

ARCHIVO DE ECONOMÍA 564

Relaciones intersectoriales
del agua en Colombia

Gustavo Hernandez Diaz



gghernandez@dnp.gov.co

Departamento Nacional de
Planeación

Marzo 2024

*Resumen

Colombia tiene una gran riqueza hídrica, pero enfrenta una serie de desafíos para el manejo del agua, como consecuencia del cambio climático, la sobreexplotación de fuentes hídricas y la contaminación. En este contexto, se presenta un modelo insumo producto extendido que involucra el agua como insumo. Este modelo permite comprender las interrelaciones entre los sectores económicos y la demanda de agua, convirtiéndose en una herramienta más para la evaluación y gestión del recurso hídrico. Se encuentra que, la demanda directa por el recurso hídrico se concentra en los sectores de electricidad y agrícola, y el resto de los sectores demandan el recurso de manera indirecta a través de la utilización de estos sectores como insumos. Esta situación genera una gran vulnerabilidad, ya que se prevé que los eventos climático-extremos, sean más frecuentes e intensos. De ahí la importancia de implementar medidas de adaptación al cambio climático, como lo es el cambio la matriz energética hacia fuentes renovables que no dependen del agua como insumo primario, así como de un uso más eficiente del agua en el sector agrícola. Estas medidas son fundamentales para garantizar la seguridad energética y alimentaria del país en un contexto de cambio climático.

Palabras clave: Escasez de recursos hídricos, huella hídrica, modelo insumo – producto del uso del agua, uso sostenible del agua

Clasificación JEL: N5, C67, O21 y Q25

* El autor es Subdirector de Estudios Macroeconómicos, Sectoriales y Regulación del Departamento Nacional de Planeación. El autor agradece los comentarios realizados por Gabriel Piraquive, Luis Jorge Garay y los participantes en el seminario de seguimiento de la Dirección de Estudios Económicos. Los errores, opiniones y omisiones son responsabilidad del autor y no comprometen a la institución en que trabaja.

Introducción

La manera de comprender y tomar acciones de política para mitigar y adaptarse al cambio climático empieza por conocer el impacto sobre el medio ambiente. Dos formas de hacerlo es conociendo la huella de carbono y la huella hídrica. Estos dos indicadores miden elementos diferentes, pero, en general muestran leves diferencias y pueden conducir a tomar decisiones muy parecidas. Al fin y al cabo, ciertos usos que producen contaminación están relacionados tanto con el consumo del agua como con la emisión de GEI. Se pueden, por tanto, tener en cuenta tanto por separado como de manera conjunta. Sus indicadores son generales o particulares, se adaptan a un país, una localidad o región.

Sólo el 2.5 % de toda el agua del planeta está disponible para el consumo humano, y su distribución está concentrada en diez países que tienen más de la mitad de las reservas de agua dulce del mundo. Entre ellos están: Brasil (12%) con 43.000 metros cúbicos per cápita, Rusia (7%) con 29.000 metros cúbicos p.c., Canadá (5%), Estados Unidos (4%) con 8.800 metros cúbicos p.c., China (4%) con 2.300 metros cúbicos p.c. y Colombia (3%) con 46.000 metros cúbicos p.c.. Por lo cual Colombia es el sexto país con mayor riqueza hídrica del mundo.

Sin embargo, el país enfrenta grandes retos para el manejo de este recurso, dado el estrés hídrico causado por una combinación de factores, como el cambio climático, la sobreexplotación de fuentes hídricas, la mala gestión y la grave contaminación del recurso. Por ello es importante contar con indicadores del uso y contaminación de agua para evaluar y guiar la gestión del manejo del recurso hídrico. En este caso particular, se utiliza el concepto de la huella hídrica para construir indicadores útiles con ese propósito.

El investigador John Anthony Allan, acuñó en 1993 el concepto de “agua virtual”, tras estudiar la escasez de agua en Oriente Medio, definiéndola como el volumen de agua necesaria para la elaboración de un producto o para facilitar un servicio particular. En 2002, Arjen Hoekstra, a partir de dicho concepto, concibió el concepto de “huella hídrica”. La huella hídrica de un producto se define a partir del volumen

total de agua consumido tanto de forma directa como de forma indirecta para su producción y distribución, teniendo en cuenta tanto las fuentes acuáticas subterráneas como superficiales. Este es un concepto cuyo objetivo es concientizar sobre el uso racional del agua, sobre todo porque con el cambio climático y el aumento de la población, el agua es cada vez más escasa.

