

DOI: 10.24850/j-tyca-2020-04-03

Artículos

Sustentabilidad de la huella hídrica en la cuenca del valle de México

Water footprint sustainability at valley of Mexico's basin

Jorge A. Morales-Novelo¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9143-2452>

Lilia Rodríguez-Tapia², ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1456-999X>

¹Departamento de Economía, Área de Crecimiento Económico y Medio Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Ciudad de México, México, jamn@azc.uam.mx

²Departamento de Economía, Coordinadora Especialización en Economía y Gestión del Agua, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Ciudad de México, México, lrt@azc.uam.mx

Autor para correspondencia: Jorge A. Morales-Novelo,
jamn@azc.uam.mx

Resumen

El objetivo del trabajo consiste en estimar la huella hídrica (consumo de agua fresca) de la Cuenca del Valle de México (CVM) —la región más poblada y de mayor actividad económica de México—, aplicando una metodología que incorpora el agua virtual al esquema ingenieril basado en cuantificar la extracción y los usos de agua, y que mide con mayor precisión el estrés que enfrentan los recursos hídricos por el enorme consumo en la cuenca. La huella hídrica estimada fue de 3 895.59 hm³ de agua fresca anual en 2015, que mostró los requerimientos del consumo de los residentes en la CVM. La huella equivale a la captación de agua anual promedio en la presa Falcón (Tamaulipas, al norte de México), que da cuenta del enorme requerimiento del recurso. Abastecer tal nivel de consumo de agua ha requerido la creación de una complicada y costosa ingeniería de suministro, y la sobreexplotación de recursos hídricos propios y externos. En la CVM, cuando se consumen 202 m³ de agua, 100 m³ se explican por agua renovable y 102 m³ de agua no renovable. De este último valor, 39.3 m³ provienen de acuíferos sobreexplotados en la misma cuenca; 32.8 m³ de la importación de otras cuencas sobreexplotadas, y 30.4 m³ es agua virtual importada vía el comercio exterior de la cuenca. Dicha composición muestra que la mitad del consumo se basa en la extracción predatoria de recursos hídricos, que se capta en el índice de sustentabilidad de 202%, que registra la huella hídrica en la CVM, valor que indica su extrema fragilidad para mantenerse en el tiempo.

Palabras clave: agua virtual, intercambio de agua virtual, insumo-producto, multiplicador agua virtual.

Abstract

This paper estimates the water footprint (fresh-water consumption) at Valley of Mexico's Basin (CVM in Spanish). This region has the biggest population and economic activity of Mexico. The methodology incorporates virtual water to the engineering scheme based on quantifying extraction and water use, and which more accurately measures the stress faced by water resources due to the enormous water consumption in the basin. The estimated water footprint is 3 895.59 hm³ of annual fresh water in 2015, making evident the water requirements of the residents of the CVM. Hence, the footprint is equivalent to the average annual water catchment at the Falcón Dam (Tamaulipas, northern Mexico), which accounts for its enormous resource requirement. Supplying such a level of water consumption has required the creation of a complicated and expensive supply engineering and overexploitation of not only own but also and external water resources. More precisely, when 202 m³ of water are consumed in the CVM, 100 m³ are explained by renewable water and 102 m³ of non-renewable water. Of this last value, 39.3 m³ come from overexploited aquifers in the same basin; 32.8 m³ from the import of overexploited basins, and 30.4 m³ is virtual water imported via the foreign trade of the basin. Finally, this composition shows that half of the consumption is based on the predatory extraction of water resources. This is received in the sustainability index of 202%, which is recorded by the water footprint in the CVM and is a value that indicates its extreme fragility to maintain itself over time.

Keywords: Virtual water, water sustainability, integral management, net water saving, input-output, virtual water multiplier.

Recibido: 09/04/2019

Aceptado: 06/10/2019

Introducción

En la perspectiva tradicional, el estudio de los recursos hídricos frescos relaciona su disponibilidad con sus usos, que describen el origen y destino de éstos. Dicha perspectiva estima la demanda, agregando los usos de agua de los diferentes sectores de la economía investigada. El agua que se suministra es extraída de un territorio e importada de cuencas externas.

Aunque la perspectiva tradicional es útil, no da cuenta de todas las necesidades hídricas reales de la región con relación a sus patrones de producción y consumo (Hoekstra & Chapagain, 2008). En vista de este límite, no se considera que en la región de estudio se consumen muchos bienes no producidos en ésta, que usaron agua externa en su elaboración. Ello impide considerar el agua de origen externo explicada por el saldo

neto del intercambio de bienes y servicios consumidos en la misma, y que se denomina agua virtual. En estas condiciones, el agua consumida en una región casi nunca es igual a la cantidad de agua extraída.

Investigaciones recientes sugieren complementar la perspectiva tradicional, situando el tema del agua en una visión global, pues la mayoría de las economías están involucradas en el intercambio internacional de bienes y servicios, influyendo sobre los patrones de uso de agua doméstica (Allan, 1997; Hoekstra & Chapagain, 2008). El concepto de huella hídrica (HH), introducido por Hoekstra y Hung (2002), cuantifica el consumo de agua en un área o sector específico en un tiempo acotado, con independencia del origen del suministro de agua; es la base del enfoque ampliado.

La HH se configura con la cantidad de agua que se consume en una región (ciudad, cuenca o país), equivalente a concebirse al agua contenida en el conjunto de bienes y servicios demandados por las personas, y empresas residentes en una región, sin importar que éstos hayan sido producidos al interior de un área geográfica determinada o fuera de ésta.

La estimación de la HH se realiza en dos etapas. La primera cuantifica el agua fresca que se extrae en una región específica y la que se importa de áreas geográficas externas bajo el enfoque tradicional. La segunda implica estimar el saldo neto del agua virtual (ver adelante), resultado del intercambio externo de la región. La composición de la HH constituye un indicador multidimensional que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuente y región de origen (superficial, subterránea, de lluvia, regional o extra regional) (Hoekstra & Chapagain, 2008).

Además, los componentes de la HH pueden especificarse geográfica (huella hídrica interna y externa) y temporalmente. Desde el punto de vista de la fuente de procedencia del agua, la HH se clasifica en: agua azul (agua fresca); verde (agua de lluvia), y gris (agua residual) (Falkenmark, 2003). En este trabajo se estima la HH azul, superficial y subterránea de la CVM.

El término agua virtual fue acuñado por Allan (1998) y desarrollado por Hoekstra (2003), y se refiere al “volumen total” de agua utilizada (directa e indirecta) en la producción de un bien (Allan, 1997; Hoekstra, 2003; Garrido *et al.*, 2010) . La denominación agua virtual se debe a que se estima en forma figurada el contenido de agua de cada bien.

