Annu. Rev. Environ. Resour. 2021. 46:X-X

<https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-101319>

Publicado por primera vez como revisión anticipada el 1 de junio de 2021

Derechos de autor © 2021 por Annual Reviews.

Derechos de autor © 2021 por Annual Reviews. Esta obra está sujeta a una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0, que permite su uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite al autor original y la fuente. Consulte las referencias bibliográficas de las imágenes u otro material de terceros en este artículo para obtener información sobre la licencia.

Gleick

www.annualreviews.org • Escasez de agua dulce

Escasez de agua dulce

Peter H. Gleick y Heather Cooley

Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, Oakland, California 94612, EE.UU.; correo electrónico: [pgleick@pacinst.org,](mailto:pgleick@pacinst.org) [hcooley@pacinst.org](mailto:hcooley@pacinst.org)

Palabras clave

agua dulce, escasez de agua, pico hídrico, uso del agua, demanda de agua, indicadores hídricos

Resumen

La disponibilidad y el uso del agua dulce son fundamentales para la salud humana y para la estabilidad económica y de los ecosistemas. Pero el creciente desajuste entre la demanda humana y la disponibilidad natural de agua dulce está contribuyendo a la escasez de agua, lo que afecta a la producción industrial y agrícola y a una amplia gama de problemas sociales, económicos y políticos, como la pobreza, el deterioro de la salud de los ecosistemas y los conflictos violentos. Es vital comprender y abordar las distintas formas de escasez de agua para avanzar hacia una gestión y un uso más sostenibles del agua dulce. A continuación, se ofrece una revisión de los conceptos y definiciones de la escasez de agua, las métricas e indicadores utilizados para evaluar la escasez, junto con estrategias para abordar y reducir las consecuencias adversas de la escasez de agua, incluido el desarrollo de fuentes alternativas de agua, mejoras en la eficiencia del uso del agua y cambios en los sistemas de gestión y planificación del agua.

INTRODUCCIÓN

La importancia del agua dulce para los seres humanos y los ecosistemas y las drásticas diferencias espaciales y temporales en la disponibilidad de agua en todo el mundo han suscitado un gran interés por comprender y medir la escasez de agua. Los problemas asociados a la falta de agua dulce incluyen efectos adversos en la salud humana y de los ecosistemas; limitaciones en la producción industrial y agrícola; y una amplia gama de trastornos sociales, económicos y políticos, como la pobreza y los conflictos violentos por el acceso y el control del agua.

**Escasez de agua:** escasez de la cantidad de agua necesaria para satisfacer una demanda específica.

Garantizar la disponibilidad de agua en cantidades y calidades adecuadas es uno de los principales objetivos de la comunidad mundial del agua y está consagrado en el Objetivo 6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (SDGs): Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. La meta 6.4 de los ODS dice explícitamente: "Para 2030, aumentar sustancialmente la eficiencia en el uso del agua en todos los sectores y garantizar la extracción y el suministro sostenibles de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir sustancialmente el número de personas que sufren escasez de agua" [(1](#bib1)).

Dicho de la forma más sencilla, la escasez de agua es una insuficiencia en la cantidad de agua necesaria para satisfacer una demanda específica de agua. El objetivo de la investigación en este campo durante las últimas décadas ha sido definir y medir la escasez de agua y, en última instancia, desarrollar estrategias para superarla. A continuación, presentamos una revisión de los conceptos y definiciones de escasez de agua y su aplicación a la gestión sostenible de los recursos mundiales de agua dulce.

DEFINICIÓN DE ESCASEZ DE AGUA

Una de las características fundamentales de los recursos de agua dulce de la Tierra es la gran variabilidad de su distribución en el espacio y el tiempo. El ciclo hidrológico mueve el agua entre reservas como los océanos, los casquetes polares, los glaciares y las aguas subterráneas en flujos como la evaporación, la transpiración, las precipitaciones y el escurrimiento fluvial. Estos movimientos varían a través de fluctuaciones naturales impulsadas por complejos factores climáticos. Como consecuencia, algunas partes del planeta son naturalmente secas, otras son naturalmente húmedas, y todas experimentan cambios dinámicos en la disponibilidad de agua. Los ecosistemas naturales han evolucionado y se han adaptado a esta variabilidad natural.

La escasez en el contexto de las necesidades humanas sociales, económicas y sanitarias surge en lugares o momentos concretos en los que la demanda humana de agua puede superar las reservas o los flujos de agua de los que dependen dichas demandas. El abastecimiento de agua se ve afectado tanto por la variabilidad hidrológica natural como por una amplia gama de actividades humanas que modifican el ciclo hidrológico, como la contaminación de las reservas, la construcción y explotación de infraestructuras hídricas y el cambio climático provocado por el hombre. La demanda humana de agua también cambia con el tiempo, impulsada por el crecimiento demográfico, las actividades económicas y las prioridades y preferencias sociales.

A escala mundial, la reserva total de agua es cientos de miles de veces mayor que incluso las mayores estimaciones de demanda humana de agua. Sin embargo, no toda el agua de esas reservas es accesible, y existen grandes disparidades en cuanto a cuándo y dónde los seres humanos necesitan agua dulce para satisfacer la demanda. En este sentido, el siguiente debate sobre la escasez de agua se centra en los factores humanos y naturales que provocan desajustes entre la oferta y la demanda.

La mayoría de los debates sobre la escasez de agua son, en realidad, debates sobre regiones que se acercan a los límites máximos de agua renovable, donde la captación y el uso efectivos de agua dulce se acercan al suministro renovable total [(2](#bib2)). Grandes sistemas fluviales como el río Colorado, el Nilo, el Amarillo y el Jordán, entre otros, están alcanzando límites máximos de agua más allá de los cuales no es posible ninguna extracción adicional. Cuando se alcanzan los picos máximos de agua renovable en una cuenca hidrográfica en la que se cree que la demanda está aumentando, sobreviene la escasez y, o bien hay que encontrar fuentes de agua adicionales mediante trasvases desde otras cuencas, desalinización o reutilización, o bien hay que hacer más eficiente el uso existente del agua para permitir una mayor producción de los bienes y servicios deseados dentro de los límites de la oferta disponible. Sin embargo, no todos los recursos hídricos se consideran renovables. Cuando una reserva de agua se utiliza más deprisa de lo que se recarga de forma natural, como ocurre en las regiones en las que las aguas subterráneas están sobreexplotadas, se producen picos máximos de agua no renovable y, con el tiempo, la obtención del recurso resulta física o económicamente más costosa. En ese momento, la extracción empieza a disminuir, aumentan las condiciones de escasez y hay que encontrar sustitutos [(2)](#bib2).

LA OFERTA DE AGUA

Dos de los elementos más comunes del universo, el hidrógeno y el oxígeno, se combinan para formar el agua, omnipresente en todo el sistema solar. Se ha encontrado hielo de agua en cráteres oscuros de Mercurio y de nuestra Luna. Hay vapor de agua en la atmósfera de Venus. Marte tiene nubes, casquetes polares, salmueras y lagos subterráneos, así como indicios de antiguos océanos. Las naves espaciales y los observadores terrestres han identificado moléculas de agua en las atmósferas de Júpiter y Saturno, y se sabe que algunas de sus numerosas lunas tienen mantos de hielo y océanos subterráneos que, según se ha observado, expulsan agua líquida al espacio. Los gigantes de hielo de Urano y Neptuno están compuestos casi exclusivamente de agua, e incluso los cometas helados y los asteroides rocosos que giran alrededor del Sol hasta los confines del Sistema Solar contienen agua en muchas formas diferentes [(3](#bib3), [4](#bib4)).

Sin embargo, sólo la Tierra, que gira en torno a lo que se conoce como la Zona de habitabilidad —la distancia al sol justa para que se den las condiciones adecuadas para la vida tal y como la conocemos— tiene grandes cantidades de agua en océanos líquidos, lagos y suelos, reservas atmosféricas circulantes de vapor de agua y hielo superficial que ayuda a regular la temperatura del planeta [(5](#bib5)). Continúa el debate científico sobre el origen del agua de la Tierra, si llegó con los primeros gases y polvo interestelares que se fusionaron en nuestro planeta hace aproximadamente 4.500 millones de años o si el agua llegó más tarde a través del bombardeo de planetesimales grandes y pequeños portadores de agua procedentes de los confines del sistema solar [(3](#bib3)). Sea cual sea su origen, nuestros recursos hídricos fueron fundamentales para la formación de la vida en la Tierra y siguen siéndolo para la supervivencia y el funcionamiento continuos de los ecosistemas y la civilización humana.

Reservas y flujos de agua

La reserva total de agua en la Tierra es incierta. Estudios recientes han sugerido que importantes volúmenes de agua pueden estar mezclados a una presión extremadamente alta en el núcleo de la Tierra con hierro y silicatos fundidos, y que el núcleo puede actuar como un gran depósito que contenga la mayor parte del agua del planeta [(6](#bib6)). Aunque de gran interés científico, esa agua no desempeña ningún papel en la circulación dinámica del agua, el vapor y el hielo en la superficie ni en las cuestiones sobre la escasez de agua relacionadas con las necesidades humanas.

Mucho más importantes son las reservas y los flujos de agua en la superficie terrestre o cerca de ella. Las estimaciones del agua en estas reservas y flujos más accesibles también son imprecisas, pero [la Tabla 1](#tb1) proporciona dos estimaciones de las cantidades de agua en los componentes del ciclo hidrológico. La variabilidad natural de todos los flujos hidrológicos del mundo; la dificultad de evaluar volúmenes de aguas subterráneas ocultos y difíciles de medir; la falta de estimaciones precisas de los caudales fluviales en tiempo real, e incluso la gran incertidumbre sobre el volumen de los océanos contribuyen a la dificultad de determinar balances hídricos planetarios y regionales precisos.

**<COMP: PLEASE INSERT TABLE 1 HERE>**

La mayor reserva de agua se encuentra en los océanos y se estima en aproximadamente 1.340.000.000 de kilómetros cúbicos (km3) o el 97,5% del volumen total de agua en la superficie de la Tierra. Esta agua es demasiado salada para casi todos los usos domésticos y agrícolas. Del agua dulce de la Tierra, las mayores reservas son los casquetes polares y los glaciares, así como las aguas subterráneas relativamente poco profundas. Gran parte de esta agua tampoco es física o económicamente accesible para el uso humano, lo que contribuye a la paradoja de que podría haber escasez de agua en un planeta cubierto de agua.