El continuo aumento de la demanda de agua impone presión sobre los recursos hídricos. Por esta razón, es imperativo del uso y gestión sostenible del agua, lo cual ha creado la necesidad de información para definir e implementar políticas de ahorro de agua de manera integrada e informada. Los cálculos de la huella hídrica permiten analizar el uso directo de los recursos hídricos a nivel sector económico (es decir, el uso directo del agua), así como las relaciones intersectoriales de consumo del agua (es decir, el uso indirecto del agua).

Como lo menciona Borja-Vega, et al. (2020), en Colombia hay desajuste entre la disponibilidad de agua dulce y la demanda concentrada, por lo que Colombia resulta ser muy vulnerable a los riesgos de escasez de agua en el futuro. Razón por lo cual es indispensable conocer cómo se utiliza el agua en los procesos productivos a nivel sector, con miras a apoyar los programas y políticas para aumentar la seguridad y sostenibilidad hídrica en el país.

Aquí se aplica una metodología desarrollada para analizar las relaciones estructurales entre una actividad productiva y sus relaciones físicas con el medio ambiente, en este caso consiste en la extensión de un modelo insumo -producto para que contenga el agua como un insumo para la producción. Los flujos de agua del medio ambiente a la economía son esenciales para la producción y el consumo de bienes y servicios. El análisis de estos flujos proporciona información valiosa para la gestión sostenible del agua, al integrar el agua dentro de las decisiones económicas de los agentes, con lo que se convierte en una herramienta importante para evaluar diferentes políticas y estrategias de gestión del agua.

Cálculo de la huella hídrica

El concepto de la huella hídrica se encuentra muy relacionado al de agua virtual. La huella hídrica se refiere al agua utilizada en la elaboración de un producto, por lo cual se puede referir al “contenido de agua virtual” de un producto, en lugar de su huella hídrica. No obstante, la huella hídrica tiene una aplicación todavía más amplia, ya que también se refiere al agua que se ensucia y contamina durante el proceso de producción.

La huella hídrica se puede calcular para una persona, una empresa, un proceso o una cadena de valor completa de un producto, una cuenca hidrográfica o una nación. En este documento se estima a nivel de los sectores del país, lo que proporciona información para comprender el papel del agua en la economía, así como su grado de dependencia. Lo más importante es que ayuda a impulsar acciones estratégicas hacia un uso del agua sostenible, eficiente y equitativo.

Para el cálculo de la huella hídrica se debe contabilizar el volumen (litros o metros cúbicos) de agua consumida, además de la que ha sido contaminada y la que se ha evaporado en el proceso de producción. Así, la huella hídrica es el resultado de tres indicadores, divididos en colores, en función de la procedencia del agua: huella hídrica verde, huella hídrica azul y huella hídrica gris.

- Huella hídrica verde: es el agua de precipitaciones (lluvia y nieve) que queda almacenada en la tierra, en la zona de las raíces, y se evapora, transpira o incorpora a las plantas. Es particularmente relevante para productos agrícolas, hortícolas y forestales.
- Huella hídrica azul: es el agua que proviene de recursos hídricos subterráneos o en superficie y que o se evapora durante la producción de un bien, o se incorpora a él o es vertida en el mar. Equivale al consumo directo de agua dulce en los procesos de fabricación de bienes e incluye el agua de riego.
- Huella hídrica gris: hace referencia a la calidad, y se trata de la cantidad de agua contaminada en los procesos, y que posteriormente requiere un tratamiento

para cumplir con la normativa sectorial del cauce u organismo receptor de los vertidos finales del proceso.

De forma general, existen dos metodologías para la medición de la huella hídrica: i) La metodología desarrollada por Water Footprint Network , que se basa en el cálculo del agua usada, directa o indirectamente, por un productor o por un consumidor de productos o servicios, incluyendo la cantidad de agua necesaria para diluir los vertidos hasta los niveles objetivos de calidad del medio receptor, y ii) La metodología de la UNE-EN-ISO 14046, que consiste básicamente en particularizar la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de la norma ISO 14044, orientando el análisis de inventario y los impactos ambientales al agua.

Para hacer los estimativos de la huella hídrica por sector económico, se sigue los lineamientos del *Water Footprint Network*¹, para lo cual se utiliza la matriz insumo – producto, que permite conocer los requerimientos de insumos a lo largo de la cadena de producción de un sector, involucrando el agua como un insumo en la cadena de producción, además de los datos de utilización de la cuenta satélite de los flujos del agua.