En la noción de agua virtual subyace la propiedad de que los bienes al intercambiarse trasladan el agua utilizada y/o incorporada en su producción. Los bienes importados en una región se traducen en importación de agua virtual (Haddadin, 2003), y su consumo se interpreta como uso de agua virtual. De la misma forma, las exportaciones netas de bienes y servicios se conciben como agua doméstica (utilizada y/o incorporada en su producción) destinada a la satisfacción de necesidades externas (Haddadin, 2003; Chapagain, 2004). En este contexto, el intercambio externo de bienes y servicios de una región es el vehículo de asignación de recursos hídricos que de manera eventual puede traducirse en ahorro o déficit doméstico de agua. Por tanto, el concepto de agua virtual se aplica en el contexto de los flujos de intercambio de bienes y servicios con otras regiones; se refiere al volumen de agua utilizada en su fabricación, y sugiere la cantidad de agua exportada e importada.

El agua virtual se mide por la cantidad de agua utilizada en la producción de bienes y servicios, lo que depende de las condiciones técnicas de producción en el lugar de origen (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011), determinado por la tecnología utilizada en un momento en el tiempo. Existen dos metodologías para la cuantificación del agua virtual: el enfoque de sumatoria de la cadena y el enfoque escalonado acumulativo.

El primero se aplica a productos específicos y consiste en medir el agua utilizada en toda la cadena de producción de cada bien o servicio. El segundo se aplica genéricamente, cuantifica el agua fresca incorporada en la última etapa del procesamiento del producto, agregando el agua fresca que se utilizó en la producción de los insumos incorporados en su proceso de producción (Wang, Xiao, & Lu, 2009). El agua virtual estimada bajo estos procedimientos se expresa en diversas unidades: para el caso de los productos agrícolas, en $\text{m}^3/\text{tonelada}$ o litros/kg ; en el caso de los productos industriales, puede ser en m^3/pieza ; para una estimación genérica de actividades diversas, litros de agua por unidad monetaria de valor de la producción ($\text{litros}/\text{\$}$).

Una vez determinada el agua virtual que contiene la producción en términos unitarios (unidades arriba señaladas), se puede escalar la estimación a un nivel de agregación mayor. Por ejemplo, estimar el agua virtual, resultado del intercambio externo, lo que conduce de forma natural a la noción de ahorro doméstico hídrico (Oki & Kanae, 2004; De Fraiture, Cai, Amarasinghe, Rosegrant, & Molden, 2004; Chapagain, Hoekstra, Savenije, & Gautman, 2006; Yang & Zehnder, 2007). Este

concepto mide el ahorro de agua en una región cuando importa bienes intensivos en agua desde una cuenca donde se producen de forma eficiente, con alta productividad hídrica, con bajos insumos de agua por unidad de producto. De forma eventual puede suceder que en lugar de ahorro se obtenga un déficit global hídrico, explicado por la importación de bienes intensivos en agua y baja productividad hídrica de otra región. El ahorro doméstico hídrico de una región muestra la asignación de sus recursos hídricos por mediación del intercambio externo de bienes y servicios.

Una cuenca hidrológica es la unidad territorial que registra el agua que cae por precipitación, escurre, se evapora o se almacena como humedad del suelo. En este espacio se capta agua renovable que constituye la oferta de agua que determina un consumo sustentable del recurso. La HH mide el nivel de consumo de agua en la cuenca, magnitud que, contrastada con la oferta, permite dimensionar la sustentabilidad del recurso hídrico en la región.

El presente estudio se realiza para la Cuenca del Valle de México (CVM), región hidrológica ubicada en el centro de México, con una superficie de aportación de 9 697.8 km², que incluye 96 municipios de Estado de México, Ciudad de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla (Figura 1). Este espacio ha sido señalado como ideal para el análisis de la disponibilidad y usos del agua (UNEP, 2012).

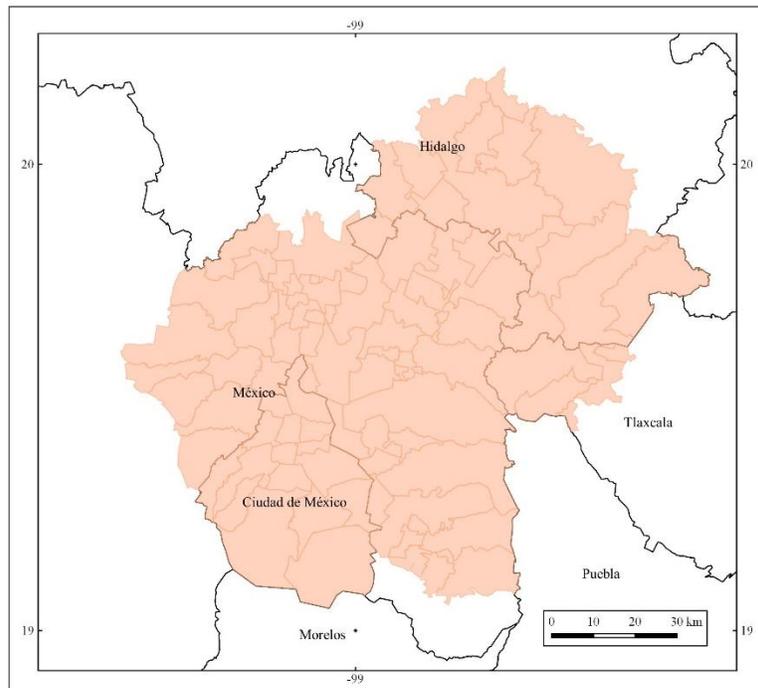


Figura 1. Cuenca del Valle de México. Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (2017).

La CVM es el principal centro productor de riqueza económica del país y registra una alta demanda de consumo de agua fresca para mantener esa posición, frente a una fragilidad de sus fuentes de abastecimiento, que apuntan una complicación extrema para cubrir las necesidades de suministro del recurso a hogares y empresas (Rodríguez & Morales, 2012).

El objetivo de la investigación es cuantificar la huella hídrica de la Cuenca del Valle de México, en la visión que incluye el agua virtual. El concepto de HH y agua virtual tiene implicaciones como instrumento estratégico para la política hídrica (World Water Council, 2004).

Además de la introducción, el trabajo incluye un apartado en el que se presenta la metodología aplicada para estimar la HH. En el apartado de resultados se presenta la HH estimada para la CVM y los indicadores de sustentabilidad hídrica. En las conclusiones se resumen los hallazgos más importantes. Por último, en el apartado discusión se analizan, comparan y evalúan los resultados, y se reflexiona sobre la sustentabilidad de la HH en la Cuenca del Valle de México.

