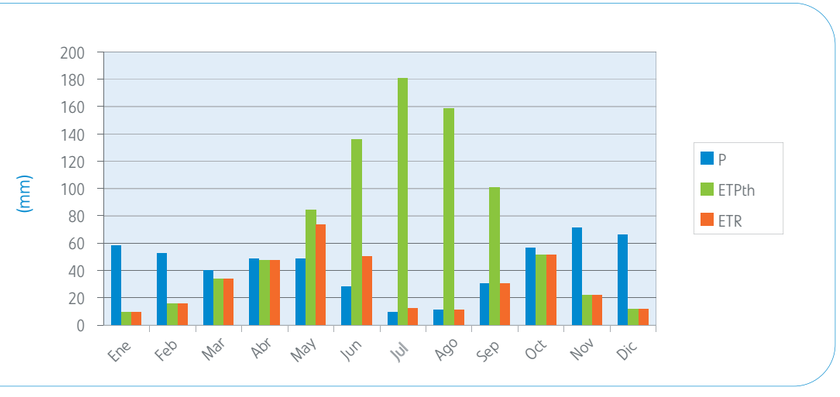
Puerto de Navacerrada

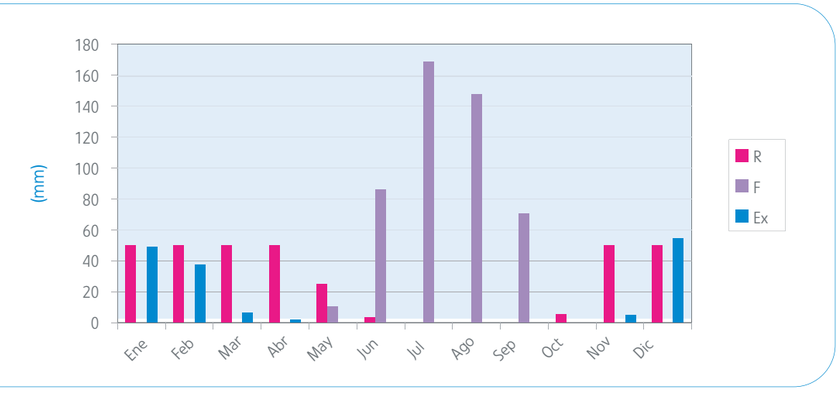
Cod 2462				Alt 1890				Lat 40,78				Rmáx 100	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	-0,7	-0,3	1,5	2,9	6,8	12,1	16,3	16,1	12,3	6,8	2,6	0,1	6,4
P	142,1	119,8	114,6	132,2	130,2	69,0	26,8	27,4	76,3	147,8	180,9	162,7	1.329,9
ETPth	0,0	0,0	10,8	21,0	50,0	83,5	110,7	101,9	70,0	38,3	13,8	1,0	501,1
R	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	86,0	37,0	18,0	24,3	100,0	100,0	100,0	
ETR	0,0	0,0	10,8	21,0	50,0	83,0	75,8	46,4	70,0	38,3	13,8	1,0	410,2
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	34,9	55,5	0,0	0,0	0,0	0,0	90,9
Ex	142,1	119,8	103,8	111,2	80,2	0,0	0,0	0,0	0,0	33,9	167,1	161,6	919,7
Ds	135,0	127,0	115,0	113,0	97,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	92,0	127,0	823,0



Villa Del Prado - Picadas

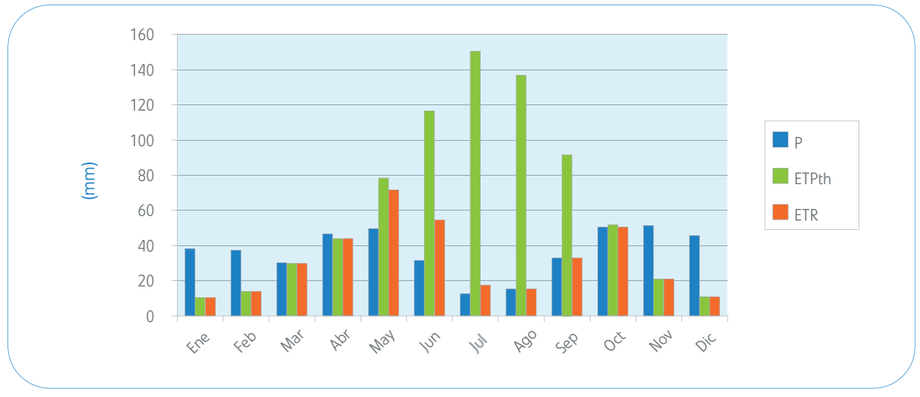
Cod 3342				Alt 523				Lat 40,33				Rmáx 50	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	6,1	8,2	11,6	13,4	17,7	23,5	27,4	26,6	22,0	15,4	10,1	7,0	15,7
P	58,1	52,6	40,0	48,9	48,7	28,0	9,5	10,9	30,6	56,5	71,4	66,0	521,1
ETPth	9,4	15,4	33,9	47,2	84,0	136,0	180,9	158,4	100,8	51,3	21,9	11,5	850,7
R	50,0	50,0	50,0	50,0	25,0	3,0	0,0	0,0	0,0	5,3	50,0	50,0	
ETR	9,4	15,4	33,9	47,2	73,7	50,0	12,5	10,9	30,6	51,3	21,9	11,5	368,2
F	0,0	0,0	0,0	0,0	10,3	86,0	168,5	147,6	70,2	0,0	0,0	0,0	482,5
Ex	48,7	37,2	6,1	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	54,4	152,9
Ds	38,0	38,0	22,0	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	28,0	140,0