Con estos datos, se analizan la transacción de agua entre sectores económicos para determinar las relaciones intersectoriales del agua. Para esto se consideran las extracciones de agua por parte de las unidades económicas (sectores económicos y hogares). Un análisis de esos flujos proporciona información sobre las relaciones directas entre los recursos hídricos y las unidades económicas. Además, los flujos de agua en la economía consisten en transacciones de agua en cada sector económico a nivel nacional y con el resto del mundo, así como entre unidades económicas y sectores nacionales.

En el caso de Colombia, es de mencionar que la fuente oficial sobre el uso sectorial de agua es el DANE², que contabiliza el uso legal de agua tanto superficial como subterránea, sin tomar en consideración el uso no legal de fuentes tanto por

¹ Los cuales se pueden consultar en <https://www.waterfootprint.org/>.

² Los cuales se encuentran en la cuenta satélite del DANE, denominada Cuenta Ambiental y Económica de Flujos de Agua (CAE-FA).

actividades y actores de índole abiertamente ilegal como la deforestación, el cultivo y procesamiento de hoja de coca, etcétera, así como por actividades y ciudadanos legales que evaden el pago del uso del recurso mediante diversos procedimientos de evasión. Tampoco se estima el volumen de agua contaminado por desechos de químicos, de sustancias tóxicas, entre otros.

Indicadores del uso de agua a nivel sectorial

Aquí se adopta un modelo insumo – producto de uso del agua que es una combinación del modelo insumo – producto desarrollado por Leontief y las interacciones del agua como insumo de la economía (Boudhar, 2017, y Velásquez, 2006). Este modelo permite evaluar cuantitativamente las relaciones establecidas entre los sectores económicos y el uso del agua (es decir, el uso directo), las relaciones intersectoriales del agua (es decir, el uso indirecto) y los beneficios económicos del uso del agua.

Modelo básico de Leontief

La ecuación básica del modelo de Leontief establece que la producción de una economía depende de las relaciones intersectoriales y de la demanda final. Para el sector i , el conjunto de ecuaciones que expresa estas relaciones se puede resumir de la siguiente manera:

$$x_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} + f_i \quad (1)$$

donde x_i es la producción total del sector i y f_i es la demanda final total de la producción del sector i . Una hipótesis fundamental del modelo insumo – producto es que las compras del sector j al sector i (x_{ij} , en un período determinado) dependen de la producción total del sector j , x_j , en ese período. Esta relación está representada por el coeficiente a_{ij} , con:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j} \quad (2)$$

Una vez con los coeficientes a_{ij} , se reemplaza en (1), con lo que se puede reescribir como:

$$x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + f_i \quad (3)$$

En términos matriciales, (3) se puede expresar como:

$$x = Ax + f \quad (4)$$

donde la matriz A se conoce como matriz de insumos directos, x y f son, respectivamente, el vector columna de la producción y el vector columna de la demanda final.

Haciendo las transformaciones necesarias, tenemos que

$$x = (I - A)^{-1}f \quad (5)$$

Donde I es una matriz identidad $n \times n$, $(I - A)^{-1} = L$ es la matriz inversa de Leontief. Cada elemento en L indica el cambio en la producción del sector i cuando la demanda del sector j varía en una unidad ($l_{ij} = \partial x_i / \partial f_j$).

Modelo de Leontief extendido para agua

Hasta ahora, se ha resumido el modelo de insumo – producto de Leontief; a continuación, se desarrolla un modelo en términos de consumo y demanda de agua, considerando que el consumo de agua es el agua utilizada directa e indirectamente

por cada sector. Aquí el modelo insumo – producto de uso del agua adoptado en este documento, el agua se trata como un insumo material en la producción. Entonces se quiere calcular a la cantidad de agua contenida en productos y servicios, a veces conocido como “agua virtual”³.

Si se considera, por simplicidad una economía con dos sectores i y j , la actividad productiva del sector i consiste en generar productos para satisfacer su propia demanda transformando los insumos generados por el sector j . En este proceso se consume una cantidad de agua. Esta cantidad de agua se denomina, como el “uso directo del agua” del sector i . Ahora bien, para producir los insumos utilizados por el sector i , el sector j también utiliza agua. Esta cantidad de agua requerida por el sector j para producir el producto utilizado por el sector i como insumo se denomina “uso indirecto de agua” del sector i . La suma de los usos de agua directos e indirectos del sector i es igual al uso total de agua.