Materiales y métodos

Existen dos vías para estimar la HH de una región: de lo macroeconómico a lo microeconómico (*top-down*), o el camino inverso (*bottom-up*). Ambos enfoques, en teoría, arrojan el mismo resultado, pues no existen cambios en el *stock* de la producción durante el año (Hoekstra, 2011). En este trabajo se adopta el enfoque *top-down* para el periodo de un año y la HH se expresa en hm^3 (millones de m^3).

La HH de una región se mide por el consumo de agua fresca de sus residentes en un periodo determinado, por lo general un año. Éste tiene como componentes el uso de agua de los hogares y del gobierno (uso final), y el de los establecimientos (uso productivo) que realizan las diversas actividades económicas. El uso se denomina consuntivo cuando

el agua que se extrae de los cuerpos de agua se emplea sin que retorne a la fuente. Las razones pueden ser porque se evapora, se incorpora al producto, o bien se descarga como agua residual en otra área geográfica u otro periodo (Young & Loomis, 2014); esto no significa que el agua desaparezca, pues permanece en el ciclo y siempre se descarga en algún otro sitio.

La HH cuantifica el agua fresca consumida en una región sin importar su origen; puede provenir de la misma región o de otras cuencas o naciones. No se considera el agua reciclada y reutilizada, al no ser claro cómo contabilizarla.

HH medida por la demanda final

La HH de una región ($HH_{\text{región}}$) es igual a la suma de las huellas hídricas de todos los procesos (HH_{proceso}) que usan agua al interior de su delimitación geográfica. En términos simples, se define como la suma del agua fresca que consumen todos los procesos en una región:

$$HH_{\text{región}} = \sum HH_{\text{proceso}} (q_i) \quad i = 1 \dots n \quad [\text{volumen/año}] \quad (1)$$

Donde q_i es un proceso que va desde $i = 1 \dots n$, expresado en volumen de agua por año; HH_{proceso} representa la huella hídrica del proceso q_i , que puede ser cualquier proceso, como un determinado cultivo o actividad industrial (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011).

Desde el punto de vista económico, los procesos se clasifican en tres grupos: un primer grupo incluye todas las actividades económicas desarrolladas en la cuenca, que en conjunto definen el volumen de agua denominado "consumo productivo de agua (CPA)"; un segundo grupo explica un volumen de agua fresca consumida por todos los hogares, el gobierno y residentes extranjeros en la cuenca, clasificada bajo el nombre de "consumo final de agua (CFA)", y el tercer grupo, que expresa el "consumo neto de agua virtual (CNAV)", definido por el saldo neto del agua virtual que contienen las importaciones, menos las exportaciones de la región con el resto del país y del mundo. Lo que se expresa de la siguiente forma:

$$HH_{\text{región}} = CPA + CFA + CNAV \quad (2)$$

HH medida por la oferta de agua

La HH se puede estimar a partir de las fuentes de suministro de agua fresca y se expresa de la siguiente forma:

$$HH_{\text{región}} = HH_{\text{interna}} + HH_{\text{externa}} \quad (3)$$

Considerando sus fuentes de abastecimiento, la $HH_{\text{región}}$ se explica por agua extraída de la misma cuenca (HH_{interna}) y el agua importada de otras (HH_{externa}).

Tomando en cuenta la identidad que existe entre el origen (oferta) y destino (demanda) del agua en la producción de la región, se igualan las identidades 2 y 3, lo que define la Ecuación (4):

$$CPA + CFA + CNAV = HH_{\text{interna}} + HH_{\text{externa}} \quad (4)$$

Esta ecuación refleja el concepto hidrológico de la huella, pues se refiere al origen de los flujos de agua que satisfacen las necesidades de los residentes de la cuenca; es clave para la estimación de la HH.

Estimación de la huella hídrica

En lo que se refiere a los siguientes componentes, la $HH_{\text{región}}$ se estima por el lado de la oferta.

HH interna

La HH_{interna} se estima a partir de agregar todos los flujos de agua fresca extraídos en la misma región ($Extracción_{\text{totalregión}}$), perspectiva que en este trabajo se define como ingenieril; la información se obtiene de las estadísticas hídricas disponibles (Ecuación (5)):

$$HH_{\text{interna}} = Extracción_{\text{totalregión}} \quad (5)$$

Al volumen de agua que define la HH_{interna} no se descuenta el agua utilizada en la producción de bienes y servicios exportados (agua virtual hacia otras cuencas o fuera del país (V_e), pues dicho ajuste se realiza en el cálculo de la huella externa, con lo que se evita la doble contabilidad.

En la estimación de la HH_{interna} es relevante distinguir entre los diferentes tipos de fuentes de agua fresca. La clasificación más relevante es entre agua superficial y agua subterránea (renovables) y agua subterránea fósil. Puede hacerse la distinción hablando de huella hídrica azul superficial, HH subterránea renovable y HH azul subterránea fósil

(HH azul ligera, HH azul oscura y HH negra, por utilizar colores en la clasificación).

HH externa

La HH_{externa} tiene dos componentes que miden el agua proveniente del exterior de la región (Ecuación (6)):

$$HH_{\text{externa}} = HH_{\text{aguafrescaimportada}} + HH_{\text{aguavirtual}} \quad (6)$$

El primero indica el agua fresca importada por ductos de cuencas vecinas ($HH_{\text{aguafrescaimportada}}$) y que se usa para abastecer el consumo de los hogares y del gobierno, así como en la producción de bienes y servicios (también conocido como trasvase). La información se obtiene de las estadísticas hídricas de la región.

El segundo componente es agua virtual importada, magnitud definida como el agua que contiene el saldo neto del comercio exterior de la región ($HH_{\text{aguavirtual}}$). La estimación de esta magnitud se hace por el lado de la demanda de agua y requiere una metodología distinta. La metodología seguida para su estimación se presenta en el siguiente apartado.

Estimación del agua virtual

La cantidad total de agua fresca utilizada en el proceso de elaboración de un bien define su HH; incluye el agua fresca usada en su proceso final, como indirectamente en la manufactura de sus insumos.

Estimar el agua virtual contenida en un producto requiere conocer el agua fresca empleada en todas las etapas de su cadena de producción y sumarlas para obtener el volumen total de agua requerido. El cálculo se ha realizado siguiendo un enfoque de sumatoria de la cadena o con el enfoque escalonado acumulativo (Hoekstra *et al.*, 2011). El primero sólo puede aplicarse a estudios de caso, mientras el segundo es un enfoque genérico.