Se han realizado numerosos estudios sobre los principales flujos naturales entre estas reservas de agua en forma de precipitaciones, evapotranspiración y escurrimiento fluvial, incluyendo combinaciones de observaciones y estimaciones mediante modelos [(](#bib9)[9–12](#bib12)). Los componentes del balance hídrico varían de un año a otro y hay incertidumbre asociada a la dificultad de su medición, pero la estimación actual de la precipitación total sobre la tierra es de aproximadamente 110.000 kilómetros cúbicos al año (km3/año), la evapotranspiración natural es de aproximadamente 68.000 km3/año, y la descarga fluvial en los océanos y sumideros interiores es de aproximadamente 40.000 km3/año. El resto es consumo humano neto de agua, que luego contribuye a la evaporación y a los flujos de aguas superficiales y subterráneas. [La Tabla 2](#tb2) muestra las estimaciones medias de los componentes del balance hídrico mundial a partir de cuatro fuentes.

**<COMP: PLEASE INSERT TABLE 2 HERE>**

Los seres humanos afectan cada vez más a los ciclos globales y regionales del agua. Extraemos agua de ríos, lagos y acuíferos. Transportamos agua de una cuenca a otra. Aplicamos grandes cantidades de agua de riego que evapotranspira a la atmósfera o se infiltra en el suelo. Construimos enormes presas en los ríos que almacenan agua y cambian la periodicidad y la magnitud de los caudales fluviales que desembocan en los océanos. A pesar de la importancia del agua, no existe ningún sistema global exhaustivo para controlar o medir la influencia humana en las reservas y los flujos de agua de la Tierra (11).

Distribución geográfica

Como ya se ha señalado, la distribución del agua en el planeta es muy desigual y variable debido a la forma en que la circulación de la atmósfera recoge, desplaza y expulsa la humedad. La atmósfera recoge la humedad a través de la evaporación de los océanos y las superficies terrestres y transporta esa humedad por diversas vías que contribuyen a la precipitación de vuelta a la tierra y los océanos. Tres grandes procesos atmosféricos dominan la transferencia de humedad de una región a otra: los ríos atmosféricos, las corrientes en chorro de bajo nivel y los ciclones/huracanes tropicales [(14](#bib14)). Estos procesos conducen a niveles de precipitación radicalmente distintos según la región, como muestra [la Figura 1](#fig1).

**<COMP: PLEASE INSERT FIGURE 1 HERE>**

Figura 1 Distribución desigual de las precipitaciones en el mundo. Figura adaptada con permiso del Center for Sustainability and the Global Environment, Nelson Institute for Environmental Studies, Universidad de Wisconsin-Madison. Los datos representan la media de 30 años (de 1960 a 1990) del conjunto de datos CRU 0.5.

LA DEMANDA DE AGUA

La escasez de agua sólo tiene sentido en el contexto de la demanda de agua. En los primeros intentos de definir y medir la demanda, el enfoque más sencillo consistía en informar del volumen total de agua extraída de los sistemas naturales superficiales (y a veces subterráneos) para satisfacer las necesidades actuales y suponer que serían necesarias nuevas extracciones de agua para satisfacer los aumentos de demanda previstos.

A medida que ha mejorado la comprensión del uso del agua, se han desarrollado distinciones entre los distintos tipos de uso. El uso del agua puede clasificarse como extracciones y como consuntivo o no consuntivo [(15](#bib15), [16](#bib16)). La extracción suele referirse a toda el agua extraída de una fuente y puede medirse directamente. El uso consuntivo se refiere comúnmente al agua que no está disponible para su reutilización en la cuenca debido a la evaporación de las superficies terrestres y acuáticas, la incorporación a la biomasa vegetal, la transferencia a otra cuenca, la filtración a un sumidero salino o la contaminación. Los niveles de uso consuntivo suelen calcularse mediante supuestos. El uso no consuntivo se refiere al agua extraída de un suministro disponible pero que permanece disponible para su reutilización dentro de la misma cuenca.

Menos común, aunque igualmente importante, el uso del agua también puede dividirse en usos productivos e improductivos (a veces denominados usos beneficiosos y no beneficiosos) [(17](#bib17)). Los usos productivos son los que contribuyen directamente al valor económico y agrícola, pero también pueden incluir las pérdidas por evaporación necesarias para la salud de los cultivos y el agua aplicada para lixiviar sales nocivas de la zona radicular. Los usos improductivos incluyen la transpiración de las malezas y la evaporación de las pérdidas a causa del viento de los aspersores y los suelos húmedos, así como la evaporación de las superficies de embalses y canales. Las pérdidas consuntivas improductivas rara vez se miden o notifican y a menudo no se clasifican en los balances hídricos, pero representan agua que podría destinarse a usos productivos [(15](#bib15)).

Diferentes tipos de demandas requieren diferentes tipos de agua. Para abordar estas diferencias, se han desarrollado los conceptos de demanda de agua azul, verde y gris. El agua azul se refiere a las aguas superficiales y subterráneas disponibles, el agua verde es el agua disponible en forma de precipitaciones y el agua gris es un indicador del grado de contaminación del agua y se define como el volumen de agua dulce necesario para asimilar los contaminantes del agua en función de las normas de calidad del agua [(18](#bib18)). Estos conceptos desempeñan ahora un papel fundamental para ayudar a la comunidad del agua a mejorar la comprensión de las cuestiones relacionadas con la escasez y la gestión del agua.

Extracción de agua a escala mundial y regional

Los datos sobre las extracciones de agua por regiones y diferentes sectores económicos se encuentran entre los más requeridos, pero suelen ser los menos confiables y los más incoherentes de toda la información sobre recursos hídricos. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación mantiene la base de datos AQUASTAT, que ha intentado normalizar las estimaciones de extracción de agua por países. Sin embargo, estos datos proceden de diversas fuentes e incluyen estimaciones tanto medidas como modelizadas, datos comunicados a intervalos irregulares y grandes lagunas en los datos. A pesar de sus limitaciones, siguen siendo uno de los conjuntos de datos más completos disponibles, y los examinamos aquí.

Dentro de la base de datos AQUASTAT, las extracciones de agua se dividen en tres categorías principales: agricultura, industria y municipal/doméstica, aunque los sistemas de contabilidad del agua carecen de uniformidad. Se consume algo más de agua por evaporación en lagos y embalses artificiales, pero las cantidades son relativamente modestas en comparación con las extracciones humanas intencionadas que se describen a continuación:

* Las extracciones de agua para la agricultura consisten en el agua utilizada para el riego, el abrevado y la limpieza del ganado y la acuicultura. El agua destinada a la transformación de productos agrícolas se incluye en las extracciones de agua industriales o municipales. En las zonas rurales, las extracciones de agua para uso agrícola suelen incluir el agua para uso doméstico.
* Las extracciones de agua industrial consisten en el agua utilizada por industrias autoabastecidas no conectadas a una red de distribución pública para fines tales como la fabricación, el procesamiento, el lavado, la dilución, la refrigeración o el transporte de un producto; el agua incorporada a un producto; o el agua utilizada para necesidades de saneamiento dentro de las instalaciones de fabricación.
* Las extracciones municipales son una categoría amplia que incluye el agua para usos domésticos, así como el agua suministrada por un municipio u otro proveedor público para fines comerciales, industriales e institucionales.

En torno a 2010, el año más reciente del que se dispone de datos, la agricultura representaba el 69% de las extracciones mundiales de agua, seguida de la industria autoabastecida (19%) y los municipios (12%) [(19](#bib19)). Sin embargo, estos porcentajes están sujetos a una importante variabilidad regional. En África y Asia, por ejemplo, la agricultura representa más del 80% de las extracciones de agua, frente al 65% en Oceanía, el 48% en América y el 25% en Europa. En cambio, las extracciones industriales de agua son relativamente elevadas en Europa (54%) y América (37%), frente al 15% de Oceanía, el 10% de Asia y sólo el 4% de África. La variabilidad regional de las extracciones municipales oscila entre el 9% en Asia y aproximadamente el 20% en Oceanía y Europa.

Tendencias en las extracciones de agua

Las extracciones mundiales de agua se multiplicaron casi por seis entre 1900 y 2010 [(Figura 2](#fig2)) [(19](#bib19)). El periodo de crecimiento más rápido fue entre 1950 y 1980, cuando las extracciones mundiales de agua se multiplicaron por 2,5. Se observó una tendencia similar en el uso consuntivo del agua, incluido el uso de aguas superficiales y subterráneas [(20](#bib20)). El ritmo de crecimiento comenzó a disminuir en 1980, y hay indicios de que las extracciones de agua empezaron a reducirse hacia el año 2000. Entre 2001 y 2010, las extracciones mundiales de agua aumentaron sólo un 2,7%, frente a un incremento medio del 30% en cada periodo de 10 años comprendido entre 1951 y 1960, 1961 y 1970, y 1971 y 1980. Los cambios en las extracciones de agua también varían según la región. [La Figura 3](#fig3) muestra las extracciones mundiales de agua desglosadas por tres grandes grupos económicos: Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica (BRICS); la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE); y el resto del mundo (ROW).

**<COMP: PLEASE INSERT FIGURE 2 AND 3 HERE>**

Figura 2 Extracciones mundiales de agua (km3/año) por sector de 1900 a 2010. La extracción mundial de agua está dominada por la agricultura de regadío. Datos de las referencias [19](#bib19) y [21](#bib21).

Figura 3 Extracciones mundiales de agua, total y por regiones. Datos de las referencias [22](#bib22)–[24](#bib24) . Esta figura muestra las extracciones mundiales de agua desglosadas por tres grandes grupos económicos: Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica *(azul*); la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, *rojo*), y el resto del mundo *(gris*).