La formulación del modelo insumo – producto del uso del agua se puede realizar reescribiendo (1) en términos de uso del agua. Por lo tanto, al referirse a las definiciones anteriores de usos de agua directos, indirectos y totales, la producción del sector i (x_i) se realiza utilizando la cantidad de agua consumida directamente por este sector (w_i^d en m^3). Del mismo modo, la producción del sector i destinada al consumo intermedio del sector j (x_{ij}) corresponde a la cantidad de agua consumida por el sector i (w_{ij} en m^3). Finalmente, la producción del sector i para su demanda final corresponde a la cantidad de agua directamente utilizada por el sector i (w_i^f en m^3). Entonces, reescribiendo (1) en términos del agua, tenemos que:

$$w_i^d = \sum_{j=1}^n w_{ij} + w_i^f \quad (6)$$

Adicionalmente, y de manera similar al modelo insumo - producto estándar, se define un coeficiente técnico de matriz de uso de agua t_{ij} , esto es, la cantidad de

³ Este término es introducido por Chapagain y Hoekstra (2004), para diferenciarlo de la huella hídrica, que es el volumen de agua necesario para la producción de los bienes y servicios que consumen los habitantes.

agua consumida por el sector j en la provisión de insumos al sector i (w_{ij}), con relación a la cantidad total de agua consumida directamente por el sector j (w_j^d):

$$t_{ij} = \frac{w_{ij}}{w_j^d} \quad (7)$$

Reemplazando (7) en (6), se tiene que

$$w_i^d = \sum_{j=1}^n t_{ij} w_j^f + w_i^f \quad (8)$$

En términos matriciales (8) se puede reescribir como

$$w^d = T w^d + w^f \quad (9)$$

Haciendo las transformaciones necesarias, tenemos que

$$w^d = (I - T)^{-1} w^f \quad (9)$$

donde $(I - T)^{-1}$ es la matriz de Leontief inversa en términos del agua, esto es, determina el cambio en el consumo de agua si la demanda de agua cambia en una unidad, y cada uno de sus elementos ($\rho_{ij} = \partial w_i^d / \partial w_j^f$) indican la cantidad adicional de agua que consumirá el sector i si la demanda de agua del sector j aumenta en una unidad.

Indicadores de uso del agua

El modelo planteado en (9) se refiere al consumo total de agua. Sin embargo, es interesante distinguir entre el consumo directo e indirecto. Para esto se definen tres indicadores: i) consumo directo de agua por unidad producida, ii) consumo total de agua y, iii) consumo indirecto de agua por unidad producida.

La relación entre las cuentas económicas y el uso de los recursos hídricos puede establecerse mediante el coeficiente de uso directo del agua definido como:

$$\eta_i = \frac{w_i^d}{x_i} \quad (10)$$

donde w_i^d es la cantidad de agua extraída directamente del sistema de recursos hídricos por el sector i (en m³), y x_i es la producción total del sector i (en pesos).

En términos matriciales se tiene que:

$$\eta = w^d \hat{x}^{-1} \quad (11)$$

donde \hat{x}^{-1} es la matriz inversa diagonal de producción⁴, y η es el vector fila de los coeficientes de uso directo del agua.

Este indicador captura solo el vínculo directo entre los recursos hídricos y la economía. Sin embargo, como se señaló anteriormente, cada unidad económica extrae agua también indirectamente. Por lo tanto, para capturar los efectos directos e indirectos sobre los recursos hídricos de los cambios en la economía, se define un coeficiente de uso total de agua que refleja el impacto directo e indirecto sobre la cantidad total de agua consumida por la economía en su conjunto de un aumento de su demanda.

Se va a denotar el consumo total del agua como w . Tenemos:

$$w = w^d u \quad (12)$$

Donde w^d es el vector fila de uso directo del agua, y u es un vector columna unitario⁵.

⁴ El símbolo $\hat{}$ es usado para denotar una matriz diagonal.

⁵ Esto es, cada elemento del vector u es igual a uno.

Ahora (12) puede ser reescrito como:

$$w = w^d \hat{x}^{-1} x \quad (13)$$

Luego

$$w = \eta x \quad (14)$$

donde $\eta = w^d \hat{x}^{-1}$ es el vector de la cantidad de agua consumida directamente por cada sector por unidad monetaria producida.

A partir de (5) y (14), tenemos que:

$$w = \eta(I - A)^{-1} f \quad (15)$$

donde $\eta(I - A)^{-1} = \mu$ es un vector fila del uso total del agua, en el cual cada uno de sus elementos indican la cantidad de agua extraída directa e indirectamente por la economía cuando la demanda del sector i varía en una unidad monetaria.