El enfoque escalonado acumulativo cuantifica el contenido de agua de un proceso de producción de una industria específica, agregando al agua fresca incorporada en la etapa última de procesamiento del bien, el agua fresca que contiene los insumos que son utilizados en su proceso de producción. El procedimiento es una forma genérica de calcular el agua virtual de todas las actividades económicas, y se aplica a la agricultura, manufacturas o servicios. En el caso del sector agrícola, el agua virtual se expresa en términos de m^3/ton o l/kg . En muchos casos, cuando se

estiman los productos agrícolas, el agua virtual se puede expresar como volumen de agua por pieza. En el caso de los productos industriales, el agua virtual puede expresarse en términos de $m^3/\$$ o $m^3/pieza$.

Método insumo-producto (IO) para estimar el agua virtual

El modelo general IO de producción es la base sobre la cual se desarrolla el modelo IO de agua (Rodríguez & Morales, 2016). La metodología IO consiste en extender las tablas de la IO de la región incorporando el uso sectorial del agua. El agua incluida en la matriz es el agua fresca utilizada por todas las actividades de la cuenca. El agua es un insumo primario en la producción de las actividades económicas, su importancia se expresa en el valor de su correspondiente coeficiente técnico, que indica el uso de agua fresca por peso del valor de la producción. La metodología extiende la tabla IO de la región, agregando un vector fila de coeficientes directos de uso del agua, medidos en unidades físicas ($l/\$$). El acoplamiento de los datos del agua con las tablas de IO permite cuantificar los impactos de las demandas sectoriales a lo largo de la cadena de suministro (enfoque escalonado acumulativo), procedimiento que ha sido ampliamente aplicado en estudios previos (Lenzen, 2009; Wang, Xiao, & Lu, 2009; Zhao, Chen, & Yang, 2009; Blackhurst, Hendrickson, & Vidal, 2010;

Rodríguez & Morales, 2013; Guan & Hubacek, 2007; Wiedmann, Lenzen, Turner, & Barrett, 2007).

El método IO en una primera etapa estima las intensidades de uso directo e indirecto del agua utilizando la tabla de IO. El resultado es un vector que contiene la cantidad total de agua (directa e indirecta) requerida para producir una unidad de demanda final por actividad económica o multiplicador de agua virtual, lo que equivale a estimar el agua virtual contenida en una unidad monetaria (peso) de la demanda final (litros/\$) en cada una de las actividades económicas clasificadas en la matriz.

En una segunda etapa, a partir de los datos del comercio de la región con el resto del país y el exterior, se calculan las transferencias de agua virtual (agua contenida en bienes y servicios) entre dichas regiones.

La estimación del agua virtual que contienen las exportaciones (E) e importaciones (M) como componentes de la demanda final se derivan multiplicando sus respectivos vectores por el vector de multiplicadores del agua virtual. Cuando la región importadora no es capaz de producir el producto domésticamente, se recomienda tomar la diferencia entre el promedio global de la HH del producto y la HH de la región exportadora.

El saldo neto se calcula restando al agua virtual importada V_i el agua virtual exportada hacia otras cuencas o naciones (V_e). Dicho saldo define el valor de la HH del agua virtual (HH_{av}):

$$HH_{av} = V_i - V_e \quad (7)$$

El saldo neto del agua virtual puede tener un signo positivo o negativo: el primero indica ahorro de agua, mientras el segundo explica pérdida de agua en la cuenca.

Índice de sustentabilidad de la huella hídrica (ISH)

El ciclo hidrológico recarga cada año los cuerpos de agua subterráneos y superficiales de la región. La recarga es agua renovable que contabiliza la disponibilidad natural del agua; su volumen define el límite de un consumo sustentable de ésta en la región. El índice de sustentabilidad de la HH se define como el porcentaje que resulta de la relación entre la huella de la región con respecto a la disponibilidad natural de la misma:

$$ISH_{\text{región}} = \left(\frac{HH_{\text{región}}}{\text{Disponibilidad natural}} \right) * 100 \quad (8)$$

La relación define la sustentabilidad de la HH y la presión que enfrentan los recursos hídricos (índice de escasez de agua de Hoekstra *et al.*, 2011). Un valor menor o igual a 100% del ISH indica que el agua renovable es suficiente para mantener el consumo que define la huella

hídrica y, por tanto, es sustentable. La sustentabilidad se explica por el ciclo hidrológico anualmente, y que por lo tanto se recupera año con año; la huella no afecta el *stock* de agua no renovable de la región (a menos que otros fenómenos, como el cambio climático, incidan en la misma). Un ISH mayor a 100% indica que el porcentaje excedente a 100 se cubre con agua de origen no renovable o importada de otras regiones, y muestra el grado de no sustentabilidad o dependencia hídrica de la huella.

Datos

La información de extracción y usos del agua en la CVM se obtuvo de *Estadísticas del agua* (Conagua, 2010; Conagua, 2013; Conagua, 2016) y *Censos económicos a organismos operadores de agua* del Laboratorio de Microdatos del INEGI (2014), información entregada de manera directa a los autores.

La base de datos que forma la matriz insumo producto insumo-producto de la Cuenca del Valle de México (MIP-CVM-2008) se construyó con base en información estadística municipal, regional y nacional, censos económicos, registros administrativos y cuentas nacionales (INEGI, 2014; INEGI, 2017), que delimitan la región de estudio y las actividades económicas requeridas. La matriz se estimó a nivel de 80 sectores

económicos, formulados a partir del Sistema de Clasificación Industrial y de Comercio de América del Norte (SCIAN), el cual incluye el sector de captación, tratamiento y suministro de agua por el sector público, que configura la extensión de la matriz y destaca los valores monetarios de la actividad hídrica en la cuenca (Rodríguez & Morales, 2013). El agua fresca usada por las actividades económicas de la MIP requirió un trabajo de compatibilidad entre los 80 sectores económicos y los ocho usos del agua reportados por Conagua. La cuantificación del agua virtual en la CVM se basa en el artículo *Virtual water in an Input-output framework at Valley of Mexico's Basin* (2016), elaborado por los mismos autores. La mayoría de los datos atañen al año 2015; información adicional corresponde a años próximos al referido. La matriz IO es de 2008 y se utilizó para cálculos en 2015, bajo el supuesto de que la estructura económica de la CVM no registra grandes cambios.

Resultados

La HH corresponde a la suma del consumo de agua fresca de los diferentes sectores usuarios en la CVM, que generan una apropiación humana de recursos hídricos, ocasionada por procesos antrópicos. La HH se abastece,

además de agua de la misma cuenca, con agua de trasvases de otras cuencas y de la importación de agua virtual.

En la Tabla 1 se resumen los resultados de la estimación de la huella hídrica de la CVM (HH_{Total}); se reporta un consumo de **3 895.59 hm³** de agua fresca para el año 2015, volumen equivalente a la captación anual promedio en la presa Falcón del río Bravo, o la presa Las Adjuntas de los ríos Purificación y Corona, ambas ubicadas en Tamaulipas, al norte de México. Una huella de tal dimensión se explica por el consumo anual de más de 20 millones de personas y 1 107 131 establecimientos, seguido de la presencia del gobierno.