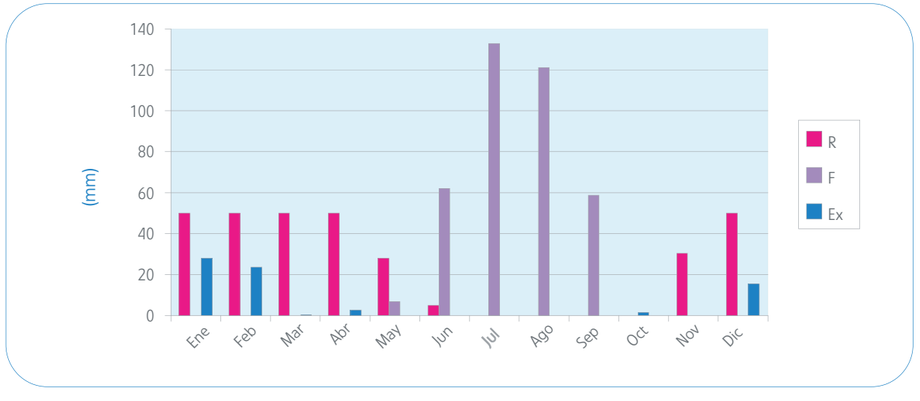




Alcalá de Henares - La Canaleja

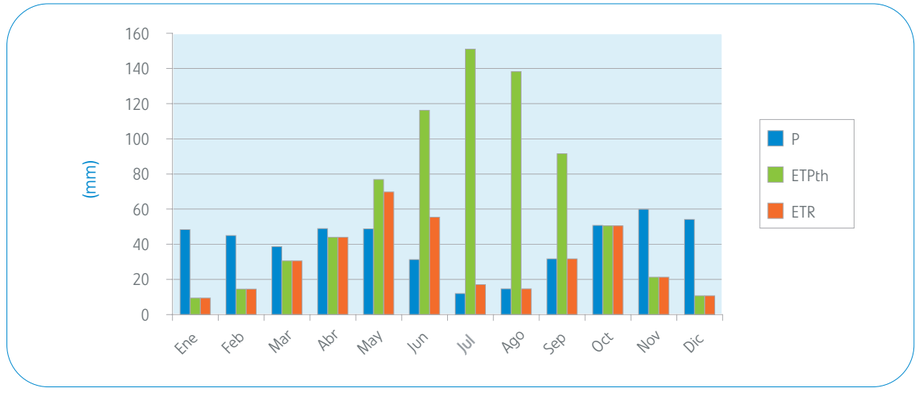
Cod	3169				Alt	600			Lat	40,52			Rmáx	50
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	
tm	5,2	6,4	9,4	11,5	15,8	20,7	24,3	23,9	20,0	14,3	8,5	5,4	13,8	
P	38,0	37,4	30,2	46,7	49,5	31,6	12,5	15,4	33,0	50,3	51,3	45,7	441,6	
ETPth	10,1	13,8	29,9	44,0	78,3	116,6	150,3	136,5	91,7	51,7	20,9	10,7	754,6	
R	50,0	50,0	50,0	50,0	28,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,4	50,0		
ETR	10,1	13,8	29,9	44,0	71,5	54,6	17,5	15,4	33,0	50,3	20,9	10,7	371,7	
F	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	62,0	132,9	121,2	58,7	1,4	0,0	0,0	382,9	
Ex	27,8	23,6	0,3	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	69,9	
Ds	18,0	21,0	11,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	65,0	

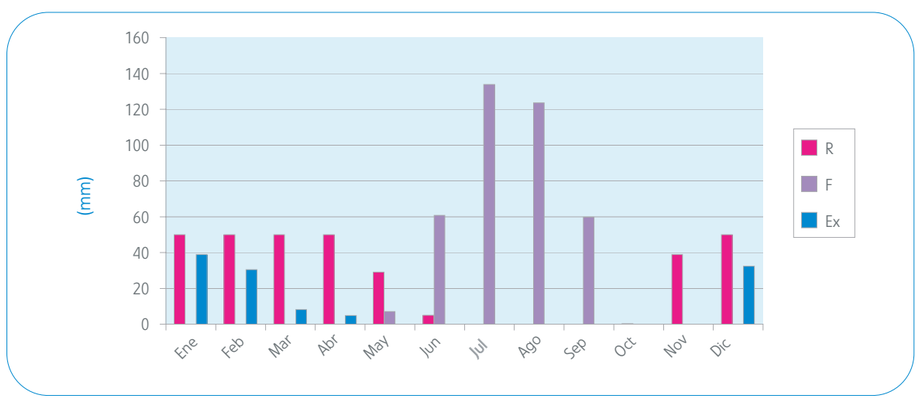




Talamanca del Jarama

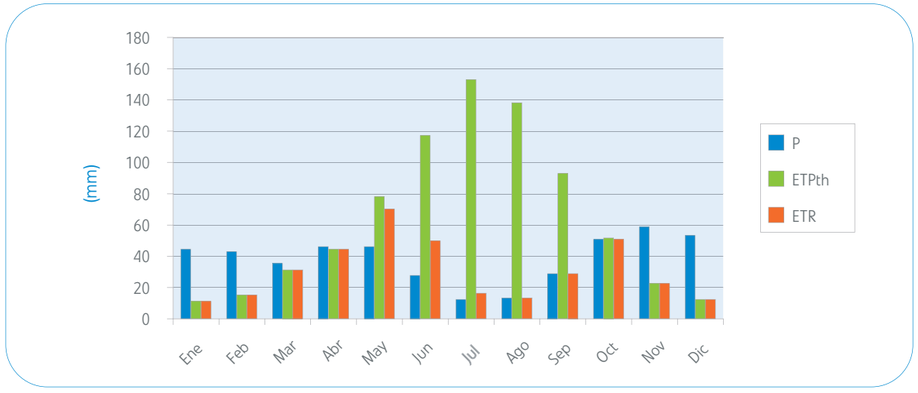
Cod	3117				Alt	654			Lat	40,75			Rmáx	50
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	
tm	4,9	6,6	9,5	11,5	15,6	20,6	24,4	24,1	19,9	14,0	8,6	5,5	13,8	
P	48,4	45,0	38,7	48,9	48,8	31,3	12,0	14,6	31,7	50,8	59,9	54,1	484,3	
ETPth	9,5	14,6	30,6	44,0	76,9	116,1	150,9	138,2	91,4	50,5	21,3	10,7	754,7	
R	50,0	50,0	50,0	50,0	29,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,3	38,9	50,0		
ETR	9,5	14,6	30,6	44,0	69,8	55,3	17,0	14,6	31,7	50,5	21,3	10,7	369,6	
F	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	60,8	133,9	123,6	59,8	0,0	0,0	0,0	385,1	
Ex	38,9	30,4	8,1	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,4	114,7	
Ds	27,0	29,0	19,0	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0	103,0	