Habiendo definido el vector de uso de agua directo (η) y total (μ), se procede a encontrar el vector de uso de agua indirecto (δ) restando el vector de uso de agua directo y el vector de uso de agua total.

$$\delta = \mu - \eta$$

$$\delta = \eta(I - A)^{-1} - \eta$$

$$\delta = \eta[(I - A)^{-1} - I] \quad (16)$$

De otra parte, el vector w^f , en el que cada elemento se define como la cantidad de agua que utiliza directamente el sector i para satisfacer su demanda, se puede expresar como:

$$w^f = \hat{\eta}f \quad (17)$$

donde $\hat{\eta}$ es la matriz diagonal de los coeficientes de uso directo de agua y f es el vector columna de la demanda final. Sustituyendo (17) dentro de (9) se tiene que:

$$w^d = (I - T)^{-1}\hat{\eta}f \quad (18)$$

Por lo tanto, (18) permite evaluar los efectos resultantes de choques exógenos en la demanda final y/o cambios en el requerimiento directo de agua por unidad monetaria sobre el uso total de agua de cada sector y sobre el total de agua consumida por la economía en su conjunto.

En este punto se puede construir una matriz de transacciones de agua que captura las relaciones intersectoriales del agua (“compras” y “ventas” de agua). A partir de esta matriz, se pueden derivar la matriz de coeficientes técnicos de uso del agua.

El coeficiente técnico de matriz de uso de agua t_{ij} puede escribirse en términos de coeficientes directos e indirectos de uso de agua⁶ de la siguiente manera:

$$t_{ij} = \frac{\delta_i}{\eta_j} \quad (19)$$

Reordenando la definición de coeficientes técnicos de uso de agua en (7), $w_{ij} = t_{ij}w_j^f$ y reemplazando (19), se tiene que

$$w_{ij} = \frac{\delta_i}{\eta_j} w_j^f \quad (20)$$

Reemplazando (16) y cambiando (20) a términos matriciales:

⁶Véase Velásquez (2006) para la derivación de (19).

$$W = \hat{w}_d \frac{\hat{\eta}(I-A)^{-1} - \hat{\eta}}{\hat{\eta}}$$

$$W = \hat{w}_d \frac{\hat{\eta}[(I-A)^{-1} - I]}{\hat{\eta}}$$

$$W = \hat{w}_d [(I - A)^{-1} - I] \quad (21)$$

Una vez que obtengamos la matriz de transacciones de agua (W), se puede derivar la matriz de coeficientes técnicos de uso del agua de la siguiente manera:

$$T = W \hat{w}_d^{-1} \quad (22)$$

Resultados de los indicadores

En el

Cuadro 1 se muestra que los cuatro sectores que más utilizan agua son: agricultura (35,1%), café (8,0%) y silvicultura (4,4%), con una participación cercana al 47.4% del consumo total de agua en el país; electricidad y gas, con participación similar de un 48.5% y acueducto y alcantarillado, con una participación de 1.0%. En el caso del sector de agricultura, ganadería y silvicultura, el sector agrícola concentra el mayor uso del agua, con un 71.9%; según el CIAT (2018), a partir de los datos del ENA para 2014, los cultivos que demandaban mayor cantidad de agua en 2014 eran: pasto de corte (3,2 mil millones de m³ al año), palma de aceite (1,8 mil millones de m³ al año), arroz de riego (1,8 mil millones de m³ al año), plátano (1,7 mil millones de m³ al año), caña de azúcar (1,5 mil millones de m³ al año), pastos de forraje (0,8 mil millones m³ al año).

Hay una alta concentración en el consumo directo del agua, ya que el 97% se concentra en dos macro-sectores de la economía (agricultura, ganadería y silvicultura, y electricidad –que incluye otras formas adicionales a la hidroenergía– y gas), a pesar de que sólo representan el 8,9% del PIB de la economía. Ahora bien, hay que considerar que estos sectores representan sectores clave para la economía

colombiana –esto es, tiene grandes conexiones con el resto de los sectores de la economía⁷–, por lo que el consumo del agua de los demás sectores se realiza de manera indirecta al utilizar a estos sectores en su proceso de producción.

De otra parte, estos resultado muestran una alta dependencia de la matriz energética en las hidroeléctricas para la producción de electricidad⁸: 3,516 m³ por cada mil pesos de producción de electricidad, lo que, a su vez, muestra su gran vulnerabilidad ante fenómenos climáticos extremos, particularmente El Niño, ya que de acuerdo con el último reporte del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), eventos climáticos como El Niño y La Niña se podrían volver más frecuentes e intensos⁹. Lo mismo sucede con el sector agrícola, ya que, ante su alta dependencia del agua: 2,288 m³ por cada mil pesos de producción, la escasez de agua reduce la productividad de los cultivos, lo cual puede generar problemas de seguridad alimentaria y afectar la economía del país. Por supuesto, no todos los cultivos son igualmente intensivos en el consumo total de agua, sobresale, por ejemplo, la elevada intensidad de la explotación de monocultivos de *commodities* en ecosistema frágiles y de flores.