Tabla 1. Huella hídrica total anual de la Cuenca del Valle de México 2015. Fuente: elaborado a partir de la Tabla 5, Anexo 1.

Origen del agua fresca consumida en la CVM		hm ³	Aportación %
$HH_{interna}$	Extracción de agua fresca en la cuenca	2 699.4	69.2
$HH_{externa}$	Extracción de agua fresca de cuencas externas	1 216.2	31.2
HH_{Total}		3 895.6	100.0

Más de dos tercios de la HH de la CVM se cubren con la extracción de agua en la misma cuenca (HH interna de 69%) y el tercio restante se cubre con agua proveniente del exterior (HH externa de 31%). Dicha

composición de la HH describe muy bien lo insuficiente que resulta la dotación de recursos hídricos de la cuenca para cubrir los requerimientos de agua de los residentes en la CVM y su alta dependencia de recursos externos. El enorme tamaño de la huella hídrica y su dependencia del exterior sugieren fragilidad para garantizar el suministro del recurso en la CVM en el corto y largo plazos, situación que se evalúa bajo el concepto de la sustentabilidad de la HH más adelante.

La enorme dimensión de la HH de la CVM se evidencia al ver que equivale a cuatro y media veces la huella de la cuenca del río Yaqui en el norte de México (Tabla 2), considerando ambas huellas en el esquema puramente ingenieril. Si se incluye el agua virtual en la contabilidad de la HH de la CVM, explica cinco y media veces la del río Yaqui, contraste que llama la atención aún más al observar que el área de la CVM es 13% de la cuenca del río Yaqui.

Tabla 2. Huella Hídrica de dos cuencas de México. Fuente: elaborado a partir de la Tabla 5, anexo 1.

	Cuenca del Valle de México	Cuenca del Yaqui*	Comparación CVM/Yaqui %
HH versión ingenieril	3 310.1	706.5**	468
HH incluye agua virtual	3 895.59	706.5**	551

Área km ²	9 697.8	72 872.7	13.3
----------------------	---------	----------	------

Nota: *IICA, 2017; **no incluye agua virtual.

La disponibilidad natural de agua en la CVM es de 1 922.84 hm³ al año; tres cuartas partes se almacenan en acuíferos, y el resto en presas y ríos (Tabla 3). Esa magnitud es producto del servicio anual del ciclo hidrológico y se asume que es estable en el tiempo. No obstante, existen factores tanto naturales (cambio climático, sequías, zonas de recarga, volumen de precipitación, etc.) como humanos (reducción de las zonas de recarga, crecimiento de la mancha urbana, contaminación de cuerpos de agua, etc.) que pueden alterarla.

Tabla 3. Disponibilidad natural de agua en la Cuenca Valle de México, 2015. Fuente: Conagua, 2012; Conagua, 2013.

	Escorrentamiento superficial virgen medio (hm³) (1)	Recarga media de acuíferos (hm³) (2)	Disponibilidad natural (hm³) (1) + (2)
CVM	678	1 244.8	1 922.8
%	35	65	100

El ISH en la CVM es 202%, resultado de relacionar la huella hídrica de 3 895.59 hm³ con la disponibilidad natural anual de 1 922.84 hm³, valor que indica que el flujo hídrico renovable en la cuenca sólo alcanza a cubrir la mitad del consumo de la huella. La otra mitad de la HH es un consumo excedente equivalente a 102% de la disponibilidad natural; es un volumen de agua equivalente a 1 972.75 hm³ que se obtiene de cuerpos de agua sobreexplotados o del exterior. Esta situación muestra que la mitad de la HH es ambientalmente insostenible. En la Tabla 4 se describen las fuentes de agua que proveen dicho consumo.

Tabla 4. Fuentes de suministro de la huella hídrica de la CVM con agua no renovable 2015. Fuente: elaborado a partir de la Tabla 5; REPDA, 2014.

	Fuente de extracción	hm³	Agua no renovable %	Relación de sustitución entre agua fresca por agua virtual	Grado de vulnerabilidad
Huella hídrica interna	Acuíferos sobreexplotados en CVM	756.5	39.3	1.29	Alta 60% de sobreexplotación (4 acuíferos en veda de 7)
Huella hídrica externa	Agua fresca importada	630.7	32.8	1.08	Alta Sistema Cutzamala (75% agua superficial)

					Sistema Lerma (25% agua subterránea)
Huella hídrica externa	Importación de agua virtual	585.5	30.4	n.a.	Media Otras regiones del país y extranjero
Huella con agua no renovable	Consumo de agua no renovable	1 972.8	102.5	n.a.	Alta

Tabla 5. Huella hídrica total anual de la Cuenca del Valle de México, 2015. Fuentes: Conagua, 2005; Conagua, 2010; Conagua, 2012; Conagua, 2013; Conagua, 2016; INEGI, 2014; REPDA, 2014; Rodríguez y Morales, 2016.

Fuente de extracción del agua azul		hm ³	Aportación (%)
Huella Interna ($HH_{interna}$)	Agua superficial	799.27	24.00
	Agua subterránea	1 900.11	57.06
	Extracción total agua fresca CVM	2 699.38	69.29
Huella externa ($HH_{externa}$)	Agua fresca importada	Sistema Cutzamala (agua superficial)	473.04
		Sistema Lerma (agua subterránea)	157.68
		Total agua fresca importada	630.72
	Agua virtual	Saldo neto agua virtual	585.49

	Extracción total agua fresca externa	1216.21	31.22
	Huella hídrica Total (HH_{Total})	3 895.59	100.00

En el primer renglón de la Tabla 4 se señala el componente más predatorio del consumo de la cuenca: agua fósil extraída de acuíferos de ésta a costa de su sobreexplotación; explica un volumen de 756.54 hm³, equivalente a dos quintas partes del consumo de agua no renovable. Dicha extracción afecta los *stocks* de agua subterránea depositada en los acuíferos hace miles de años, y a medida que avanza su explotación, aumenta el riesgo de agotamiento, poniendo en alto riesgo el suministro de los hogares y empresas que se abastecen de la cuenca. Este horizonte no menciona los graves impactos ambientales que causa en la región y se califica como alta vulnerabilidad.

La HH externa representa tres quintas partes del consumo de agua de origen no renovable de la CVM (62.8%, renglón 2 y 3 de la Tabla 4), muestra la alta dependencia del consumo del agua foránea e indica un alto grado de vulnerabilidad ante situaciones externas adversas al suministro de dichos flujos de agua.