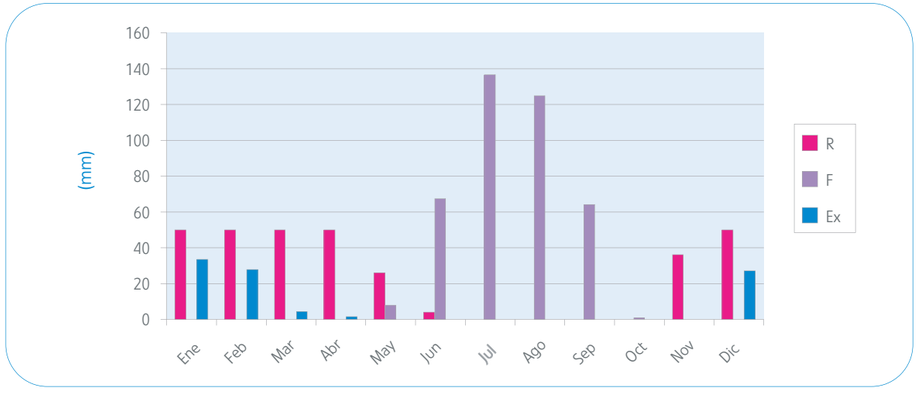




Madrid - Aeródromo de Cuatro Vientos

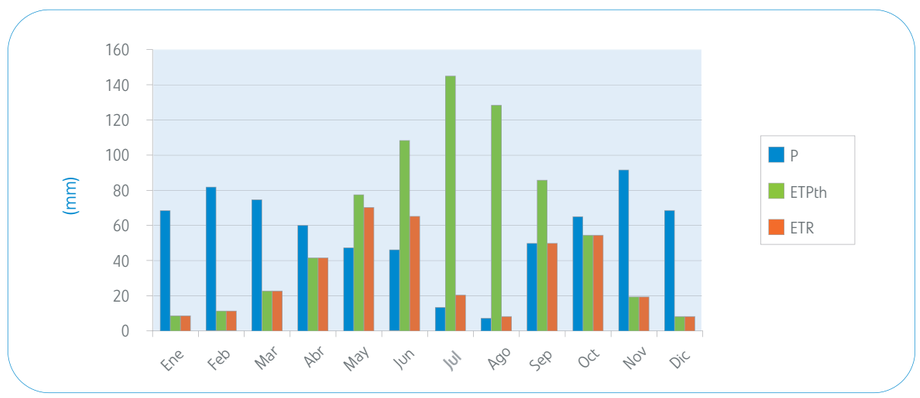
Cod 3196			Alt 687				Lat 40,38					Rmáx 50	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	5,7	7,1	9,9	11,9	16,0	20,9	24,7	24,2	20,3	14,5	9,2	6,2	14,2
P	44,6	43,1	35,4	46,1	46,2	27,8	12,4	13,3	28,8	50,7	58,7	53,3	460,5
ETPth	11,1	15,3	31,2	44,6	78,1	117,2	153,1	138,2	93,0	51,6	22,5	12,3	768,2
R	50,0	50,0	50,0	50,0	26,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,2	50,0	
ETR	11,1	15,3	31,2	44,6	70,2	49,8	16,4	13,3	28,8	50,7	22,5	12,3	366,3
F	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	67,5	136,7	124,8	64,1	0,9	0,0	0,0	401,8
Ex	33,4	27,8	4,2	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,2	94,1
Ds	24,0	26,0	15,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	87,0

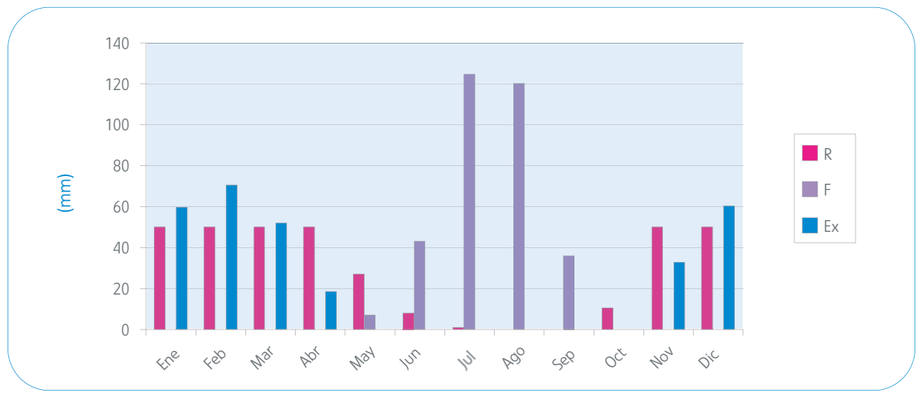




Colmenar Viejo

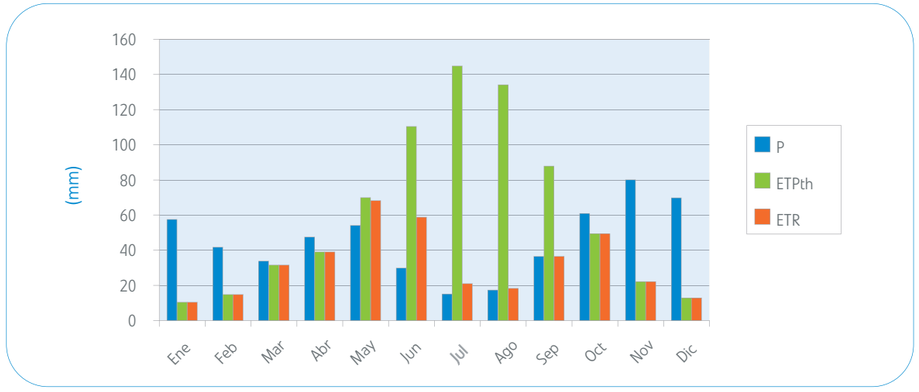
Cod 3191			Alt 879				Lat 40,66					Rmáx 50	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	4,0	4,9	7,0	10,3	15,0	19,1	23,5	22,6	18,5	14,1	7,3	3,9	12,5
P	68,3	81,7	74,6	60,0	47,3	46,1	13,3	7,1	49,8	65,0	91,5	68,5	673,2
ETPth	8,7	11,3	22,7	41,5	77,3	108,2	144,9	128,3	85,8	54,4	19,3	8,1	710,3
R	50,0	50,0	50,0	50,0	27,0	8,0	1,0	0,0	0,0	10,6	50,0	50,0	
ETR	8,7	11,3	22,7	41,5	70,3	65,1	20,3	8,1	49,8	54,4	19,3	8,1	379,5
F	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	43,1	124,6	120,1	36,0	0,0	0,0	0,0	330,9
Ex	59,7	70,5	52,0	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,8	60,3	293,8
Ds	49,0	60,0	56,0	37,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0	38,0	256,0