Cuadro 1. Uso directo del agua y coeficiente de agua - 2019

| | Consumo de agua (10 ⁶ m ³) | Participación en el consumo total agua | Consumo de agua por valor de producción (m ³ /miles de pesos) | Participación en el valor agregado |
|-------------------|--|---|--|---------------------------------------|
| Energía eléctrica | 180.499 | 48,8% | 3,516 | 2,2% |
| Agricultura | 129.786 | 35,1% | 2,288 | 4,2% |
| Café | 29.467 | 8,0% | 2,723 | 0,8% |
| Silvicultura | 16.361 | 4,4% | 5,274 | 0,2% |
| Acueducto | 3.730 | 1,0% | 0,647 | 0,3% |
| Pesca | 3.404 | 0,9% | 1,034 | 0,2% |
| Alcantarillado | 2.405 | 0,6% | 0,671 | 0,3% |
| Ganadería | 1.485 | 0,4% | 0,044 | 1,6% |
| Azúcar y panela | 793 | 0,2% | 0,112 | 0,3% |
| Petróleo | 417 | 0,1% | 0,007 | 3,0% |

⁷ Para más detalles se puede consultar: Hernández y Quintero (2023).

⁸ De acuerdo con datos de la Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica, para 2023 el 68% de la energía eléctrica en Colombia se genera con hidroeléctricas, es decir, se utiliza agua en embalses para mover turbinas y generar energía eléctrica.

⁹ Para más detalles, se puede consultar: <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/index.php?idp=303>.

De otra parte, como lo menciona Borja-Vega *et al.* (2020), se espera que, como consecuencia del cambio climático, las temperaturas promedio en Colombia aumenten hasta 2,14 grados centígrados hacia final del siglo. El resultado probable será mayor número de sequías e inundaciones, aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos El Niño y La Niña, y pérdida rápida y constante de glaciares, que ya han retrocedido un 60% en los últimos 50 años.

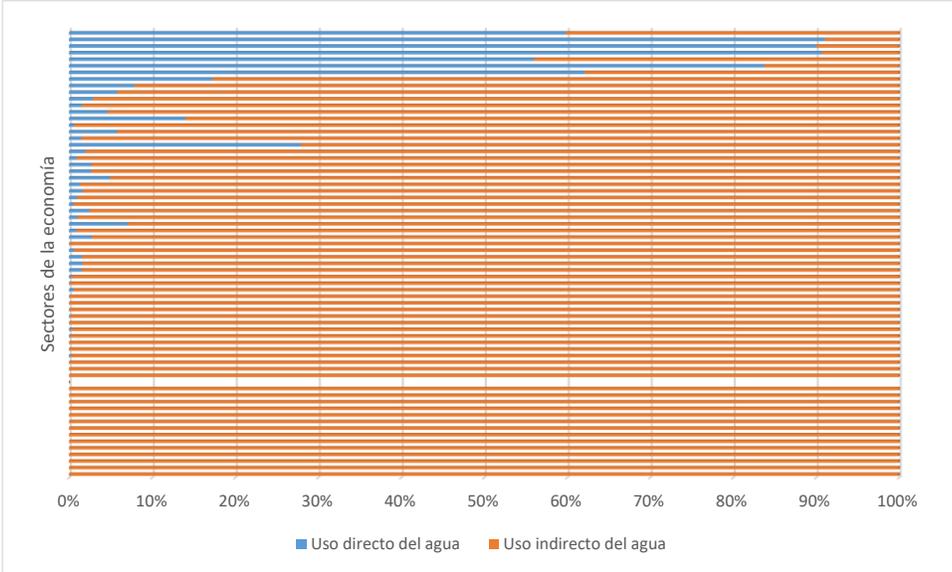
Por lo cual, es fundamental implementar medidas de adaptación al cambio climático para reducir la vulnerabilidad, especialmente de la matriz energética y de los sectores primarios. Entre algunas de las medidas que se pueden considerar son: i) diversificar la matriz energética: reducir la dependencia de las hidroeléctricas mediante la inversión en fuentes de energía renovable como la solar, la eólica y la geotérmica, y ii) implementar políticas de uso eficiente del agua, al fomentar el uso eficiente del agua en el sector agrícola mediante la tecnificación del riego, la adopción de prácticas agrícolas sostenibles, por ejemplo con la sustitución de fertilizantes químicos, la no explotación extensiva de *commodities* en ecosistemas frágiles susceptibles de un rápido agotamiento de sus aguas subterráneas, el cambio en la forma extensiva de ganadería y en la dieta del ganado, entre otras. De otra parte, en el

Cuadro 1 se puede observar cómo el sector de electricidad y gas es menos eficiente en el uso del agua que el sector agrícola, ya que para generar una unidad monetaria (en miles de \$) de producción en el primer sector se requiere un mayor volumen de agua (3,516 vs 2,288 en el segundo sector).