Previsión de la demanda de agua

Los gestores del agua realizan habitualmente proyecciones a largo plazo de la demanda futura de agua como parte de la planificación de los sistemas hídricos. Estas proyecciones se utilizan para elaborar planes de inversión en infraestructuras, con implicancias para el abastecimiento regional de agua, las infraestructuras de tratamiento y los costos para los consumidores. Durante gran parte del siglo XX en los países industrializados, las previsiones de la demanda de agua se basaban normalmente en proyecciones de crecimiento demográfico y económico combinadas con índices históricos de uso de agua per cápita. Así, a medida que crecía la población, siempre se preveía un aumento de la demanda de agua. Desde finales de los años sesenta hasta los setenta, diversos analistas preveían que las extracciones mundiales de agua se duplicarían o incluso triplicarían en el año 2000 [(](#bib25)[25–27](#bib27)). Las proyecciones realizadas en las décadas de 1980 y 1990 también mostraban un aumento espectacular de la demanda mundial de agua, incluso cuando las extracciones reales empezaban a estabilizarse [(21](#bib21), [28](#bib28), [29](#bib29)). [La Figura 4](#fig4) muestra una serie de previsiones de la demanda mundial de agua realizadas antes de 1980, entre 1980 y 1999, y después de 2000 según el año de la previsión, comparadas con las extracciones históricas de agua a nivel mundial. Salvo raras excepciones, todas estas proyecciones muestran grandes aumentos de la demanda de agua, a menudo muy por encima del nivel de demanda que se ha registrado históricamente. Recién a principios del siglo XXI, algunos modelos empezaron a incorporar evaluaciones más sofisticadas de la dinámica de la población, los programas de eficiencia hídrica y los picos reales de escasez de agua, mostrando una ralentización e incluso la posibilidad de una estabilización o disminución de las extracciones totales de agua [(](#bib30)[30–32](#bib32)).

**<COMP: PLEASE INSERT FIGURE 4 HERE>**

Figura 4 Diversas previsiones de la demanda mundial de agua realizadas antes de 1980 *(rojo*), entre 1980 y 1999 *(azul*) y después de 2000 *(gris*) según el año de la previsión, comparadas con las extracciones históricas mundiales de agua *(negro*). Cada punto de datos representa una proyección individual del uso futuro del agua, con el inicio de la línea en el año en que se publicó la proyección. Todas las primeras proyecciones preveían aumentos muy importantes de las extracciones de agua. Las proyecciones más recientes muestran una estabilización o incluso una disminución de las extracciones de agua, reconociendo la disociación reciente entre el uso del agua y el crecimiento económico y demográfico. Figura adaptada con permiso de la referencia 33.

La sobreestimación de la demanda futura también es un problema local y regional. Recientemente se ha llevado a cabo una revisión de la precisión de las previsiones de demanda de agua a largo plazo de los 10 mayores proveedores de agua urbanos de California [(34](#bib34)). En 2015, estos proveedores de agua abastecían a una cuarta parte de la población del estado. La demanda de agua en California lleva años estabilizándose e incluso disminuyendo, porque las reservas naturales son limitadas, se han implantado programas de eficiencia hídrica de forma agresiva y la economía ha evolucionado hacia una fabricación menos intensiva en agua. Sin embargo, los 10 proveedores de agua siguen proyectando sistemáticamente que la demanda futura aumentará, en gran parte porque siguen utilizando estimaciones infladas del consumo de agua per cápita e hipótesis obsoletas sobre los efectos del crecimiento demográfico y económico en la demanda de agua. Incluso cuando los proveedores de agua tuvieron en cuenta una demanda de agua per cápita constante y a veces incluso decreciente, la demanda real disminuyó más rápido de lo previsto [(34](#bib34)). [La Figura 5](#fig5) *[a](#fig5)* y *b* muestra las demandas de agua reales y proyectadas para dos grandes áreas metropolitanas de California: en todas ellas, la demanda real es inferior a la prevista. Entre las consecuencias negativas de la sobreestimación de la demanda futura de agua se encuentran los costosos gastos financieros para infraestructuras superfluas de suministro y tratamiento del agua, los mayores costos del servicio para los consumidores y los impactos medioambientales innecesarios [(34](#bib34), [35](#bib35)).

**<COMP: PLEASE INSERT FIGURE 5 HERE>**

Figura 5 La mayoría de los grandes sistemas de abastecimiento de agua proyectan habitualmente aumentos de la demanda muy superiores a los niveles que realmente se materializan. Aquí se representa la demanda real de agua del Departamento de Agua y Energía de Los Ángeles *[(a](#fig5))* y de la ciudad de San Diego *[(b](#fig5)) (línea negra continua)* frente a las proyecciones de demanda *(líneas de puntos)* realizadas en 2000, 2005, 2010 y 2015 para los próximos 20 o 25 años. Datos de Abraham et al. (34). A pesar de los continuos descensos de la demanda real, todas las proyecciones muestran un aumento de la demanda futura, en gran medida porque siguen utilizando estimaciones infladas del consumo de agua per cápita e hipótesis obsoletas sobre los efectos del crecimiento demográfico y económico en la demanda de agua. Incluso cuando los proveedores de agua tuvieron en cuenta una demanda de agua per cápita constante y a veces incluso decreciente, la demanda real disminuyó el doble de rápido de lo previsto [(34](#bib34)).

FACTORES DE ESCASEZ

Son muchos los factores que determinan la escasez de agua, entre ellos la hidrología básica de una región, la demografía y la economía, el nivel y el tipo de infraestructuras e instituciones hídricas construidas para satisfacer la demanda humana, y la naturaleza de esa misma demanda. A continuación, abordamos estos factores clave.

Hidrología

El concepto de escasez se basa en el desajuste entre la oferta y la demanda. La variabilidad natural del ciclo hidrológico crea esos desajustes, pero en ausencia del componente humano de la demanda de agua, esa variabilidad natural simplemente se traduce en variabilidad en el tipo de ecosistema, desde la selva tropical hasta los sistemas desérticos. Como ya se ha señalado, el ciclo hidrológico natural es muy variable en el espacio y en el tiempo. Aunque se dispone de estimaciones de las reservas y flujos medios mundiales de agua (véanse [las Tablas 1](#tb1) y [2](#tb2)), estos promedios ocultan las fluctuaciones dinámicas que también pueden influir en la percepción humana de la escasez.

Hay muchas definiciones diferentes de sequía, entre ellas hidrológica, meteorológica, agrícola y económica [(36](#bib36), [37](#bib37)). La sequía hidrológica y meteorológica, por ejemplo, puede definirse como un déficit de escurrimiento, aguas subterráneas, precipitaciones u otras métricas relacionadas con el agua, en comparación con la cantidad de agua prevista en promedio. La sequía agrícola puede consistir en una escasez de agua durante un periodo especialmente crítico para el éxito de la producción de un cultivo. Una sequía social o económica puede definirse en el contexto de una demanda social o económica específica de agua cuando dicha demanda no puede satisfacerse plenamente. La sequía ecológica es un déficit en las reservas de agua disponibles de forma natural que crea tensiones en los ecosistemas. Una definición sencilla de sequía es "el desajuste entre las cantidades de agua que proporciona la naturaleza y las cantidades de agua que demandan los seres humanos y el medio ambiente" [(36](#bib36), p. 3859). Los efectos de la sequía son el resultado de la interacción entre los fenómenos naturales, las demandas de agua de la población y el hecho de que las actividades humanas pueden influir tanto en la oferta como en la demanda.

Factores demográficos y económicos

En el sentido más simple, el papel de la demanda generada por la población y la economía es sencillo. Con muy modestas excepciones, el agua no se crea ni se pierde en la Tierra, sino que simplemente pasa de unas reservas a otras a lo largo del tiempo, por lo que la disponibilidad natural de recursos hídricos a lo largo del tiempo es fija. Por lo tanto, a medida que aumenta la población, disminuye la cantidad de agua disponible per cápita. La sencilla métrica “disponibilidad de agua per cápita” (agua por unidad de población) es una forma habitual de medir la escasez de agua, y se han creado numerosos índices con variantes de la misma. Con el crecimiento demográfico y económico, también ha aumentado tradicionalmente la demanda de agua, lo que ha creado nuevos factores medibles y significativos de escasez y desequilibrios entre la oferta y la demanda. Los factores económicos también pueden impulsar la escasez percibida cuando, por razones de pobreza, las personas no pueden pagar los servicios de agua que necesitan y se ven privadas del acceso a dichos servicios [(38](#bib38)).

Es vital señalar que, en las regiones que se consideran escasas de agua, a menudo hay poblaciones —típicamente comunidades más ricas y socialmente privilegiadas— que no carecen de acceso a servicios básicos de agua adecuados. Por el contrario, en las regiones con abundancia de agua, hay comunidades que no tienen acceso a agua segura y asequible, típicamente comunidades pobres y marginadas [(39](#bib39), [40](#bib40)). Esta cuestión de la pobreza hídrica requiere mucha más atención, porque trasciende la cuestión de la disponibilidad o escasez física de agua y abarca cuestiones de capacidad económica para pagar por el agua [(41](#bib41), [42](#bib42)); cuestiones sobre el control público frente al privado de los sistemas hídricos [(43](#bib43), [44](#bib44)); diferencias en el acceso a las tecnologías hídricas y a los sistemas hídricos construidos [(45](#bib45), [46](#bib46)); y una arraigada discriminación social, política, religiosa y racial [(47](#bib47), [48](#bib48)).

Infraestructura e instituciones

Incluso cuando la disponibilidad física o económica del agua no es un problema, puede producirse escasez de agua si la infraestructura es inadecuada o si hay problemas con las instituciones y los sistemas de gestión del agua que impiden que los servicios hídricos deseados lleguen al punto de demanda. ¿Es escasa el agua cuando una cuenca, un manantial o un río cercanos tienen agua en abundancia, pero una comunidad debe caminar tres kilómetros para conseguirla, o cuando la calidad es deficiente? En estos casos, el problema puede ser de escasez institucional o de infraestructura, no de escasez física, y no se aborda buscando nuevas fuentes de suministro o modificando la demanda, sino mejorando la gestión y la infraestructura necesaria para satisfacer la demanda de agua.