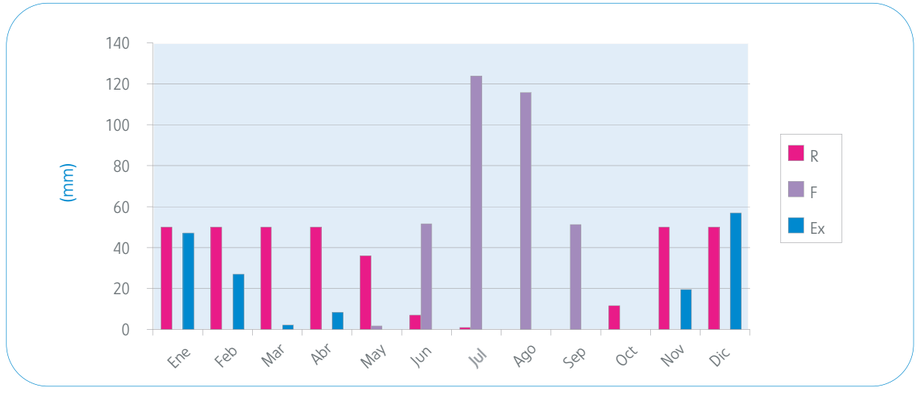




Colmenar Viejo - FAMET

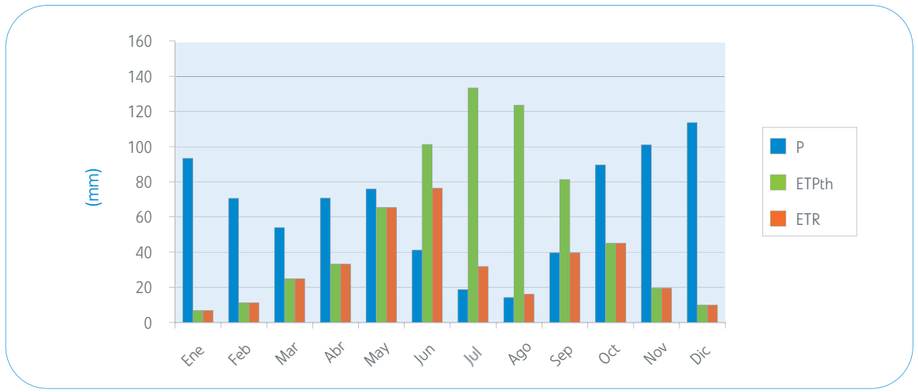
Cod 3191E				Alt 1004			Lat 40,7					Rmáx 50	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	4,9	6,3	9,3	10,2	14,2	19,6	23,6	23,5	19,1	13,4	8,4	5,8	13,2
P	57,5	41,7	33,8	47,4	54,2	29,8	15,0	17,3	36,5	60,9	80,1	69,7	544,1
ETPth	10,4	14,7	31,6	39,1	69,9	110,4	144,8	134,1	87,8	49,3	22,2	12,8	727,1
R	50,0	50,0	50,0	50,0	36,0	7,0	1,0	0,0	0,0	11,6	50,0	50,0	
ETR	10,4	14,7	31,6	39,1	68,2	58,8	21,0	18,3	36,5	49,3	22,2	12,8	383,0
F	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	51,6	123,7	115,8	51,2	0,0	0,0	0,0	344,1
Ex	47,1	27,0	2,2	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,5	56,9	161,2
Ds	40,0	34,0	18,0	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	33,0	148,0

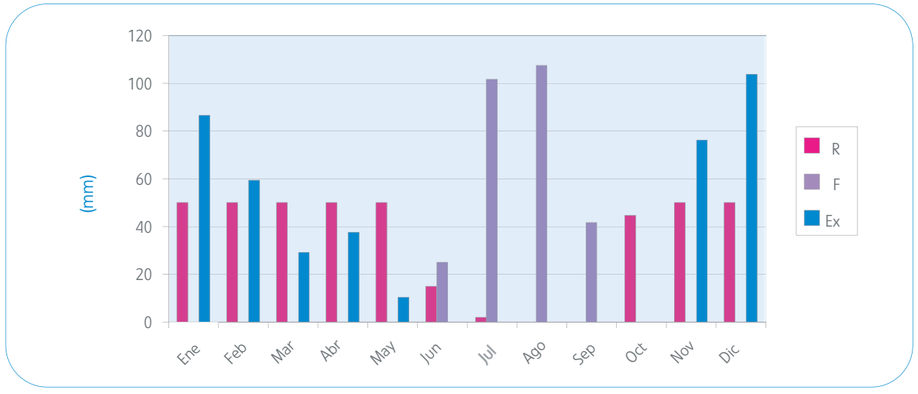




Embalse de Navacerrada

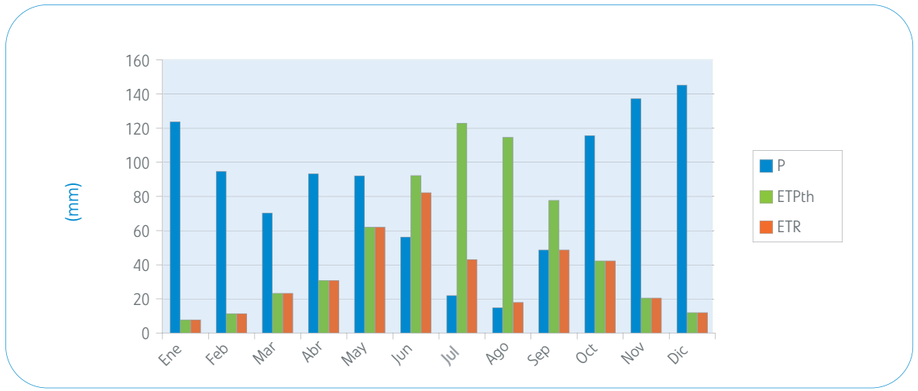
Cod 3185				Alt 1140			Lat 40,72					Rmáx 50	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	2,7	4,0	6,5	7,7	12,2	17,4	21,6	21,5	17,0	11,2	6,3	3,7	11,0
P	93,4	70,5	54,0	70,7	75,8	41,2	18,7	14,1	39,6	89,6	100,9	113,6	782,1
ETPth	6,8	11,2	24,8	33,1	65,4	101,2	133,4	123,6	81,2	44,9	19,4	9,9	655,0
R	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	15,0	2,0	0,0	0,0	44,7	50,0	50,0	
ETR	6,8	11,2	24,8	33,1	65,4	76,2	31,7	16,1	39,6	44,9	19,4	9,9	379,2
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	101,6	107,5	41,7	0,0	0,0	0,0	275,7
Ex	86,6	59,4	29,1	37,6	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	76,2	103,7	402,9
Ds	79,0	69,0	49,0	43,0	27,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,0	71,0	376,0

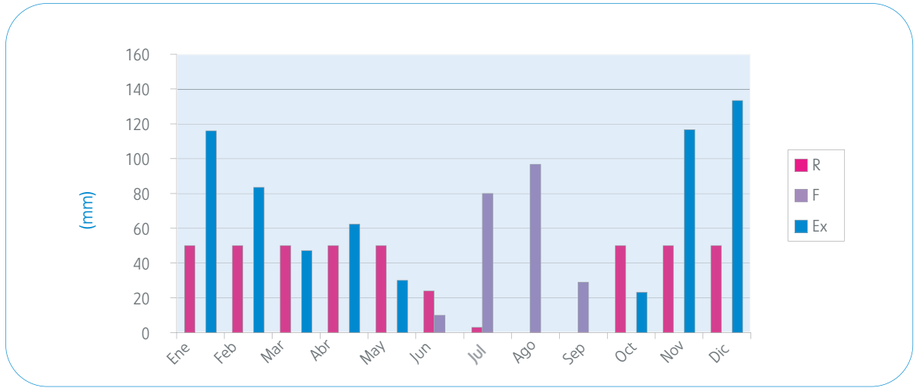




Embalse de Navalmedio

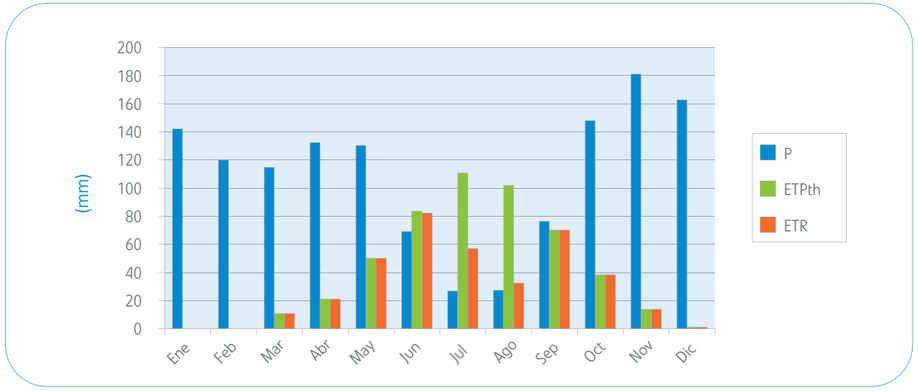
Cod 3264I				Alt 1280				Lat 40,75				Rmáx 50	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	2,4	3,4	5,4	6,4	10,9	15,4	19,7	19,7	15,7	9,8	5,8	3,7	9,9
P	123,7	94,7	70,3	93,2	92,0	56,1	22,0	14,8	48,7	115,5	137,2	145,2	1.013,6
ETPth	7,7	11,3	23,2	30,8	62,0	92,1	122,9	114,5	77,7	42,3	20,5	11,9	616,8
R	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	24,0	3,0	0,0	0,0	50,0	50,0	50,0	
ETR	7,7	11,3	23,2	30,8	62,0	82,1	43,0	17,8	48,7	42,3	20,5	11,9	401,3
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	79,9	96,7	29,0	0,0	0,0	0,0	215,6
Ex	116,0	83,5	47,1	62,4	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,3	116,7	133,3	612,3
Ds	108,0	96,0	72,0	67,0	49,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	64,0	99,0	567,0