El análisis del consumo de agua en la economía no puede limitarse al consumo directo. El consumo indirecto de agua para producir los bienes y servicios que se consumen puede ser considerable y representar un riesgo importante para la sostenibilidad de los recursos hídricos. Su indebida consideración podría llevar a la implementación de políticas públicas erróneas. La gran mayoría, sino la totalidad, de los sectores económicos utilizan el agua de forma indirecta (Gráfico 1). Esto significa que, si bien su consumo directo puede ser bajo, la cantidad de agua necesaria para producir los insumos que utilizan puede ser considerable. Por

ejemplo, en el caso de la industria de procesamiento de alimentos, la carne usada implica un alto consumo de agua para el riego de los pastos, la cría del ganado y el procesamiento de la carne. Incluso en los servicios de salud, como la atención médica, se consume agua de forma indirecta, a través de la energía utilizada en los hospitales, el agua utilizada para la limpieza y la producción de los insumos médicos.

Gráfico 1. Uso directo e indirecto del agua por sector



Cálculos con base en la MIP 2019 y los datos de CAE – FA del DANE

El sector agrícola muestra un bajo valor agregado por unidad de volumen de agua utilizada en el consumo directo. Sin embargo, si se considera el consumo indirecto, el valor agregado por unidad de volumen de consumo total de agua del agua es también relativamente bajo debido a la elevada cantidad de agua utilizada para producir sus insumos como el caso de fertilizantes y pesticidas. De otra parte, el procesamiento de alimentos puede consumir directamente poca agua, pero al utilizar insumos agrícolas como insumo, el valor agregado indirecto es bastante alto. Como se puede observar en el Cuadro 2, los sectores agrícola y electricidad, consumen directamente una gran cantidad de agua, sus ganancias directas son muy bajas: \$0,314 y \$0,114 por m³, respectivamente (columna 2). Los sectores de

transporte terrestre, refinación de petróleo y construcción presentan las mayores ganancias por metro cúbico de agua utilizado directamente, con un valor de \$55.034, \$29.469 y \$23.596, respectivamente.

Cuadro 2. Ganancias de la utilización del agua (peso / m³)

| | Ganancias directas del uso del agua (1) | Ganancias totales del uso del agua (2) | Multiplicador (2 / 1) |
|-------------------|---|--|-----------------------|
| Energía eléctrica | 3.720 | 0,114 | 32.530 |
| Silvicultura | 4.108 | 0,135 | 30.539 |
| Café | 2.541 | 0,248 | 10.243 |
| Agricultura | 2.848 | 0,314 | 9.075 |
| Pesca | 2.452 | 0,581 | 4.223 |
| Acueducto | 2.729 | 0,875 | 3.119 |
| Azúcar y panela | 4.138 | 3,350 | 1.235 |
| Alcantarillado | 1.344 | 1,103 | 1.218 |
| Ganadería | 3.390 | 10,594 | 320 |
| Papel y cartón | 4.716 | 23,101 | 204 |

Cálculos con base en la MIP 2019 y los datos de CAE – FA del DANE

A partir de la columna 2 y 3 (Cuadro 2), se muestra que las denominadas ganancias totales del uso del agua y su multiplicador –esto es, involucrando el agua usada de manera indirecta– en los sectores de silvicultura y electricidad son los que muestran el más elevado multiplicador de consumo total de agua, siendo de \$30.539 y \$32.530, respectivamente. Esto es explicado porque estos sectores proveen insumos y transmiten de forma indirecta su consumo de agua a la producción de los sectores que los utilizan. De otra parte, los sectores que no se encuentran entre los 10 sectores con mayores ganancias directas, generan un multiplicador de consumo total de agua por debajo de \$10.

Conclusiones

El crecimiento económico es una de las condiciones necesarias para el bienestar de un país en desarrollo, pero debe de ser ambientalmente sostenible y socialmente

incluyente. La explotación irracional de recursos naturales como el agua puede llevar a perversas e irreversibles consecuencias ambientales y sociales, por lo que la gestión del agua debe buscar un equilibrio entre el crecimiento económico y la protección de este recurso vital.