Otro aspecto de la escasez institucional es cuando la política hídrica limita las cantidades de agua que pueden utilizarse; por ejemplo, cuando los esfuerzos por proteger y restaurar los ecosistemas llevan a comprometer para el medio ambiente agua que antes podría haber sido utilizada por los seres humanos. Al reconocer que los ecosistemas tienen derecho al agua que queda en el cauce, las condiciones locales de escasez percibidas por los seres humanos pueden empeorar. En 1992, el Congreso de EE. UU. aprobó la Ley de Mejora del Proyecto del Valle Central, una ley de aguas polivalente que, entre otras cosas, obligaba a dedicar mil millones de metros cúbicos de agua a restaurar el ecosistema, incluyendo mejorar la salud de las poblaciones de peces anádromos. Se consideró que esta ley creaba problemas adicionales de escasez de agua para los agricultores de la región y empeoraba la sobreexplotación de las aguas subterráneas al desplazar el uso agrícola del agua de las fuentes superficiales a los acuíferos, y ha sido un tema polémico en la política hídrica de California durante casi tres décadas [(49](#bib49)).

Cambio climático

Los cambios climáticos inducidos por el hombre se están acelerando. Entre las consecuencias ya inevitables se encuentran cambios fundamentales en el ciclo hidrológico, como el aumento de las tasas de evapotranspiración a medida que sube la temperatura, cambios regionales en las reservas y flujos de agua y hielo, alteraciones en la intensidad y gravedad de fenómenos extremos como sequías e inundaciones, cambios en los balances de agua dulce de los acuíferos costeros y estuarios a medida que sube el nivel del mar, etc. [(50](#bib50)). Los cambios climáticos también tendrán repercusiones directas e indirectas sobre la escasez de agua al modificar tanto la oferta como la demanda de agua dulce. Aunque los modelos climáticos siguen mejorando, persiste la incertidumbre sobre las implicancias detalladas a largo plazo del cambio climático para la hidrología regional y local. Sin embargo, en los últimos años, la huella del cambio climático se ha hecho evidente en un número creciente de ámbitos relacionados con el agua, como la cantidad de agua aportada por los ciclones tropicales. [(51](#bib51), [52](#bib52)), la profundidad y gravedad de las sequías [(53](#bib53), [54](#bib54)), las alteraciones de los caudales fluviales debidas al deshielo de la nieve y el hielo [(55](#bib55), [56](#bib56)) y las pérdidas por evaporación de los embalses [(57](#bib57)). A medida que empeoren los cambios climáticos, se prevé que aumenten los riesgos de escasez de agua para cientos de millones de personas, salvo que se realicen grandes esfuerzos para reducir tales riesgos [(9](#bib9), [58](#bib58)).

INDICADORES Y MÉTRICAS DE LA ESCASEZ DE AGUA

A medida que ha ido aumentando el uso humano del agua y que algunas regiones han experimentado picos de escasez, se han hecho numerosos intentos de definir y medir la escasez de agua. En los últimos años se han desarrollado hasta 150 indicadores diferentes de la escasez de agua [(59](#bib59)). Estas iniciativas han evolucionado con la mejora de nuestra comprensión de las sutilezas tanto de la oferta hídrica natural como de la demanda humana y ecológica de agua.

**Indicadores y métricas del agua:** medidas cuantitativas y cualitativas de la escasez de agua que pueden abarcar factores económicos, ecológicos y humanos relacionados.

Indicadores de agua per cápita

Otra forma de entender la distribución desigual de los recursos renovables de agua dulce es fijarse en la disponibilidad de agua por persona, una métrica que integra la disponibilidad natural con el tamaño de la población que necesita abastecerse de ese suministro. [La Figura 6](#fig6) presenta, para las principales regiones del mundo, la disponibilidad de agua renovable per cápita. Cuando este indicador es bajo, el riesgo de escasez de agua —debido a una combinación de hidrología y población— es mayor.

**<COMP: PLEASE INSERT FIGURE 6 HERE>**

Figura 6 Disponibilidad de agua renovable per cápita por región en metros cúbicos por persona y año. Datos de la referencia [19](#bib19). La distribución desigual de los recursos renovables de agua dulce se pone de manifiesto cuando se analiza la disponibilidad de agua por persona por región, una métrica que integra la disponibilidad natural con el tamaño de la población que necesita abastecerse de ese suministro. La figura presenta, para las principales regiones del mundo, la disponibilidad de agua renovable per cápita. Cuando este indicador es bajo, el riesgo de escasez de agua, debido a una combinación de hidrología y población, es mayor.

Uno de los primeros métodos para cuantificar la escasez de agua adopta este concepto de índice de disponibilidad de agua per cápita. Propuesta por la experta hídrica sueca Malin Falkenmark, esta métrica mide la cantidad de agua dulce natural renovable disponible en un país en función del tamaño de la población. Cuanto mayor sea la población que se intenta gestionar con cada unidad de agua, mayor será la escasez de agua [(26](#bib26)).

Con el tiempo, esta métrica se invirtió para medir la cantidad de agua dulce disponible por unidad de población. De esta forma, se seleccionaron 1.700 metros cúbicos de agua por persona y año (m3/p/año) como el nivel por encima del cual la escasez de agua es infrecuente y localizada; a menos de 1.000 m3/p/año, las limitaciones de agua empiezan a afectar a la salud, el desarrollo económico y el bienestar; y por debajo de 500 m3/p/año indica que la disponibilidad de agua es una limitación importante para el bienestar económico y humano [(Tabla 3](#tb3)).

**<COMP: PLEASE INSERT TABLE 3 HERE>**

Muchas personas y organizaciones se han basado en el índice de Falkenmark o en una métrica comparable de escasez de agua per cápita para evaluar los desafíos hídricos globales. En la década de 1990, por ejemplo, Population Action International lo utilizó para clasificar a los países del mundo por orden de escasez [(62](#bib62), [63](#bib63)), y sigue citándose y aplicándose en la actualidad [(20](#bib20), [64](#bib64)).

Aunque la métrica de Falkenmark y otras que se centran en la población son sencillas y su uso está extendido, presentan varias deficiencias. Uno de los problemas es la suposición fundamental de que todo el suministro de agua dulce renovable de una región está disponible para uso humano sin tener en cuenta las necesidades de agua de los ecosistemas. Otro problema es que el índice adopta una medida de disponibilidad de agua como indicador del bienestar. Pero esta métrica dice poco sobre la forma en que esa región o país moviliza o utiliza el agua disponible, o sobre si algunas necesidades de agua pueden trasladarse a otras regiones, por ejemplo, importando alimentos en lugar de cultivarlos localmente. El índice también asume que la disponibilidad de agua es constante en el tiempo y en el espacio, pero la disponibilidad de agua fluctúa de un año a otro, de forma estacional y regionalmente dentro de los países y las cuencas hidrográficas. Las estimaciones de la disponibilidad media anual de agua en Estados Unidos o China, por ejemplo, ocultan grandes diferencias en la disponibilidad de agua a nivel regional [(65](#bib65)).

Métricas de la oferta y la demanda

Otro inconveniente clave de la métrica basada en la población es que, al centrarse únicamente en el tamaño de la población y en una medida de la disponibilidad natural de agua, no tiene capacidad para evaluar el papel de la demanda hídrica. A principios y mediados de los noventa, varios esfuerzos por subsanar esta deficiencia condujeron a la formulación de índices que intentaban comparar la oferta y la demanda por regiones. En una de las primeras evaluaciones de la vulnerabilidad de los sistemas hídricos al cambio climático, Gleick (1990) definió una serie de indicadores y medidas cuantitativas para las principales cuencas fluviales de Estados Unidos, incluida una que evaluaba la relación entre la demanda de agua para consumo (D) y el suministro renovable disponible (Q) e identificaba las cuencas como vulnerables cuando D/Q era igual o superior a 0,20 [(66](#bib66)). El Instituto del Ambiente de Estocolmo (SEI) creó un *Índice de vulnerabilidad de los recursos hídricos* (WRVI, por sus siglas en inglés) que incluye una relación similar entre las extracciones anuales totales de agua y el suministro renovable anual y clasifica las regiones con estrés hídrico cuando la relación se sitúa entre 0,20 y 0,40 [(67](#bib67)). Para abordar la naturaleza variable tanto de la disponibilidad como de la demanda de agua, el Instituto Internacional de Gestión del Agua creó a finales de la década de 1990 un Indicador de Escasez Relativa de Agua que incluía un cambio en las extracciones de agua de un país a lo largo del tiempo (calculado para 1990 y 2025) y una medida de las extracciones de agua como fracción de los recursos hídricos anuales totales. Estos indicadores permitían evaluar tanto la rapidez con la que crecía el consumo de agua de un país como su proximidad a los límites naturales [(29](#bib29)).

Métricas que abordan factores institucionales, infraestructurales y ecológicos

El desarrollo de los índices de escasez de agua se siguió perfeccionando y se reconoció el papel de la capacidad de adaptación de las instituciones y las infraestructuras, la naturaleza estocástica de la hidrología y el rol de la demanda ecológica de agua. Los primeros esfuerzos en estas áreas incluyen el WRVI del SEI mencionado anteriormente, que también intenta tener en cuenta la capacidad de adaptación de las sociedades y la fiabilidad del suministro de agua, incluyendo métricas de variabilidad natural, un indicador de la capacidad de la infraestructura y una métrica geopolítica de la dependencia de una región del agua procedente de fuera de sus fronteras [(Figura 7](#fig7)) [(28](#bib28)). Se calculó un *Índice de estrés hídrico social* que incorpora medidas hidrológicas tradicionales con variables del *Índice de desarrollo humano* de las Naciones Unidas vinculadas al acceso a la educación, la participación política y la equidad económica para 159 países en los años 1995 y 2025 [(68](#bib68)) como indicador de la capacidad de una región para adaptarse a la escasez física de agua.

**<COMP: PLEASE INSERT FIGURE 7 HERE>**

Figura 7 *Índice de vulnerabilidad de los recursos hídricos* del Instituto del Ambiente de Estocolmo. El subíndice *Relación entre el uso y la disponibilidad de agua* mide el estrés promedio relacionado con el agua que los sistemas ecológicos y socioeconómicos ejercen sobre los recursos utilizables de un país. El subíndice *Capacidad de respuesta* mide la capacidad económica e institucional de los países para hacer frente a las tensiones relacionadas con el agua. Los tres indicadores que componen el subíndice *Fiabilidad* examinan la variabilidad del suministro de agua. Cada métrica se divide en grupos sin estrés, con estrés bajo, con estrés y con estrés alto, y se promedian para obtener una puntuación global del Índice de vulnerabilidad de los recursos hídricos. Figura adaptada con permiso de la referencia 28.