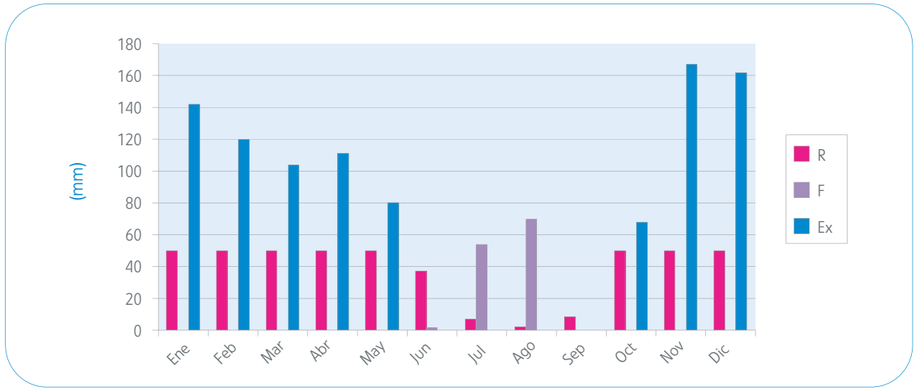




Puerto de Navacerrada

Cod 2462				Alt 1890				Lat 40,78				Rmáx 50	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
tm	-0,7	-0,3	1,5	2,9	6,8	12,1	16,3	16,1	12,3	6,8	2,6	0,1	6,4
P	142,1	119,8	114,6	132,2	130,2	69,0	26,8	27,4	76,3	147,8	180,9	162,7	1.329,9
ETPth	0,0	0,0	10,8	21,0	50,0	83,5	110,7	101,9	70,0	38,3	13,8	1,0	501,1
R	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	37,0	7,0	2,0	8,3	50,0	50,0	50,0	
ETR	0,0	0,0	10,8	21,0	50,0	82,0	56,8	32,4	70,0	38,3	13,8	1,0	376,2
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	53,9	69,5	0,0	0,0	0,0	0,0	124,9
Ex	142,1	119,8	103,8	111,2	80,2	0,0	0,0	0,0	0,0	67,9	167,1	161,6	953,7
Ds	137,0	128,0	116,0	114,0	97,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,0	101,0	131,0	858,0





ANEXO 4. Nota sobre la explicación de las discrepancias entre la estimación de la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid y la huella hidrológica española estimada por Chapagain y Hoekstra (2004).

En el epígrafe 7 del texto se menciona el contraste observado entre los resultados per cápita de la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid —calculada en este trabajo— y la estimación promedio que para el período 1997-2001 realizaron Chapagain y Hoekstra (2004) sobre la huella hidrológica de España.

Como se puede observar en la tabla A.6, mientras que la huella hidrológica per cápita en la Comunidad de Madrid se estima, para 2005, en 1.667 metros cúbicos por habitante, la huella hidrológica española resulta casi un 40 por ciento superior ascendiendo a 2.325 metros cúbicos (promedio 1997-2001). Aproximadamente la mitad de esa diferencia tiene que ver con la huella agrícola y la otra mitad con las huellas industrial y urbana conjuntamente. Varias son las circunstancias que explican este hecho, y que tienen que ver tanto con la disparidad de fuentes estadísticas utilizadas en el caso español, como con los supuestos metodológicos empleados en las dos aproximaciones. Ambas cosas hacen, como veremos, que los resultados no sean estrictamente comparables.

Tabla A.6. Huella hidrológica de la Comunidad de Madrid y de España, (m³/hab)

	Comunidad de Madrid (A)	España (B)	Diferencias absolutas (B) - (A)	Diferencias en porcentaje (%)	Contribución a la diferencia (%)
Urbana	73	105	32	43,8	4,9
Industrial	11	299	288	2.618,2	43,7
Agrícola	1.583	1.922	339	21,4	51,4
TOTAL	**1667**	**2325**	**659**	**39,5**	**100**

Fuente: Comunidad de Madrid, elaboración propia. España: Chapagain y Hoekstra (2004, vol. II, apéndice XX).

a) En primer lugar nos encontramos con la disparidad de cifras y fuentes que tratan de registrar los usos del agua en España y que, como recordábamos páginas atrás, para el caso del regadío o la industria, revelan la necesidad de reforzar y sistematizar las estadísticas de base del agua, tanto en cantidad como en calidad. Esta circunstancia afecta claramente, por ejemplo, al resultado sobrestimado de la huella española y, por tanto, a su comparación con la de la Comunidad de Madrid.

Así, lo primero que sorprende es el dato manejado de la huella hidrológica industrial de España (299 metros cúbicos por habitante)[72] que superaría en 26 veces a la estimada en este trabajo para la Comunidad de Madrid, siendo responsable del 44 por ciento de la discrepancia total. Esa cifra se apoya, sin embargo, sobre un dato claramente erróneo de uso del agua en la industria en España (7.298 hectómetros cúbicos) que se repartiría proporcionalmente entre el VAB industrial y las correspondientes exportaciones e importaciones de mercancías para obtener el consumo total[73]. Decimos que es claramente erróneo porque, con independencia de los problemas derivados de las estadísticas (que son variados)[74] , esta cantidad supera con mucho las diferentes estimaciones para este uso en las fuentes españolas disponibles. Por ejemplo, el INE[75] , a pesar de que ofrece a veces informaciones contradictorias para la misma rúbrica, se mantiene siempre muy por debajo de ese valor. En la Encuesta sobre el suministro y tratamiento del agua —bajo el epígrafe "Sectores económicos"—en el que se encuentran la industria y los servicios—estima una cifra de 778 hectómetros cúbicos (nueve veces menor) como media para el mismo período 1997-2001[76]. Con metodología de Eurostat para una serie homogénea con datos europeos desde 1992, el INE se hace eco además de una cifra 1.289 hectómetros cúbicos captados por la industria manufacturera que, como es obvio, también se encuentra muy por debajo del dato utilizado por Chapagain y Hoekstra (2004)[77]. Una estimación del mismo orden de magnitud ofrece recientemente el Ministerio de Medio Ambiente[78] cifrando el uso del agua en la industria para 2001 en 965 hectómetros cúbicos[79]. Como es natural, y fácilmente comprobable, todas estas cifras hacen disminuir considerablemente la huella hidrológica per cápita de la economía española a niveles similares a los de la Comunidad de Madrid. Dados los problemas e incertidumbres, y sin decantarnos por una u otra estimación, de haber elegido Chapagain y Hoekstra cualquiera de esas cifras totales —o un promedio— su huella industrial se hubiera reducido de los 299 metros cúbicos por habitante al entorno de 30-40 metros cúbicos por habitante.