Los macro-sectores agrícola y de electricidad presentan una gran dependencia del agua, al ser los que más lo utilizan como insumo en su proceso de producción, un 96% del total. Esto trae como consecuencia su alta vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos, como el del fenómeno del Niño. Por lo cual, es necesario implementar medidas de adaptación al cambio climático para asegurar la seguridad energética y alimentaria del país, aparte de la gestión sostenible y de preservación de las reservas hídricas en el país.

Un problema estructural determinante en Colombia para la gestión eficiente del agua en una perspectiva duradera es la excesiva importancia del uso ilícito y criminal del recurso por parte de actividades abiertamente ilegales, que atenta contra la disponibilidad de un recurso escaso a nivel planetario en el mediano y largo plazo. Hay que tener en cuenta que, casi el 70% de esa agua se ubica en la Orinoquia y el Amazonas, zonas azotadas por la deforestación y la minería ilegal. Es de mencionar que, según GIZ (2017), la deforestación asociada a los cultivos de coca por actividades antrópicas dinamizadas en zonas circundantes (menos de 1 km) representó cerca de un 41% del total de deforestación de la Amazonía colombiana en el periodo 2005-2014.

El análisis del consumo de agua en la economía no puede limitarse al consumo directo. El consumo indirecto de agua debe ser considerado para la gestión sostenible de los recursos hídricos. No tenerlo puede traer consecuencias para la disponibilidad de agua en el futuro. Por lo tanto, es necesario medir y monitorear el consumo indirecto de agua en cada uno de los sectores económicos, e implementar políticas públicas que incentiven la racionalización y eficiencia del consumo de agua.

De otra parte, también es importante resaltar que el agua es un recurso vital para la vida y la economía, pero su precio a través de las tarifas de provisión del agua no

refleja debidamente el costo de oportunidad social e intertemporal de este recurso no solo escaso en medio de una crisis climática planetaria, sino además altamente concentrado en pocos países en el mundo¹⁰. Por lo cual es necesario desarrollar indicadores que permitan evaluar el valor real diferencial del agua consumida a nivel tanto regional, como sectorial y de los principales usuarios, a fin de que se internalicen debidamente como referente clave para orientar las decisiones de producción y consumo.

El análisis de las denominadas ganancias del agua por sector es una herramienta útil para la toma de decisiones sobre la gestión del agua. Por lo que es importante considerar en conjunto el consumo de agua, el valor real del agua y las externalidades del uso de este recurso escaso como referente crucial para diseñar una estrategia de gestión sostenible del agua.

En conclusión, la gestión sostenible del agua requiere un enfoque integral que considere las diferentes dimensiones de la problemática: ambiental, económica, social e institucional. Es necesario un esfuerzo conjunto de todos los actores sociales para asegurar la disponibilidad de este recurso vital para las generaciones presentes y futuras.

¹⁰ Por ejemplo, Colombia ocupa el sexto lugar entre los países con mayores reservas de agua dulce en el mundo, con menos de una tercera parte de las reservas del primer país que es Brasil (2360 km³ al año vs 8233 km³ al año).

Referencias

Alteiro, H., Alvarez, A., Calderon S. and Romero, G. "Using water accounts and modelling to help set water prices in Colombia". En: Michael Vardon, Steve Bass, Sofia Ahlroth y Arjan Ruijs (eds). Better policy through natural capital accounting: Stocktaking and ways forward. World Bank WAVES.

Borja-Vega, C., Groot, K. and Serrano, H. (2020). Colombia - Turning the Tide: Water Security for Recovery and Sustainable Growth. Water Security Diagnostics, Policy brief, World Bank Group.

Boudhar, A., Boudhar, S. and Ibourk, A. (2017). *An input–output framework for analyzing relationships between economic sectors and water use and intersectoral water relationships in Morocco*. Economic Structures, Vol. 6 (9).

Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA. (2018). Propuestas de acciones y recomendaciones para mejorar la productividad del agua, la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales y el reúso del agua en Colombia. Misión de Crecimiento Verde, Departamento Nacional de Planeación.

Chapagain, A. and Hoekstra, A. (2004). Water footprint of nations. Volume 1: Main report. Value of Water, Research Report Series No 16.

Hernández, G. y Quintero, L. F. (2023). Dinámica sectorial de la economía colombiana: 2005 - 2019. Departamento Nacional de Planeación, Archivos de Economía, No 554.

Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M. and Mekonnen, M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Earthscan.

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

Ideam (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. Ideam

Velásquez, E. (2006). *An input–output model of water consumption: Analyzing intersectoral water relationships in Andalusia*. *Ecological Economics*, Vol. 56 (2), pp. 226 – 240.