Otro intento por integrar medidas sociales, ecológicas y económicas en una medición de la escasez de agua fue el *Índice de pobreza hídrica* (WPI por sus siglas en inglés) del Centro de Ecología e Hidrología del Reino Unido [(69](#bib69)). El WPI se obtiene a partir de una media ponderada de cinco componentes que miden la disponibilidad de recursos hídricos, el acceso al agua, la capacidad institucional, el uso del agua y las necesidades medioambientales [(70](#bib70)). Cada uno de estos componentes, a su vez, consta de múltiples variables (véase el Cuadro 4). Por ejemplo, el acceso al agua incluye factores relativos a la disponibilidad general de agua, el tiempo empleado en recogerla y el porcentaje de agua que acarrean las mujeres. El WPI se desarrolló tanto como un índice global convencional de diferentes componentes que pueden informarse a lo largo del tiempo, como un índice de medición de la brecha que refleja la diferencia entre el uso del agua en una región o país en comparación con el agua necesaria para satisfacer sus necesidades humanas, ecológicas y económicas. El WPI se puso a prueba en Tanzania, Sri Lanka, Sudáfrica, la República Dominicana, Haití, Guyana y algunos otros países, pero no se ha adoptado de forma generalizada debido a las dificultades para encontrar datos y para escalar el índice desde el nivel local al nivel de nación o de cuenca hidrográfica.

**<COMP: PLEASE INSERT TABLE 4 HERE>**

Métricas de escasez de agua en los ecosistemas

La comprensión del rol de los ecosistemas para la sostenibilidad medioambiental y la salud humana ha mejorado en las últimas décadas. En consecuencia, la comunidad hídrica ha ampliado sus esfuerzos para integrar las necesidades ecológicas de agua y las medidas de calidad hídrica en los análisis de escasez, asignación y uso del agua. En el caso de los ecosistemas, un enfoque consiste en desarrollar un requisito de caudal medioambiental (EFR) de ríos y humedales e incluir dichos requisitos en las evaluaciones de escasez. Los primeros intentos rudimentarios se limitaban a suponer que era necesario un porcentaje fijo del escurrimiento fluvial para los fines de los ecosistemas, pero pronto se comprendió que las evaluaciones de la escasez debían incluir EFR que variaran según la región, la estación y el tipo de ecosistema. Pastor et al. demostraron para una serie de cuencas hidrográficas locales que se necesitaba más agua para fines medioambientales básicos durante los periodos de sequía (entre el 46% y el 71% de los caudales bajos medios) en comparación con los periodos de caudales altos (entre el 17% y el 45% de los periodos húmedos medios) [(71](#bib71)).

Liu et al. utilizan este enfoque para evaluar la escasez de agua en una cuenca fluvial árida de Mongolia Interior (China), una cuenca con un escurrimiento natural limitado y una creciente demanda humana de agua para fines domésticos y agrícolas [(72](#bib72)). Reservan diferentes niveles mensuales de caudal fluvial para satisfacer las requerimientos de caudal con el fin de mantener las poblaciones de peces saludables. Para esta cuenca fluvial en concreto, concluyen que se necesita casi una cuarta parte de los caudales totales de agua renovable para mantener unas condiciones saludables del ecosistema, lo que aumenta los riesgos de escasez de agua para uso humano.

Agua virtual, huella hídrica y escasez de agua azul, verde y gris

A medida que el debate y el análisis de la escasez de agua se han vuelto más sofisticados y reflejan la complejidad tanto del ciclo hidrológico natural como de las diferentes formas de uso humano del agua, se han desarrollado dos conceptos nuevos pero relacionados para ayudar a mejorar la contabilidad hídrica y evaluar la escasez: el agua virtual y la huella hídrica. Estos conceptos mejoran la capacidad de medir el uso del agua por parte de las naciones, la producción agrícola y los bienes y servicios industriales, y de reconocer el papel que desempeñan el comercio y las transferencias de bienes y servicios en la superación de la escasez regional absoluta de agua. Ambos conceptos han sido ampliamente adoptados y se utilizan para mejorar la aplicación académica y práctica de las evaluaciones de la escasez de agua.

Como el agua es físicamente pesada y costosa de trasladar, la economía favorece el traslado de bienes y servicios en lugar del agua en sí como forma de superar la escasez de agua. El agua virtual es la idea de que cuando se transfieren o comercian dichos productos, ello implica la transferencia o el comercio de la cantidad de agua virtual necesaria para producir esos bienes y servicios [(73](#bib73), [74](#bib74)). Por ejemplo, una regla empírica aproximada es que se necesitan aproximadamente 1.000 toneladas de agua para cultivar una tonelada de grano, por lo que transferir una tonelada de grano en lugar de 1.000 toneladas de agua tiene sentido económico como estrategia para superar una escasez regional de agua para la agricultura. La huella hídrica —una versión de la huella ecológica propuesta por Wackernagel & Rees (75) que mide el capital natural que requiere un bien o servicio— es una medida del total de agua necesaria para producir un bien o servicio, o para sostener una economía, o satisfacer las demandas de un individuo [(18](#bib18), [76](#bib76)).

A medida que se afianzaron los conceptos de agua virtual y huella hídrica y que los investigadores empezaron a cuantificar los requerimientos de agua de distintas políticas, acciones o productos, surgió un nuevo reto. Los problemas de escasez de agua dulce tienen implicancias muy diferentes en función de las reservas o el caudal de la fuente de agua y de cómo se utilice. Para calcular la disponibilidad anual renovable de agua dulce, la mayoría de las estimaciones oficiales utilizan la suma de las precipitaciones, los caudales fluviales disponibles y el rendimiento seguro de las aguas subterráneas. El agua para la producción agrícola puede proceder de las precipitaciones o de la desviación intencional de los caudales de aguas superficiales y subterráneas mediante el riego artificial. El agua para la refrigeración de las centrales eléctricas no puede provenir de las precipitaciones, sino que suele depender del caudal de los ríos (o del agua del océano cuando las centrales están situadas en la costa). La contaminación puede inutilizar una fuente de agua, reduciendo el suministro disponible. Para abordar estas distinciones, se aplicaron los conceptos de agua azul, verde y gris, descritos anteriormente [(18](#bib18), [77](#bib77)).

La escasez de agua azul se ha definido como la relación entre la huella de agua azul en una cuenca hidrográfica y la cantidad de agua azul disponible para su uso tras tener en cuenta las necesidades de caudal ecológico [(78](#bib78)). La escasez de agua verde se produce cuando las precipitaciones son insuficientes para los usos deseados, principalmente para la producción agrícola. La creciente contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos contribuye a la escasez de agua al inutilizar recursos hídricos previamente disponibles, a menos que se sometan a un tratamiento costoso. Un ejemplo es la clasificación de la escasez de agua azul en cuatro grados de escasez: baja, moderada, significativa y grave [(Tabla 5](#tb4)). En esta iniciativa, Hoekstra et al. (78) descubrieron que al menos 2.700 millones de personas viven (en 2012) en grandes cuencas hidrográficas con grave escasez de agua al menos un mes al año. Este tipo de métricas también pueden aplicarse regional [(79](#bib79)) o temporalmente. [La Figura 8](#fig8) muestra la cantidad de meses en que la demanda de agua azul supera la oferta de agua azul por región.

**<COMP: PLEASE INSERT TABLE 5 HERE>**

**<COMP: PLEASE INSERT FIGURE 8 HERE>**

Figura 8 Cantidad de meses al año en los que la huella hídrica azul supera la disponibilidad de agua azul en las principales cuencas fluviales del mundo, según el periodo de 1996 a 2005. La disponibilidad de agua azul se refiere a los caudales naturales de los ríos y las aguas subterráneas menos el requisito presunto de caudal medioambiental. La huella hídrica azul se refiere al uso total de agua azul para la producción de bienes y servicios en cada región. Figura adaptada con permiso de la referencia 78.

Métricas de los límites planetarios

La iniciativa de los límites planetarios que comenzó a principios del siglo XXI mide lo cerca que está el planeta de un conjunto de nueve umbrales. Una primera evaluación para identificar y definir dichos límites se basó en tres ramas de investigación. El primero es el vínculo entre las actividades humanas y la capacidad de carga de la Tierra, basado en las ciencias y la economía ecológicas. El segundo es el desarrollo de una ciencia de la sostenibilidad que integre la información sobre los procesos físicos, químicos y biológicos esenciales con las acciones humanas. El tercero es el creciente esfuerzo por comprender la dinámica de los sistemas vivos complejos y su resistencia a las tensiones [(80](#bib80)).

Uno de los nueve límites subyacentes a estos índices es una medida del uso global del agua dulce. Dado que los vínculos entre el uso del agua dulce y la biodiversidad, la producción de alimentos, la salud humana y la función ecológica son tan fuertes, Rockström et al. (80) incluyen una medida del uso consuntivo del agua azul como aproximación a los umbrales de agua dulce. Utilizando este concepto, proponen que la escasez física de agua se alcanza cuando las extracciones humanas de agua superan los 5.000–6.000 km3/año y que transgredir un límite de ~4.000 km3/año de uso consuntivo de agua aumenta el riesgo de colapso de los ecosistemas terrestres y acuáticos. Aunque Rockström et al. [(80](#bib80)) estimaron que el consumo mundial actual de agua era de sólo ~2.600 km3/año, señalaron que la demanda crecía rápidamente, sobre todo para la producción de alimentos. La limitación de este enfoque aplicado al agua dulce, como ya se ha señalado, es que la escasez de agua es un reto regional, no mundial, y en muchos lugares ya se han superado los niveles límite peligrosos [(81](#bib81)).

Estado de las evaluaciones de la escasez de agua

Aunque existen importantes diferencias y distinciones entre los numerosos indicadores de escasez de agua, todos ellos ponen de relieve la amenaza de graves problemas hídricos en las regiones de latitudes medias y bajas de África, Oriente Medio y el sur de Asia, impulsados por una combinación de hidrología, aumento de los niveles de población y escasa capacidad institucional y económica. En general, las evaluaciones más recientes, realizadas con datos de mayor resolución, tienden a mostrar un mayor número de personas en riesgo de sufrir problemas hídricos, especialmente en regiones con gran densidad de población urbana [(82](#bib82)). Del mismo modo, los esfuerzos por implementar medidas de calidad hídrica aumentan las zonas vulnerables a la escasez de agua, al reducir la cantidad de agua disponible y apta para el uso humano. Las primeras evaluaciones basadas en la población sugerían que entre 1.500 y 2.500 millones de personas vivían en zonas vulnerables a la escasez de agua en torno al año 2000, pero evaluaciones más sofisticadas de la escasez, como la huella hídrica y la métrica azul-verde-gris del agua, sugieren que la población vulnerable a la escasez en algunos lugares y en algunos momentos podría llegar a los 4.000 millones [(](#bib83)[83–85](#bib85)).