En promedio, al año se importan 630.72 hm³ de agua fresca por medio de ductos (trasvase) extraídos de cuerpos sobreexplotados de cuencas aledañas (agua superficial del Sistema Cutzamala y agua subterránea del Sistema Lerma); representa una tercera parte (32.8%) del agua no renovable que explica la huella hídrica (renglón 2, Tabla 4). El consumo que depende de su importación registra alta vulnerabilidad, lo que es cotidianamente corroborado por los frecuentes cortes del

suministro que afectan a los hogares y empresas que dependen del recurso.

La investigación arroja un saldo neto de agua virtual de 585.49 hm³ favorable a la cuenca, importación que es agua fresca de otras regiones del país y del mundo (en magnitud importante de EUA, vía la importación de bienes agrícolas, entre otros), utilizada en la producción de los bienes y servicios importados. Este componente representa 30.4% del agua no renovable consumida en la cuenca (renglón 3, Tabla 4). La importación de agua virtual reduce la presión sobre los recursos hídricos frescos de la CVM y de cuencas vecinas, y sugiere que de no obtenerse por la vía del intercambio se necesitaría duplicar el volumen de agua fresca vía el trasvase o la sobreexplotación en la misma cuenca. Sin embargo, este componente de la HH registra un alto grado de vulnerabilidad, en el sentido de que por razones económicas puede modificarse el balance comercial con el exterior, fundamental para lograr un saldo positivo en el flujo de agua virtual de la CVM con el exterior (p. ej., si el TLCAN se cancela, ya que México importa granos intensivos en uso del agua, entre otros bienes).

La dependencia de la CVM de la importación de agua fresca y agua virtual es equiparable, lo que explica una relación de sustitución entre ambos de 1.08 m³. Esto muestra la factibilidad de importar bienes intensivos en agua para reducir la presión sobre los recursos hídricos frescos de otras cuencas (y de la sobreexplotación). Sin embargo, hay que anotar que al mismo tiempo aumenta la vulnerabilidad de la cuenca al depender más del exterior.

En síntesis, la huella hídrica en la CVM es insostenible, pues se consumen 202 m³ de agua: 100 m³ de agua renovable y 102 m³ que no lo son. De los 102 m³ de agua no renovable, 39.3 m³ provienen de la sobreexplotación de acuíferos de la misma cuenca; 32.8 m³ son agua fresca importada de otras cuencas sobreexplotadas, y 30.4 m³ son agua virtual importada vía el comercio exterior de la cuenca.

Discusión

Los conceptos de huella hídrica (HH) y agua virtual se relacionan y explican la funcionalidad de la demanda, los usos del agua y el intercambio de bienes. Esta visión se aplica en la estimación de la huella hídrica de la CVM, adicionando agua virtual transferida a la región a través del comercio, incrementando en 15% la cantidad de agua fresca consumida en ésta. Tal visión amplía la tradicional metodología para estimar la huella hídrica.

Los componentes de la huella se estiman a través de los flujos hídricos en escala macro, registrados en la CVM. La incorporación del agua virtual en la huella hídrica de la CVM es el aporte del presente trabajo, en vista de que su cuantificación implica una metodología compleja y detallada. Su cálculo supone que los productores de la cuenca y del

exterior producen con intensidades de agua similares. El supuesto introduce sesgos; sin embargo, estudios anteriores que utilizan un enfoque similar (Hubacek & Giljum, 2003; Lenzen, 2009) han demostrado que esta suposición puede ser razonablemente aplicada para cuantificar las importaciones de agua virtual de origen desconocido.

El saldo neto del agua virtual significa ahorro de agua que reduce en 15% la presión sobre los recursos hídricos que abastecen la cuenca. Ese ahorro implica que si no se importan productos —principalmente de bienes agrícolas— éstos se producirían de forma interna y se duplicaría el volumen de agua fresca vía trasvase para aumentar su producción; o el consumo de agua se reduciría con impactos sobre el crecimiento económico y el bienestar de la población.

A contrapunto, es conveniente profundizar la actual tendencia de reducir la exportación de agua virtual en la CVM, pues ésta se hace a costa de mayor sobreexplotación de los acuíferos y de agua fresca importada que define una huella hídrica no sustentable.

Las transferencias externas de agua en forma virtual son sustanciales y quizás aumentarán con la creciente huella hídrica de la CVM (Ramírez-Vallejo & Rogers, 2004). Intensificar las importaciones de bienes y servicios intensivos en agua ofrece oportunidades y riesgos. La oportunidad más obvia es que el agua virtual puede considerarse como una fuente alternativa barata, dada la escasez absoluta del recurso. La relación de sustitución entre agua fósil y agua virtual es de 1.29 m³, que muestra que un incremento de un m³ de agua virtual reduce en 1.29 m³ la extracción de agua fósil, lo que justifica que la importación de agua

virtual puede ser utilizada por los gobiernos de los estados y municipios que integran la cuenca como una herramienta para liberar la presión sobre sus recursos hídricos domésticos. La relación de sustitución entre el agua de trasvase y el agua virtual es de 1.08 m^3 , lo cual indica que aumentar la importación de agua virtual a diferencia del agua real, que es demasiado cara, aliviará la presión sobre los recursos hídricos de cuencas aledañas, mostrando que el intercambio interregional e internacional puede ahorrar físicamente agua si los productos se importan de regiones del país abundantes en agua fresca. Por ejemplo, del sur del país, que registra una disponibilidad muy alta de agua, o bien de otros países, como EUA, que produce trigo, maíz y sorgo, y que requiere altos volúmenes de agua.

Un grave inconveniente del intercambio es que los efectos indirectos del consumo se exteriorizan a otras regiones o países. En el país, el agua en la agricultura tiene un precio muy por debajo de su costo real y se utiliza un volumen creciente de agua para procesar los productos de exportación. Los costos asociados con el uso del agua de la región o país exportador no están incluidos en el precio de los productos consumidos en la región importadora. Los consumidores generalmente no son conscientes de los problemas de agua en las regiones productoras y no pagan por ello. La teoría económica sugiere que una condición previa para que el intercambio sea eficiente y justo es que los consumidores soporten el costo total de producción y los impactos (Krugman, Obstfeld, & Melitz, 2015). Otra desventaja de las transferencias de agua virtual a una región como la CVM es su dependencia de productos básicos de otras regiones, que ha hecho a la región muy vulnerable. Si por cualquier razón los

suministros de alimentos cesan (por la terminación del TLCAN o por un desastre natural), la región importadora se afectará de manera severa. Una pregunta pertinente es hasta qué punto es adecuado que la región asuma este riesgo o, en otros términos, ¿realmente no existe otra opción? Lo que resulta evidente es que el riesgo puede reducirse mediante la importación de alimentos de una amplia gama de regiones y diversificando las importaciones a más países.