Ahora bien, el problema es que estas discrepancias relativas al uso del agua en la industria se repiten nuevamente cuando se trata del uso del agua urbana. Por ejemplo, mientras Chapagain y Hoekstra (2004) llegan a la cifra de 105 metros cúbicos por habitante a partir de unos usos totales de 4.242 hectómetros cúbicos (promedio para 1997-2001), dicha cifra dista mucho de otras estimaciones como es la del INE[80] que la sitúan en los 2.779 hectómetros cúbicos como media para el mismo período, lo que, con todas las cautelas, daría lugar a una huella urbana de 68 metros cúbicos por habitante.

---

[72] Dada la formula de cálculo estos 299 metros cúbicos por habitante se distribuyen entre 138 metros cúbicos con origen en mercancías industriales producidas y consumidas en España y 161 metros cúbicos relacionados con las importaciones netas. Chapagain y Hoekstra, (2004, vol. II, apéndice XVII).

[73] Chapagain y Hoekstra, (2004, vol. II, apéndice XVII).

[74] Esto lo reconocía meridianamente ya en 2000 el Libro blanco del agua en España: "Existe un escaso conocimiento sobre la demanda real de cada una de las industrias, debido a su gran dispersión (tanto territorial como sectorial), a la propia complejidad del uso industrial, y a la falta de controles estadísticos sistemáticos sobre el consumo de agua, más allá de la facturación en el caso en que se adquiera de la red municipal. Esta falta de conocimiento preciso supone uno de los principales problemas en la evaluación de la demanda industrial, y ha dado lugar a que se tienda a establecer las dotaciones en función de la superficie ocupada, en el caso de los polígonos industriales, o del número de empleados, en el caso de industrias concretas, sustituyendo así las dotaciones referidas a unidad de materia prima o de producto que —considerando la evolución tecnológica— podrían ser más exactas" (pág. 252).

[75] Véase: www.ine.es.

[76] Se excluyen de esta Encuesta el uso agrario.

[77] En el desconcierto estadístico sobre esta cuestión, el propio INE presentó en 2001 una Encuesta sobre el uso del agua en el sector industrial, 1999, sin continuidad posterior y que, en aquella fecha, estimaba dicho uso en 1.553 hectómetros cúbicos.

[78] MMA, El agua en la economía española: Situación y perspectivas, Madrid, 2007, pág.219.

[79] Tampoco el Libro blanco del agua del Ministerio de Medio Ambiente, que se apoya sobre las "demandas" manifestadas en los Planes Hidrológicos de Cuenca ofrece una cifra muy diferente al estimar la "demanda de la industria" en 1.647 hectómetros cúbicos a finales de la década de los noventa del siglo pasado. En este caso con un matiz: se trata, sin embargo, de una estimación de las "demandas" de la industria que no está conectada a la red de abastecimiento municipal, a las que se aplican los coeficientes de dotaciones y procedimientos reseñados en la nota 3 anterior. MMA, Libro blanco del agua en España, Madrid, 2000, págs. 279-281.

[80] INE, Encuesta sobre el suministro y tratamiento del agua. Para hacerlo comparable con la definición de Chapagain y Hoekstra (2004, pág. 24), los usos urbanos incorporan aquí tanto los realizados por los "hogares" como los que la Encuesta denomina "consumos municipales" y "otros".

El problema, además, es que estas diferencias en las estimaciones del uso de agua urbana o industrial en diversas fuentes oficiales se agrandan, aún más, cuando se desciende a la escala regional, por lo que las comparaciones entre ambos niveles se dificultan, al encontrarnos con un baile de cifras que pone en entredicho la fiabilidad de las fuentes.

b) Las diferencias anteriores explican, pues, una buena parte de las discrepancias. Sin embargo, todavía restan algunas que no cabe achacar estrictamente a las fuentes estadísticas manejadas. Es el caso sobre todo de la huella agrícola —donde la discrepancia es del 21 por ciento— y también, en parte, de la huella industrial.

Por lo que a la huella agrícola respecta, ambos datos no son comparables dada la utilización de diferentes coeficientes y metodología para la obtención de la ETR de España y de la Comunidad de Madrid, ya comentada en el texto. Esto también se aplicaría a la asignación del agua virtual incorporada en los productos agrícolas y ganaderos importados en uno y otro caso. Por otra parte, mientras en el caso español las cifras de comercio exterior solo incorporan las del comercio internacional (más robustas y detalladas), las cifras del comercio exterior de la Comunidad de Madrid incorporan datos tanto de comercio internacional (con el resto del mundo) como de comercio interregional (con el resto de las regiones), y la disponibilidad y desagregación de estos últimos es mucho menor que en el caso de los primeros. Sabiendo que el grueso del comercio exterior madrileño se establece con el resto de regiones españolas, esta circunstancia adquiere especial relevancia y podría dar lugar a cierta infravaloración en el caso de la Comunidad de Madrid.

Tabla A.7. Diferentes estimaciones de usos del agua urbana e industrial en España (hm^3)

	INE (media 1997-2001)	Eurostat (media 1997-2001)	MMA 2001	Chapagain y Hoekstra (1997-2001)
Urbano	2.779	...	2.574	4.242
Industrial	778	1.289	965	7.258

Por lo que hace a las diferencias con la huella industrial, ya se ha explicado a lo largo del texto la mejora metodológica de nuestra aproximación a partir de los coeficientes físicos de consumo a nivel de actividad industrial o proceso, frente al reparto de los consumos en función del valor añadido en el caso español (utilizado en Chapagain y Hoekstra, 2004). Esto, en parte, estaría en el origen tanto del diferente valor relativo de la huella industrial, como de la distribución dentro del propio sector, así como del agua virtual asociada a las mercancías industriales importadas y exportadas.

Todo lo anterior muestra los amplios márgenes de incertidumbre que rodean las estimaciones del agua virtual y la huella hidrológica, derivadas tanto de la gran disparidad y la escasa fiabilidad de muchas de las fuentes de datos, como de los distintos criterios de cálculo. La falta de homogeneidad de los resultados dificulta, así, su comparabilidad en el espacio y en el tiempo.

Hay que advertir, no obstante, que en el presente trabajo hemos contado con datos mucho más sólidos que los disponibles a escala nacional -como son los abastecimientos urbano-industriales controlados por el Canal de Isabel II, frente a los estimados para el conjunto del país-, otras veces, hemos tenido que contar con datos más endebles -como es el caso de las entradas y salidas de productos en la región, que se suponen mejor registradas para el conjunto del país por las estadísticas del comercio exterior. Además, hemos tratado de confirmar la coherencia de nuestras estimaciones situándolas en el marco de un análisis general del agua en la región, utilizando las redes de aforos, pluviómetros y perfiles de suelos disponibles para estimar el agua que entra, sale y se consume en la región. En suma, que hemos tratado de apoyar nuestras estimaciones en los datos más solventes que hemos podido recabar y en las metodologías más afinadas posibles. Pese a ello, hemos señalado las limitaciones y carencias de las fuentes de información disponibles para incentivar así a mejorarlas.