Cualquier debate sobre la escasez de agua debe abordar también, o al menos intentar definir, qué se entiende por necesidades básicas de agua: ¿cuánta agua, de qué calidad y a qué precio se necesita para satisfacer las necesidades humanas básicas de agua? Se han hecho algunos intentos de tratar estas cuestiones. Cuando la ONU declaró el derecho humano al agua y al saneamiento en 2010, afirmó: "El derecho humano al agua da derecho a toda persona a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, físicamente accesible y asequible para el uso personal y doméstico" [(86](#bib86), p. 1). La Organización Mundial de la Salud de la ONU define las necesidades básicas de agua entre 50 y 100 litros (l) al día. Gleick [(87](#bib87)) definió las necesidades básicas de agua para saneamiento, cocina, limpieza y bebida en 50 litros por persona y día. Pero se pueden aducir asignaciones adicionales para el agua requerida para cultivar alimentos, mantener funciones ecológicas básicas o producir bienes y servicios necesarios, y estas variables influyen en si las personas o las comunidades perciben la escasez de agua como un problema.

CÓMO abordar LA ESCASEZ DE AGUA

Una razón fundamental para definir y medir la escasez de agua es identificar enfoques eficaces para abordarla. A medida que ha mejorado nuestra comprensión de los complejos factores que afectan a la escasez de agua, también lo han hecho los esfuerzos por entender las estrategias para reducir sus riesgos. Durante la mayor parte del siglo XX, los planificadores y gestores hídricos se centraron en resolver la escasez física de agua ampliando el suministro. Esto supuso la construcción de presas y embalses para almacenar agua en periodos húmedos y utilizarla en periodos secos, la construcción de tuberías y acueductos para permitir la captación de aguas superficiales de fuentes cada vez más lejanas y la perforación de pozos para explotar los recursos hídricos subterráneos.

Sin embargo, centrarse en la oferta tiene algunas limitaciones importantes que no se comprendieron, o se ignoraron, en años anteriores. Sharma & Vairavamoorthy, por ejemplo, señalan que "ha conducido a la sobreexplotación de los recursos, la sobrecapitalización, la contaminación y otros problemas de diversa gravedad" [(88](#bib88), p. 210). A medida que las opciones de suministro se han vuelto más limitadas, reguladas o costosas, se ha producido un importante cambio de enfoque para replantearse cómo se utiliza el agua y cómo utilizarla de forma más eficiente y productiva. La gestión de la demanda se reconoce cada vez más como una alternativa comparable para reducir la presión sobre los escasos recursos hídricos. En esta sección, analizamos las oportunidades para hacer frente a la escasez de agua tanto ampliando la oferta como mejorando la gestión de la demanda y describimos algunas de las herramientas disponibles para implementar alternativas de gestión del agua.

Abordaje del suministro de agua

Las opciones tradicionales de suministro de agua siguen siendo una herramienta importante para los planificadores y gestores hídricos, aunque deben desarrollarse teniendo en cuenta el impacto ambiental, las inquietudes de las comunidades locales y evaluaciones más exhaustivas de costos y beneficios. Las presas que proporcionan almacenamiento de agua para mitigar los riesgos de inundaciones y sequías han aportado grandes beneficios para hacer frente a la escasez regional, y su construcción continúa en todo el mundo, aunque a un ritmo más lento que a mediados del siglo XX [(Figura 9](#fig9)). La ralentización de la construcción de presas se debe en parte a una mayor comprensión de los graves daños ecológicos que causan algunas de ellas, a una mayor consideración de las voces de las comunidades locales afectadas por la modificación de los caudales fluviales o la creación de embalses, y a la disminución de las subvenciones nacionales a grandes proyectos hídricos, especialmente en Europa, Norteamérica y Rusia. Actualmente, la mayor parte de la construcción de grandes presas se lleva a cabo en China y África [(89](#bib89)).

**<COMP: PLEASE INSERT FIGURE 9 HERE>**

Figura 9 Capacidad de almacenamiento acumulada de las presas del mundo, en miles de millones de metros cúbicos, de 1900 a 2018. Datos de la referencia [89](#bib89).

Todavía se extrae una cantidad sustancial de agua de los recursos tradicionales de aguas superficiales y subterráneas, pero estas fuentes cada vez alcanzan más los picos hídricos máximos. En cuanto a las fuentes superficiales, una vez que un río está totalmente aprovechado, no hay más agua disponible. En el caso de las reservas de aguas subterráneas, cuando la extracción supera la recarga, el nivel de las aguas subterráneas desciende, los costos de bombeo aumentan y los cursos de agua superficiales alimentados por aguas subterráneas se secan. En la actualidad, las aguas subterráneas representan aproximadamente un tercio de todas las extracciones de agua del mundo y la mitad o más del agua que se utiliza para el riego agrícola [(90](#bib90)). Muchas de las principales cuencas de aguas subterráneas ya están gravemente sobreexplotadas, especialmente en las regiones áridas y semiáridas, y este uso no renovable del agua es insostenible, lo que conlleva un riesgo creciente de escasez de agua en el futuro [(91](#bib91), [92](#bib92)).

A medida que las opciones tradicionales de abastecimiento de agua se han vuelto menos viables en muchas zonas, se ha puesto un nuevo énfasis en los suministros de agua alternativos, como la desalinización del agua salobre y oceánica, la reutilización de las aguas residuales y la captación del escurrimiento de las aguas pluviales urbanas. Estas alternativas ofrecen la posibilidad de ampliar el suministro de agua o reutilizar las fuentes existentes, sin extraer más agua dulce de los ecosistemas naturales.

Desalinización.

Las tecnologías de desalinización convierten el agua salina de los océanos o de fuentes salobres en una fuente de agua dulce. En la actualidad, la mayoría de las plantas desalinizadoras utilizan sistemas de filtración por membranas de ósmosis inversa, aunque todavía se utilizan métodos de desalinización térmica. La desalinización suele ser extremadamente costosa y de gran consumo energético, pero puede proporcionar nuevos suministros a regiones sin otras fuentes viables. [La Figura 10](#fig10) muestra la expansión de la capacidad de desalinización en todo el mundo entre 1975 y 2020.

**<COMP: PLEASE INSERT FIGURE 10 HERE>**

Figura 10 Capacidad mundial de desalinización de 1975 a 2020, que muestra el rápido aumento de las instalaciones de desalinización instaladas. Figura adaptada con permiso de la referencia [93](#bib93).

Tratamiento de aguas residuales.

El tratamiento y la reutilización de las aguas residuales pueden proporcionar un suministro de agua local confiable que complemente las opciones tradicionales y reduzca la vulnerabilidad a las sequías; y la calidad de las aguas residuales tratadas puede ser excelente, dadas las modernas tecnologías de filtración y desinfección [(94](#bib94), [95](#bib95)). También puede aportar beneficios económicos y medioambientales, por ejemplo, reduciendo el consumo de energía necesario para encontrar, tratar y distribuir nuevos recursos, disminuyendo las desviaciones de los ríos y arroyos y eliminando la contaminación de los vertidos de aguas residuales más tradicionales. Los primeros usos del agua reciclada fueron para la agricultura, aunque ahora existe un conjunto más amplio de aplicaciones para el agua reciclada, incluyendo la producción de energía geotérmica, la recarga de aguas subterráneas, el aumento de los embalses, el riego de jardines y el uso industrial. El uso total de aguas residuales depuradas ha aumentado rápidamente en los últimos años [(Figura 11](#fig11)). Un puñado de comunidades, incluidas Windhoek, Namibia y Big Spring, Texas, practican la reutilización potable directa, mediante la cual las aguas residuales municipales se tratan y se vierten directamente al sistema de agua potable, y dichos sistemas se están expandiendo tanto en alcance como en aceptabilidad ([95](#bib95)–[98](#bib98)).

**<COMP: PLEASE INSERT FIGURE 11 HERE>**

Figura 11 Capacidad mundial de reutilización de aguas residuales en miles de millones de metros cúbicos al año, promediada en periodos de cinco años. El rápido crecimiento de la reutilización de aguas residuales refleja su creciente valor como nueva fuente de agua. Datos de la referencia [19](#bib19).

Captación y aprovechamiento de aguas pluviales.

Entre las nuevas fuentes de agua está la captación, el tratamiento y la reutilización de las aguas pluviales urbanas, que antes se consideraban un lastre. Ahora se reconoce que las aguas pluviales tienen el potencial de proporcionar cantidades locales sustanciales de agua en algunas regiones, al tiempo que reducen el riesgo de inundaciones. Por ejemplo, el Departamento de Agua y Energía de Los Ángeles y sus proveedores de servicios públicos captan y recargan activamente unos 36 millones dem3 de aguas pluviales al año, junto con otros 43 millones de m3 de aguas pluviales que se infiltran en los acuíferos de aguas subterráneas potables a través de la recarga incidental. En los próximos 20 años, la ciudad calcula que podrían captarse entre 84 y 140 millones dem3 adicionales al año [(99](#bib99)). A finales de 2014, China puso en marcha la Iniciativa Ciudad Esponja para captar y reutilizar las aguas pluviales en 30 ciudades piloto. El objetivo de esta iniciativa es absorber y reutilizar al menos el 70% del agua de lluvia en el 20% de las zonas urbanas para 2020 y en el 80% de las zonas urbanas para 2030 [(100](#bib100)).

Abordaje de la demanda de agua

A medida que las opciones de suministro se han vuelto más limitadas, reguladas o costosas, se reconoce cada vez más que la gestión de la demanda es menos onerosa y más rápida de aplicar que el aumento del suministro de agua y, a menudo, da lugar a importantes beneficios colaterales adicionales, como la reducción de la demanda de energía y de los costos de tratamiento del agua y de las aguas residuales [(101](#bib101)). El agua que se ahorra puede mantenerse en reserva, usarse para expandir el mismo uso o reasignarse a otros usuarios, incluido el medio ambiente [(102](#bib102)).