El concepto de agua virtual o agua exógena asume en lo básico dos dimensiones de utilidad práctica: 1) puede ser un instrumento para la política de seguridad hídrica y el uso eficiente del agua; y 2) permite un registro del impacto ambiental sobre los recursos hídricos, en vista del consumo de determinados bienes. Descontada la importancia del agua virtual como instrumento geopolítico y amortiguador en la solución de eventuales conflictos por el recurso, el argumento subyacente, desde el punto de vista de la teoría convencional del intercambio internacional y es que las economías deberían exportar productos en los que tienen ventajas comparativas en su producción, e importar otros en los que tienen desventajas comparativas (Wichelns, 2010). En suma, en economías con escasa disponibilidad de recursos hídricos domésticos, el agua virtual importada constituye un ítem que relaja la presión sobre ellos, reduciendo el costo de oportunidad.

Conclusiones

Un aporte relevante cuando se estima la huella hídrica para la CVM se asocia con la incorporación del agua virtual en la base conceptual y metodológica del análisis hídrico ingenieril en nivel de cuenca hidrográfica. El agua virtual no se considera ni contabilizada en la mayoría de las estimaciones de la huella hídrica y en el análisis de gestión del recurso hídrico hecho en los países a nivel de cuenca, esta precisión conceptual debe incorporarse en la contabilidad hídrica, con el fin de tener un panorama más preciso para la gestión de las cuencas hidrográficas de México.

Los conceptos de HH y agua virtual, relacionan y explican la funcionalidad de la demanda, los usos del agua y el intercambio de bienes y servicios. La incorporación del agua virtual en la estimación de la huella hídrica en la CVM requiere aplicar una metodología relativamente compleja y detallada, esa condición representa la aportación del presente trabajo. Un hallazgo de la investigación es el hecho de que 15% de la huella hídrica se explica por el agua virtual, considerando que la huella hídrica total anual es de **3 895.59 hm³** de agua fresca en la CVM.

La CVM es la región más poblada y de mayor actividad económica de México, situación que explica una huella hídrica anual equivalente a la captación anual promedio en la presa Falcón del río Bravo, ubicada en Tamaulipas, al norte de México. El elevado gasto de agua se explica por el consumo de casi 20 millones de personas y de alrededor de un millón

de unidades económicas asentadas en un área de sólo 9 697.8 km². Cubrir ese consumo de agua ha llevado a la creación de una complicada y onerosa ingeniería de suministro y a la sobreexplotación de recursos hídricos propios y externos, representativo de una región económica subdesarrollada. Dos tercios de la huella total se abastecen de agua extraída de la misma cuenca (69.3% HH interna), y una tercera parte de recursos externos (31.22% HH externa).

La HH interna, además de consumir toda el agua renovable captada al año, extrae agua fósil de sus acuíferos, de tal forma que, hasta hoy, cuatro de los siete acuíferos ubicados dentro de la cuenca registran escasez absoluta.

La HH externa importa agua fresca y agua virtual en proporciones iguales. El agua fresca importada (**630.7 hm³**) proviene de cuencas cercanas (el sistema Lerma-Cutzamala) mediante una costosa infraestructura hidráulica de más de 140 km lineales. El agua virtual importada (**585.49 hm³**) resulta del intercambio de bienes y servicios con el exterior y su elevada participación muestra la creciente importancia en la cuenca.

Considerando la composición actual de la huella hídrica, se observa la complejidad que resulta de su abastecimiento, por lo que mantener dicho nivel de consumo e incluso incrementarlo en el futuro es un desafío. El enorme consumo de agua fresca que se realiza en la CVM contrasta con la fragilidad de sus fuentes de abastecimiento, que registran una cobertura insuficiente y desigual, ineficiencia en su suministro y una complicación extrema para cubrir las necesidades hídricas de los hogares

y empresas usuarias del recurso. La CVM es el principal centro productor de riqueza del país, y existe gran interés en mantener la enorme huella hídrica que registra en el corto y largo plazos, hecho que resulta muy difícil en el presente y aún más si se reflexiona en su suministro futuro.

La reflexión sobre la sustentabilidad de los recursos hídricos se realiza con base en el índice de sustentabilidad de la huella hídrica en la CVM. El valor estimado es de 202% e indica que la mitad del consumo del agua en la cuenca (102%) se abastece con agua de origen no renovable. Esto es, la mitad de la HH parte de un consumo predatorio de los recursos hídricos y se aleja de la sustentabilidad. En términos precisos, cuando se consumen 202 m³ de agua en la cuenca, sólo 100 m³ son agua renovable, y 102 m³ se cubren con agua fósil o proveniente del exterior. De los 102 m³ no renovables, 39.3 m³ provienen de la sobreexplotación de acuíferos de la misma cuenca; 32.8 m³ son agua fresca importada de cuencas aledañas sobreexplotadas, y 30.4 m³ son agua virtual importada por intercambio con el exterior de la cuenca.

Los resultados son críticos. Dos quintas partes del agua no renovable consumida en la cuenca es agua subterránea extraída que sobreexplota los acuíferos (agua adicional a su recarga natural) de la misma cuenca, y muestra un alto grado de vulnerabilidad, pues la vida útil de los acuíferos se acorta a medida que se incrementa la sobreexplotación. Hasta ahora, cuatro de los siete acuíferos ubicados dentro de la cuenca están en veda por tal razón. La dependencia de la importación de agua fresca entubada, además de ser una solución cara, se basa en la sobreexplotación de cuerpos de agua externos, y por lo

tanto con riesgos en el suministro. En contrapunto, la importación de agua virtual reduce la presión sobre los recursos hídricos frescos de cuencas aledañas y destaca la importancia que el comercio de bienes intensivos en agua ha adquirido en la política hídrica. Existe una relación de sustitución unitaria entre el agua fresca importada por trasvase y el agua virtual, y de 1.29 con respecto a la extracción de agua fósil en la CVM; valores elevados que sugieren ser considerados para medidas de política hídrica orientada hacia la sustentabilidad.

Los conceptos de agua virtual y huella hídrica constituyen un desafío a los paradigmas presentes aceptados por la configuración actual de la política hídrica. El estudio muestra que los conflictos relacionados con el agua en la CVM responden a la escasez física absoluta del recurso y a la pobreza de su gestión, escenario que revela una situación progresivamente crítica.