ANEXO 5. Índice de figuras

Figura 1. Los diez primeros países según la huella hidrológica total (1997-2001)(km^3) - pág. 37

Figura 2. Los diez primeros países según la huella hidrológica per cápita (1997-2001)(m^3/hab.) - pág. 38

Figuras 3 y 4. Distribución porcentual de la huella hidrológica española según tipo y cantidad en el origen, (promedio 1997-2001) - pág. 41

Figura 5. Hidrología de la Comunidad de Madrid - pág. 47

Figura 6. Correlación entre el balance potencial y la altitud - pág. 53

Figura 7. Temperatura según la altitud del terreno - pág. 55

Figura 8. Precitación media anual según la altitud del terreno - pág. 56

Figura 9. Aforos y balances hídricos, embalses del Canal de Isabel II y San Juan - pág. 64

Figura 10. Población abastecida por el Canal de Isabel II y población total de la Comunidad de Madrid - pág. 68

Figura 11. Flujo de materiales de construcción (millones de tm) - pág. 71

Figura 12. Dotación de agua por sectores industriales - pág. 74

Figura 13. Relación de consumo de agua y producción industrial en la Comunidad de Madrid - pág. 76

Figura 14. Consumo de agua y su ajuste tendencial en la Comunidad de Madrid - pág. 76

Figura 15. Regadíos públicos y privados en la Comunidad de Madrid - pág. 82

Figura 16. Estimaciones del consumo de agua en la agricultura según superficie y cultivos (hm^3/año) - pág. 91

Figura 17. Entrada de materiales en la Comunidad de Madrid, 1984 y 2005 (miles de toneladas) - pág. 97

Figura 18. Salida de materiales de la Comunidad de Madrid, 1984 y 2005 (miles de toneladas) - pág. 97

Figura 19. Flujos de alimentos y bebidas en la Comunidad de Madrid (miles de toneladas) - pág. 100

Figura 20. Diferencia entre la oferta y la demanda de electricidad en cada punto del territorio - pág. 112

Figura 21. Aproximación al agua (azul y verde) en la Comunidad de Madrid - pág. 119

Figura 22. Aproximación al agua virtual en la Comunidad de Madrid - pág. 120

Figura 23. Aproximación a la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid - pág. 121

Figura A.1. Balance migratorio de la economía española - pág. 131

ANEXO 6. Índice de tablas

Tabla 1. Cuantificación y renovación de los distintos stocks de agua en la Tierra - pág. 28

Tabla 2. Los diez principales cultivos a escala mundial según el agua virtual incorporada - pág. 35

Tabla 3. Contenido en agua virtual de varios productos (media mundial) - pág. 36

Tabla 4. Flujos de agua virtual en el comercio internacional (1997-2001) (km^3/año) - pág. 38

Tabla 5. Los diez países principales importadores y exportadores de agua virtual en 1997-2001 (km3/año) - pág. 39

Tabla 6. Los diez principales cultivos en España según el agua virtual total (promedio 1997-2001) - pág. 42

Tabla 7. Edafoclima de la Comunidad de Madrid según la altitud del terreno - pág. 49

Tabla 8. Parámetros para calcular el balance potencial de agua en la Comunidad de Madrid - pág. 52

Tabla 9. Salinidad del agua en las estaciones de aforo seleccionadas por su repercusión en las áreas de regadío - pág. 54

Tabla 10. Observatorios meteorológicos considerados - pág. 55

Tabla 11. Profundidad efectiva del suelo en promedio según su clase agrológica en la Comunidad de Madrid - pág. 57

Tabla 12. Capacidad de reserva máxima de agua en los suelos de la Comunidad de Madrid según textura y clase agrológica - pág. 58

Tabla 13. Aumento del agua azul a costa del agua verde en suelos erosionados y valor máximo del agua azul en suelos impermeabilizados (m^3 ha-1 año-1) - pág. 58

Tabla 14. Agua ligada al suelo en primavera en la Comunidad de Madrid - pág. 59

Tabla 15. Valores orientativos de la humedad de la vegetación (masa en gramos de agua referida a 100 gramos de materia vegetal desecada en estufa a 105°C) mediados de primavera y verano en la Comunidad de Madrid - pág. 59

Tabla 16. Humedad de la vegetación de Pinus Sylvestris - pág. 60

Tabla 17. Humedad de la vegetación al final de la primavera en la Comunidad de Madrid - pág. 60

Tabla 18. Edafoclima y vegetación en la Comunidad de Madrid - pág. 60

Tabla 19. Biomasa en la Comunidad de Madrid - pág. 61

Tabla 20. Agua ligada a la vegetación al final de la primavera en la Comunidad de Madrid - pág. 61

Tabla 21. Consumo de agua por la vegetación en secano (evapotranspiración real ETR) en suelos sin limitación de capacidad de reserva de agua útil (2.000 m^3 ha-1) - pág. 62

Tabla 22. Síntesis actual de los colores del agua de la Comunidad de Madrid en año medio - pág. 65

Tabla 23. Agua derivada y suministrada por el Canal de Isabel II (hm^3) - pág. 70

Tabla 24. Agua derivada per cápita - pág. 70

Tabla 25. Consumo de agua por sectores (hm^3) - pág. 72

Tabla 26. Agua derivada de fuera de la Comunidad de Madrid para abastecimiento urbano - pág. 73

Tabla 27. Consumo industrial registrado (m^3) - pág. 75

Tabla 28. Distribución de la industria en la Cuenca del Tajo - pág. 77

Tabla 29. Demanda anual en la Cuenca del Tajo y en la Comunidad de Madrid - pág. 78

Tabla 30. Consumo de agua en la industria de la Comunidad de Madrid, 1984-2005 - pág. 79

Tabla 31. Estimación de la dotación bruta y los volúmenes de agua asignados y derivados al regadío en la Comunidad de Madrid durante el último quinquenio - pág. 81

Tabla 32. Estimación del volumen de agua derivada para riego en el territorio de la Comunidad de Madrid (Hipótesis 2) - pág. 84

Tabla 33. Número de cabezas y consumo de agua de la ganadería en la Comunidad de Madrid - pág. 84

Tabla 34. Hectáreas de secano y regadío y ETR en la Comunidad de Madrid (hectáreas) - pág. 89

Tabla 35. Consumos de agua, suponiendo labores de conservación de suelos, y agua en la Comunidad de Madrid (hm^3) - pág. 90

Tabla 36. Estimación propia del agua virtual asociada a los cultivos de la Comunidad de Madrid a partir de coeficientes específicos obtenidos para la Comunidad de Madrid (media 2003-2005) - pág. 92

Tabla 37. Estimación de agua virtual asociada a los cultivos en la Comunidad de Madrid utilizando coeficientes medios, para el conjunto de España (media 2003-2005) - pág. 94

Tabla 38. Tráfico de mercancías, según modo de transporte en la Comunidad de Madrid (miles de toneladas) - pág. 98

Tabla 39. Entradas y salidas de mercancías interregionales e internacionales de la Comunidad de Madrid por carretera - pág. 99

Tabla 40. Estimación del consumo de agua virtual y la huella hidrológica asociada a los alimentos y bebidas en la Comunidad de Madrid, 2005 - pág. 101