Se pueden lograr mejoras en la eficiencia con la que se utiliza el agua mediante una amplia gama de tecnologías y prácticas que proporcionan los beneficios deseados con menos agua y, a menudo, también con menos energía. Existe una amplia gama de estrategias de gestión de la demanda para los sectores urbano y agrícola, así como para los sistemas de distribución del agua. En el sector residencial, por ejemplo, se incluyen inodoros, duchas, lavadoras y lavavajillas de alta eficiencia que pueden reducir sustancialmente la demanda de agua en interiores, así como el riego por goteo, el monitoreo de la humedad del suelo y los programadores de riego inteligentes para jardines exteriores. También se puede reducir la demanda de agua de los jardines sustituyendo el césped y otras plantas que consumen mucha agua por variedades de bajo consumo [(103](#bib103)).

También existe una amplia gama de opciones para mejorar la eficiencia en el uso del agua en aplicaciones comerciales, industriales e institucionales. Estas tecnologías y prácticas han demostrado ser extremadamente eficaces para reducir los riesgos de escasez de agua, incluso durante las sequías [(104](#bib104)). En el sector agrícola, las medidas de gestión de la demanda que permiten a los agricultores cultivar más alimentos con menos agua incluyen equipos de riego de precisión, el uso de datos meteorológicos y de humedad del suelo para ayudar a los agricultores a elaborar programas de riego, y sistemas de teledetección para una gestión más sofisticada de la humedad [(105](#bib105)). Por último, las nuevas tecnologías y sistemas de gestión pueden detectar y reparar fugas en los sistemas de distribución de agua, ahorrando agua y mejorando al mismo tiempo la viabilidad financiera del servicio.

Hay muchas herramientas disponibles para reducir la demanda de agua, como la tarificación del agua y las aguas residuales, los incentivos financieros directos, la normativa y la educación y divulgación. Cada uno de ellos se describe con más detalle.

Tarificación del agua y las aguas residuales.

Unas tarifas bien diseñadas pueden cumplir múltiples objetivos estratégicos, como respaldar la estabilidad financiera de la empresa de servicios públicos, mejorar la asequibilidad para los clientes de bajos ingresos y fomentar el uso eficiente [(106](#bib106)). Con el fin de cumplir estos objetivos, la mayoría de las empresas urbanas de suministro de agua cobran a los clientes en función del volumen de agua provista, es decir, una tarifa volumétrica, en forma de tarifa uniforme (la tarifa volumétrica es constante independientemente de la cantidad de agua utilizada), de tarifa escalonada creciente (la tarifa aumenta a medida que aumenta la cantidad utilizada) o escalonada decreciente (la tarifa volumétrica disminuye a medida que aumenta la cantidad). Cada vez se reconoce más que las tarifas escalonadas crecientes pueden incentivar económicamente la conservación, al tiempo que garantizan que los usuarios con ingresos más bajos puedan satisfacer sus necesidades básicas de agua a un costo reducido [(107](#bib107)).

Se ha demostrado que las tarifas son eficaces para mejorar la eficiencia del uso del agua en la agricultura. El distrito hídrico Broadview, en el valle californiano de San Joaquín, implementó en 1988 tarifas escalonadas crecientes para reducir el volumen de aguas de drenaje contaminadas que desembocaban en el río San Joaquín. La tarifa se fijó en $0,013 por m3 para el primer 90% del consumo promedio de agua durante el periodo de 1986 a 1988 y en $0,032 por m3 para el resto del agua. En 1991, el consumo promedio de agua del distrito se redujo en un 19% gracias a la mejora de la eficiencia y la rotación de cultivos [(108](#bib108)).

Incentivos financieros directos.

Los incentivos financieros directos pueden adoptar varias formas. Los programas de reembolso se utilizan habitualmente para alentar a los clientes —incluidos residentes, empresarios y agricultores— a compensar el costo de comprar dispositivos que ahorren agua y de sustituir el césped por plantas más eficientes. Aunque estas medidas suelen resultar más económicas a largo plazo debido a los menores costos de agua, energía, aguas residuales y/o mantenimiento, las empresas de suministro de agua pueden ofrecer a sus clientes un incentivo para solventar el costo inicial. Hay varios ejemplos de empresas de suministro de agua que se han asociado con empresas locales de suministro de energía para ampliar esos descuentos debido al ahorro energético [(109](#bib109)).

Medidas reglamentarias.

Las normativas para mejorar la eficiencia en el uso del agua adoptan diversas formas. Por ejemplo, el Código Internacional de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias, en el que se basan los códigos de plomería y fontanería de varios países, especifica los caudales máximos de electrodomésticos e instalaciones. Del mismo modo, las comunidades han limitado la instalación de céspedes que consumen mucha agua en algunas regiones áridas y semiáridas (23 C.C.R. § 490). En 2009, California aprobó una ley que exigía a los proveedores de agua urbanos reducir el consumo de agua per cápita en un 20% para 2020, y aquellos proveedores que no cumplieran estos objetivos no podrían acceder a subvenciones y préstamos estatales. Recientemente, en respuesta a la preocupación por la escasez provocada por la sequía, California actualizó esta legislación, estableciendo objetivos de uso del agua para cada proveedor basados en la población y el clima local. El incumplimiento de estos objetivos puede acarrear multas para los proveedores de agua de 1.000 dólares al día durante los años sin sequía y de 10.000 dólares al día durante las emergencias declaradas por sequía y en determinados años secos [(111](#bib111)).

Educación y divulgación.

Los programas de educación y divulgación también pueden ser eficaces para promover la conservación y la eficiencia del agua. En Australia, el programa de Etiquetado y Normas de Eficiencia Hídrica se aplica a siete grandes productos que consumen agua, y exige una clasificación por estrellas fácil de entender, junto con información sobre costos y registro. La Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE. UU. puso en marcha en 2006 el programa de etiquetado WaterSense para promover dispositivos que ahorran agua, los cuales son un 20% más eficientes que los productos estándar del mercado y cumplen rigurosos criterios de rendimiento. El marketing social también ha ganado importancia en los últimos años, y algunos programas aprovechan las nuevas tecnologías de medición y las plataformas basadas en la web. Por ejemplo, un estudio reciente descubrió que los informes sobre el agua residencial que proporcionan a los clientes datos sobre su consumo actual de agua y comparaciones con su consumo anterior, el consumo que tienen hogares similares y el uso eficiente reducen el uso de agua en un 5% y fueron especialmente eficaces para llegar a los mayores consumidores [(112](#bib112)).

Soluciones integradas

Debido a la complejidad de los sistemas y problemas hídricos, ninguna solución única de oferta o demanda será adecuada para hacer frente a la escasez de agua. En este contexto, ha surgido el concepto de "vía blanda para el agua" como conjunto integrado de soluciones. Amory Lovins, del Rocky Mountain Institute [(113](#bib113)), acuñó el término "vía de la energía blanda" para describir una vía alternativa de desarrollo energético que hacía hincapié en enfoques tecnológicos, económicos e institucionales integrados para la eficiencia energética y en sistemas energéticos más pequeños y descentralizados alimentados por fuentes renovables. Del mismo modo, la vía blanda para el agua se basa en principios similares, incluida la mejora de la productividad global del uso del agua, la identificación de fuentes de agua tradicionales o alternativas y, en ocasiones, nuevas fuentes distribuidas, la adecuación de la calidad del agua a las necesidades de los usuarios, la priorización de las necesidades básicas de agua de seres humanos y ecosistemas, la aplicación de herramientas económicas y de financiación innovadoras y la búsqueda de una participación significativa de las comunidades locales en la gestión del agua [(](#bib114)[114–116](#bib116)):

Los planificadores de vías blandas creen que la gente quiere satisfacer la demanda de bienes y servicios, como alimentos, fibra y eliminación de residuos, y puede que no les importe cuánta agua se utiliza —oincluso si se utiliza— siempre que estos servicios se produzcan de forma cómoda, rentable y socialmente aceptable. Así, el objetivo de la sociedad no debería ser el uso del agua, sino la mejora del bienestar social e individual por unidad de agua utilizada. ([115](#bib115), pp. 1526–27)

**La "vía blanda para el agua":** un conjunto integrado de soluciones que describen una vía alternativa para el uso y la gestión del agua que hace hincapié en enfoques tecnológicos, económicos e institucionales integrados.

En un ejemplo real de cómo los cambios en la eficiencia o la productividad del uso del agua pueden reducir la escasez de agua percibida y real, las extracciones totales de agua para todos los fines en Estados Unidos aumentaron sustancialmente durante los primeros 75 años del siglo XX, pero desde entonces se han mantenido prácticamente estables o han disminuido, a pesar del continuo crecimiento de la economía (y la población) [(Figura 12](#fig12)). Como consecuencia, la productividad económica total del uso del agua, medida en dólares del PIB por unidad de agua extraída, se ha más que triplicado, pasando de entre 6 y 10 dólares por metro cúbico de agua ($/m3) extraído, a más de $39/m3 (en 2020) [(Figura 13](#fig13)). Estos cambios son el resultado de mejoras en la eficiencia del uso del agua en los sectores residencial y agrícola, cambios en la estructura de la economía y normativas sobre la calidad hídrica que fomentaron la reducción de las extracciones y el aumento de los sistemas de reutilización del agua.

**<COMP: PLEASE INSERT FIGURE 12 AND 13 HERE>**

Figura 12 El producto interno bruto (PIB) de Estados Unidos en dólares de 2020 *(línea roja*) y las extracciones totales de agua en Estados Unidos en kilómetros cúbicos al año *(línea azul*) de 1900 a 2015. El gráfico muestra la disociación entre el uso del agua y el crecimiento económico a partir de finales de los años setenta. Datos de las referencias [117](#bib117) y [118](#bib118).

Figura 13 Productividad económica de las extracciones de agua en EE. UU. (PIB en dólares de 2020 por metro cúbico) de 1900 a 2015. Incluye todo el uso del agua. Datos de las referencias [117](#bib117) y [118](#bib118).