Agradecimientos

El artículo fue elaborado con el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) en el marco del proyecto "Hacia una gestión integral del agua por cuenca hidrográfica: un análisis de disponibilidad y usos, fondo problemas nacionales" (proyecto núm. 120-2015), y con el respaldo del Programa de Cátedras Conacyt, Proyecto 1812, Modelo Hídrico y Económico de la Cuenca del Valle de México, y Proyecto número 959 titulado "Economía espacial del agua". Se agradecen los valiosos comentarios de los dictaminadores anónimos, que permitieron mejorar la presentación de los resultados. Especial

agradecimiento al Laboratorio de Microdatos del INEGI por el procesamiento especial del Cuestionario para los Organismos que realizan la actividad de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua, sin su información este artículo no hubiera sido elaborado.

Referencias

- Allan, T. (1997). *Virtual water: A long term solution for water short Middle Eastern economies?* Leeds, United Kingdom: British Association Festival of Science, Roger Stevens Lecture Theatre, University of Leeds.
- Allan, J. A. (1998). Virtual water: A strategic resource, global solution to regional deficits. *Ground Water*, 36(4), 545-546.
- Blackhurst, B. M., Hendrickson, C., & Vidal, J. S. (2010). Direct and indirect water withdrawals for U.S. industrial sectors. *Environmental Science & Technology*, 44(6), 2126-2130.
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2004). *Water footprints of nations. Volumen 1: Main report. Value of Water Research Report Series.* Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education.
- Chapagain, A., Hoekstra, A., Savenije, H., & Gautman, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, 60(1), 186-203.

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2005). *Sistema Cutzamala. Aguas para millones de mexicanos*. Ciudad de México, México: Comisión Nacional del Agua. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sistema-cutzamala.pdf>

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2010). *Estadísticas del agua en México (edición 2010)*. México, DF, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2012). *Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México*. México, DF, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2013). *Estadísticas del agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (edición 2013)*. México, DF, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2015/09/Estadisticas_Agua_Valle_de_Mexico_2014.pdf

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2016). *Estadísticas del agua en México (edición 2016)*. México, DF, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de http://201.116.60.25/publicaciones/EAM_2016.pdf

De Fraiture, C., Cai, X., Amarasinghe, U., Rosegrant, M., & Molden, D. (2004). *Does cereal trade save water? The impact of virtual water*

- trade on global water use. Comprehensive assessment of water management in agriculture.* Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Falkenmark, M. (2003). Freshwater as shared between society and ecosystems: From divided approaches to integrated challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 358, 2037-2049.
- Garrido, A., Llamas, M. R., Varela-Ortega, C., Novo, P., Rodríguez-Casado, R., & Aldaya, M. M. (2010). *Water footprint and virtual water Trade in Spain.* New York, USA: Springer.
- Guan, D., & Hubacek, K. (2007). Assessment of regional trade and virtual water flows in China. *Ecological Economics*, 61(1), 159-170.
- Haddadin, M. J. (2003). Exogenous water: A condition globalization of water resources. In: Hoekstra, A. Y. (ed.). *Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade* (pp.159-169). Delft, The Netherlands: IHE Delft.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard.* London, United Kingdom: Earthscan.
- Hoekstra, A. Y., & Hung, P. Q. (2002). *Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade.* Delft, The Netherlands: IHE Delft.

- Hoekstra, A. (2003). *Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*. Delft, The Netherlands: IHE Delft.
- Hoekstra, A., & Chapagain, A. (2008). *Globalization of water: Sharing the planets fresh-water resources*. Oxford, United Kingdom: Blackwell Publishing.
- Hubacek, K., & Giljum, S. (2003). Applying physical input-output analysis to estimate land appropriation (ecological footprints) of international trade activities. *Ecological Economics*, 44(2003), 137-151.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Censos Económicos 2014. Procesamiento especial a partir del Cuestionario para los Organismos que realizan la actividad de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua*. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Biografía. (2017). *Marco geoestadístico, diciembre 2017*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463171829>
- IICA, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2017). *Evaluación de la huella hídrica en cuencas hidrográficas: experiencias piloto en Latinoamérica*. Recuperado de <http://www.iica.int>
- Krugman, P. R., Obstfeld, M., & Melitz M. J. (2015). The standard trade model. In: Krugman, P. R., Obstfeld, M., & Melitz M. J. (eds.).

- International Economics* (pp. 118-142). Boston, United States of America: Pearson.
- Lenzen, M. (2009). Understanding virtual water flows: A multi-regional input-output case study of Victoria. *Water Resources Research*, 45(9), 1-11.
- Oki, T., & Kanae, S. (2004). Virtual water trade and world water resources. *Water Science & Technology*, 49(7), 203-209.
- Ramírez-Vallejo, J., & Rogers, P. (2004). Virtual water flows and trade liberalization. *Water Science & Technology*, 49(4), 25-32.
- REPDA, Registro Público de Derechos de Agua. (2014). México: Comisión Nacional del Agua. Recuperado de <https://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx>
- Rodríguez, L., & Morales, J. A. (2012). Crecimiento de la demanda de agua en la Ciudad de México y sobreexplotación de sus acuíferos. En: Oswald, U. (coord.). *Retos de la investigación del agua en México*. (pp. 553-561). Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez L., & Morales J. (2013). Integración de un sistema de cuentas económicas e hídricas en la Cuenca del Valle de México. *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 4(1), 72-89.
- Rodríguez L., & Morales J. (2016). Virtual water in an input-output framework at Valley of Mexico's basin. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(2), 51-66.

- UNEP, UN Environment Programme. (2012). *The UN-Water Status Report on the Application of Integrated Approaches to Water Resources Management*. Nairobi, Kenya: UN Environment Programme.
- Wang, Y., Xiao, H. L., & Lu, M. F. (2009). Analysis of water consumption using a regional input-output model: Model development and application to Zhangye City, Northwestern China. *Journal of Arid Environments*, 73(10), 894-900.
- Wiedmann, T., Lenzen, M., Turner, K., & Barrett, J. (2007). Examining the global environmental impact of regional consumption activities. Part 2: Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. *Ecological Economics*, 61(1), 15-26.
- Wichelns, D. (2010). *Agricultural water pricing: United States*. Paris, France: Organization for Economic Cooperation and Development.
- World Water Council. (2004). *Biennial Report 2004-2005*. Marseille, France: World Water Council.
- Yang, H., & Zehnder, A. (2007). Virtual water: An unfolding concept in integrated water resources management. *Water Resources Research*, 43(12). DOI:10.1029/2007WR006048
- Young, R. A., & Loomis, J. B. (2014). *Determining the economic value of water: Concepts and methods* (2nd ed.). New York, USA: RFF Press & Routledge.

Zhao, X., Chen, B., & Yang, Z. F. (2009). National water footprint in an input-output framework. A case study of China 2002. *Ecological Modeling*, 220(2), 245-253.