Tabla 41. Agua virtual asociada al comercio exterior total (interregional e internacional) de la Comunidad de Madrid, 2005 - pág. 108

Tabla 42. Coeficientes de agua virtual relativa incorporada en el comercio exterior de la Comunidad de Madrid (m3/tm) - pág. 109

Tabla 43. Evolución de las entradas y salidas de materiales y agua virtual en la Comunidad de Madrid por grupos de productos - pág. 111

Tabla 44. Desglose de la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid, 2005 - pág. 122

Tabla 45. Evolución de la huella hidrológica total de la Comunidad de Madrid (hm^3) - pág. 123

Tabla 46. Evolución de la huella hidrológica per cápita de la Comunidad de Madrid (m^3/hab/año) - pág. 123

Tabla 47. Evolución del déficit de materiales y de agua virtual de la Comunidad de Madrid - pág. 124

Tablas Anexos

Tabla A.1. Estimaciones de población de la Comunidad de Madrid - pág. 132

Tabla A.2. Población abastecida por el Canal de Isabel II (Datos originales y corregidos atendiendo a la nueva serie de población) - pág. 133

Tabla A.3. Porcentaje de población de la Comunidad de Madrid abastecida por el Canal de Isabel II - pág. 133

Tabla A.4. Observatorios meteorológicos - pág. 135

Tabla A.5. Balance exponencial de la humedad del suelo en función de la reserva de agua útil - pág. 136

Tabla. A.6. Huella hidrológica de la Comunidad de Madrid y de España (m^3/hab.) - pág. 174

Tabla. A.7. Diferentes estimaciones de usos del agua urbana e industrial en España (hm^3) - pág. 176

ANEXO 7. Bibliografía

Allan, J.A, "Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible", en Priorities for Water Resources Allocation and Management, Overseas Development Administration, London, 1993, págs.13-26.

Allan, J.A.,"Overall perspectives on countries an regions", in P. Rogers and P. Lydon, P. (eds.) Water in the Arab World: Perspectives and Prognoses, Mass. Harvard University Press, Cambridge, 1994, págs. 65-100.

Bachelard, G., El agua y los sueños, FCE, México 1988 (1ª edición: L'eau et les rêves. Essai sur l'imagination de la matière, París, Livraire José Corti).
Carpintero, O., El metabolismo de la economía española: Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000), Fundación César Manrique, Lanzarote, 2005.

Chapagain, A.K. and A.Y. Hoekstra: "Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international trade of livestock and livestock products", en: Hoekstra, A.Y., (ed.), Virtual Water trade Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series, nº 12, UNESCO-IHE, 2003,págs. 49-76.

Chapagain, A.K., A.Y. Hoekstra, Water Footprints of Nations. 2 Vol., Value of Water Research Report Series, nº 16, UNESCO-IHE, 2004, pág.9.

Chapagain, A.K., A.Y. Hoekstra, (2004): Water Footprints of Nations, op.cit., pág. 2.

Canal de Isabel II, Manual de abastecimiento del Canal de Isabel II, Principales infraestructuras, 2003.

Estevan, A., y A. La Calle, Intercambios de agua entre demandas urbanas y agrarias. Mimeo, 2007.

European Environmental Agency, (2004): Corine-Land Cover, 2000.

Gascó, J.M. y Naredo, J.M. (dirs.) (1994): Las Cuentas del Agua en España. Madrid, MOPU. Hay versión resumida en inglés: Naredo, J.M. (1997) Spanish water accounts (sumary report) en San Juan, C. y Montalvo, A. (eds.) Environmental economics in the European Union, Mundi-Prensa y Universidad Carlos III, Madrid, 1994, págs.369-443.

Hoekstra, A.Y, (ed.), (2003): Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series, nº 12, UNESCO-IHE.

Hoekstra, A.Y. and Hung, P.Q.,Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, Value of Water Research Report Series No. 11, UNESCO-IHE, 2002

Hoekstra, A.Y., "Virtual Water: An introduction", en: Hoekstra, A.Y., (ed.), Virtual Water trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series, nº 12, UNESCO-IHE, 2003.

Illich, I., H2O y las aguas del olvido, Cátedra, Col. "Teorema", Madrid, 1989.

INE, Estadística sobre el suministro y tratamiento del agua, (www.ine.es).

INE: Estadística del uso del agua en la industria, 1999, (www.ine.es).

Llamas, R., Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, 2005.

Margalef, R.,Planeta azul, planeta verde, Prensa Científica S.A., Barcelona, 1992.

Meadows, D. H., Meadows, D. y Randes, J., Beyond the limits, 1991 (Nuestra referencia corresponde a la edición en castellano de Eds. Aguilar y El País de 1992).

Ministerio de Medio Ambiente, Libro blanco del agua en España, MMA, Madrid, 2000.
Ministerio de Medio Ambiente, El agua en la economía española: situación y perspectivas, MMA, Madrid, 2007.

Naredo, J.M., "Anatomía y fisiología de la conurbación madrileña: gigantismo e ineficiencia crecientes", en VVAA, Madrid, a, ante, cabe,.., Club de Debates Urbanos, Madrid, 2003, págs. 72-91.

Naredo, J.M. y Frías, J., "Metabolismo económico de la conurbación madrileña (1984-2001)", Economía Industrial, nº 351, 2003, págs. 87-114.

Naredo, J.M. y Valero, A., Desarrollo económico y deterioro ecológico, Fundación Argentaria y Visor Distribuciones, Col. "Economía y Naturaleza", Madrid, 1999.

Oki, T., M. Sato, A. Kawamura, M. Miyake, S. Kanae and K. Musiake, "Virtual water trade to Japan and in the world", en: Hoekstra, A.Y., (ed.), Virtual Water trade. Virtual Water trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series, nº 12, UNESCO-IHE, 2003, págs. 221-236.

Shiklomanov, I. World water resources. A new appraisal and assessment for the 21th. Century, United Nations, UNESCO, París, 1998.

Shiklomanov, I., World water resources: Modern assessment and outlook for 21-st century, Federal Service of Rusia for Hydrometeorology & Environment Monitoring State, Hydrological Institute, San Petersburg, 1999.

United Nations Statistics Division, Integrated Environmental and Economic Accounting for Water Resources (IEEWAR 2006), 2006.

Valero, A. et alt., "Fundamentals of Physical Hydronomics: a new approach to assess the environmental costs of the European Water Framework Directiva", ponencia presentada en la conferencia internacional de la International Society for Ecological Economics (ISEE), celebrada en diciembre de 2006 en Nueva Delhi.

Velázquez, E, "Water trade in Andalusia. Virtual water: An alternative way to manage water use", Ecological Economics, 63, 2007, págs. 201-208.

Wackernagel, M. and Rees, W., Our Ecological Footprint, BC, Philadelphia, Gabriola Island, 1996.

Zimmer, D. and Renault, D., 'Virtual water in food production and global trade: Review of methodological issues and preliminary results', en: Hoekstra, A.Y., (ed.), Virtual Water trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series, nº 12, UNESCO-IHE, 2003, págs. 93-109.

www.cyii.es

Canal de Isabel II
Santa Engracia, 125. 28003 Madrid