CONCLUSIONES

El creciente reconocimiento de la importancia del agua en todo el mundo y la preocupación por las limitaciones en la disponibilidad de agua para satisfacer las necesidades humanas y ecológicas están propiciando una nueva y mejor comprensión de la escasez de agua, así como estrategias para reducir la vulnerabilidad a la escasez de agua. Se han desarrollado diversos conceptos e índices para evaluar los riesgos de la escasez de agua y proporcionar más y mejor información a las autoridades responsables y a los gestores hídricos. Estos indicadores pueden ayudar a sensibilizar a la opinión pública sobre vulnerabilidades, amenazas y respuestas específicas, pero siguen siendo herramientas imperfectas debido a la escasez de datos, las diferentes prioridades de los investigadores y las comunidades, y las condiciones cambiantes.

Todos los indicadores tienen inconvenientes y limitaciones; es probable que no se desarrolle ningún indicador que satisfaga todas las necesidades. Parte del problema es la falta de datos adecuados o precisos, pero una gran dificultad es la complejidad de los problemas del agua; su carácter regional; una hidrología variable; un clima que cambia rápidamente; y las diferencias en las características económicas, tecnológicas y sociales de las comunidades en riesgo. Sin embargo, se mire por donde se mire, una proporción muy importante de la población mundial corre el riesgo de sufrir algún tipo de escasez de agua dulce.

Es vital seguir avanzando, incluso sin definiciones precisas ni cuantificación de la escasez de agua, hacia soluciones hídricas más globales y completas que garanticen la satisfacción de las necesidades humanas y ecológicas básicas de agua. En última instancia, el valor de las evaluaciones de la escasez de agua reside en su capacidad para ayudar a los planificadores, gestores y comunidades hídricas a identificar las prioridades locales y comunitarias más importantes y a desarrollar estrategias sostenibles para satisfacer esas necesidades de agua. De cara al futuro, para hacer frente a la escasez de agua es necesario ir más allá de la mera dependencia de las soluciones tradicionales del lado de la oferta y aplicar abordajes integrales de la vía blanda que incluyan programas de gestión de la demanda; desarrollar suministros de agua alternativos, como aguas residuales tratadas, aguas pluviales y agua salobre u oceánica; y mejorar la gestión del agua y los sistemas económicos para centrarse en las necesidades humanas básicas, métodos más realistas de previsión de la demanda y una mayor fiabilidad del sistema en situaciones cada vez más extremas.

PUNTOS RESUMIDOS

1. La escasez de agua es algo más que simples limitaciones en la disponibilidad de agua o un desajuste entre la oferta y la demanda de agua; también tiene causas económicas, políticas, sociales y culturales.
2. Si bien el agua es abundante en la Tierra, las disparidades en su distribución espacial y temporal desempeñan un papel importante en la percepción de escasez por parte de los seres humanos.
3. Las consecuencias de la escasez de agua incluyen efectos adversos en la salud humana y de los ecosistemas, limitaciones en la producción industrial y agrícola, y una amplia gama de trastornos sociales, económicos y políticos, como la pobreza y los conflictos violentos por el acceso y el control del agua.
4. Los métodos actuales de proyección de la demanda futura de agua son notoriamente imprecisos, ya que se basan en simples suposiciones de crecimiento demográfico y expectativas de demanda hídrica per cápita, y no comprenden en profundidad el papel de los intercambios de agua virtual, las huellas hídricas y los avances tecnológicos en la eficiencia del uso del agua en las zonas urbanas y agrícolas.
5. Se ha desarrollado una amplia gama de métricas de la escasez de agua, resumidas en este artículo, pero ninguna métrica por sí sola puede representar adecuadamente la complejidad tanto de las causas como de los riesgos de la escasez de agua. Sin embargo, desde cualquier punto de vista, las poblaciones muy grandes corren el riesgo de sufrir algún tipo de escasez de agua dulce.
6. Se han desarrollado y aplicado muchos enfoques eficaces para abordar la escasez de agua, pero en los últimos años se ha producido un cambio importante: se ha pasado de centrarse exclusivamente en las soluciones relacionadas con la oferta a adoptar propuestas más globales e integradas que incluyen opciones alternativas de suministro, una mayor eficiencia hídrica y enfoques de gestión de la demanda, así como políticas institucionales y económicas más sofisticadas.

CUESTIONES FUTURAS

1. Es necesario seguir investigando para disminuir la incertidumbre en cuanto a las reservas y los flujos de agua en el ciclo hidrológico.
2. Las graves lagunas existentes en los datos sobre el uso humano del agua deben completarse mediante el desarrollo y la implementación de mejores métodos sistemáticos de contabilidad hídrica.
3. Entre las causas de escasez de agua figuran factores demográficos y económicos, limitaciones de la infraestructura y deficiencias institucionales y, cada vez más, modificaciones antropogénicas del clima que están alterando los ciclos hidrológicos. La investigación sobre las implicancias hidrológicas del cambio climático tiene ya una base sólida, pero se beneficiaría con mejoras en la modelización, las evaluaciones regionales y la integración con los sectores energético y agrícola.
4. El complejo papel de la escasez de agua en el empeoramiento de las consecuencias de la pobreza y, a la inversa, el papel de la pobreza en dificultar la aplicación de soluciones a la escasez de agua, deben ser abordados por una amplia comunidad de expertos en recursos hídricos, científicos sociales y economistas políticos.

DECLARACIÓN DE DIVULGACIÓN

Los autores no tienen conocimiento de ninguna afiliación, membresía, financiación o participación financiera que pudiera considerarse que afecta a la objetividad de esta revisión.

**<COMP: References have been added to/deleted from the Literature Cited. Please renumber references in all manuscript elements (e.g., Literature Cited, text, figure captions, tables, and "See Ref." cross-references).>**

Cuadro 1 Estimaciones recientes de las reservas mundiales de agua (1.000 km3)a

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Reserva | Cantidad [de Oki y Kanae 2006 [(7](#bib7))]b | Cantidad [de Trenberth et al. 2011 [(8](#bib8))]c |
| Océanos | 1.338.000 | 1.335.040 |
| Hielo y glaciares | 24.064 | 26.350 |
| Aguas subterráneas | 23.400 | 15.300 |
| Permafrost | 300 | 22 |
| Lagos | 175 | 178 (lagos y ríos) |
| Humedad del suelo | 17 | 122 |
| Humedales | 17 | NC |
| Vapor de agua sobre los océanos | 10 | 12,7 (vapor de agua terrestre y oceánico) |
| Vapor de agua sobre la tierra | 3 | NC (incluido en la cifra de vapor de agua sobre los océanos) |
| Ríos (reserva) | 2 | NC (incluido en la cifra de lagos) |
| Biota | 1 | NC |

Abreviatura: NC, no corresponde.

aEl agua de la corteza terrestre y del manto no se incluye en estas estimaciones.

bLas estimaciones de Oki y Kanae se sintetizan a partir de varias estimaciones a largo plazo.

cLas estimaciones de Trenberth et al. se basan en datos observacionales de los años 2002 a 2008.

Tabla 2 Estimaciones de los flujos de agua (1.000 km3/año)a

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Flujo | Oki y Kanae 2006 [(7](#bib7)) | Rodell et al. 2015 (11)b | Trenberth et al. 2011 [(8](#bib8))c | Mueller Schmied et al. 2016 [(10](#bib10))d |
| **Evapotranspiración de los océanos** | 436,5 | 449,5 (+/− 22,2) | 426 | SD |
| **Evapotranspiración de la tierra** | 65,5 | 70,6 (+/− 5,0) | 74 | 67,6 |
| **Precipitaciones sobre los océanos** | 391 | 403,5 (+/− 22,2) | 386 | SD |
| **Precipitaciones en tierra** | 111 | 116,5 (+/− 5,1) | 114 | 109 |
| **Transporte atmosférico de los océanos a la tierra** | 45,5 | 45,8 (+/− 4,4) | 40 | SD |
| **Caudal de los ríos a los océanos** | 45,5 | 45,9 (+/− 4,4) | 40 | 40,7 |

Abreviatura: SD, sin datos.

aNo todas las referencias proporcionan rangos de incertidumbre.

bLas estimaciones incluyen la optimización para cerrar el balance hídrico.

cLas estimaciones se basan en datos observacionales de 2002 a 2008.

dLos balances hídricos continentales son promedios de cinco variantes del modelo y de los años 1971 a 2000. Esta referencia no proporciona la evapotranspiración ni las precipitaciones relacionadas con el océano.

Tabla 3 Definiciones de estrés hídrico de Falkenmarka

|  |  |
| --- | --- |
| Agua dulce renovable anual (m3/p/año)b | Nivel de estrés hídrico |
| >1.700 | Estrés hídrico ocasional o local |
| 1.000–1.700 | Estrés hídrico regular |
| 500–1.000 | Escasez crónica de agua (la falta de agua empieza a obstaculizar el desarrollo económico y la salud y el bienestar humanos) |
| <500 | Escasez absoluta de agua |

aDatos de las referencias [26](#bib26), [60](#bib60) y [61](#bib61).

bm3/p/año denota metros cúbicos de agua por persona por año.

Tabla 4. Componentes del *Índice de pobreza hídrica*

|  |  |
| --- | --- |
| **Componente** | **Definición** |
| Cantidad y calidad de los recursos | La cantidad de agua disponible, teniendo en cuenta las medidas cualitativas y cuantitativas de variabilidad temporal y calidad del agua. |
| Acceso al agua | Medida de la disponibilidad de agua para una población que incluye el uso doméstico y agrícola, el acceso al suministro de agua corriente y al saneamiento, el tiempo dedicado a recoger agua y el porcentaje de agua transportado por mujeres. |
| Capacidad institucional | Los sistemas institucionales existentes para gestionar el agua en función del nivel educativo, el estado de salud y el acceso a la financiación, incluida la mortalidad infantil, el porcentaje de hogares que reciben un salario, una pensión u otro tipo de ayuda, y la pertenencia a asociaciones de usuarios del agua. |
| Uso del agua | El nivel de uso del agua y su contribución a la economía, incluidos los índices de consumo doméstico y agrícola, el uso ganadero del agua y la demanda industrial. |
| Necesidades e impactos medioambientales | El impacto ambiental de la gestión del agua en el contexto de la integridad ecológica a largo plazo |

Tabla adaptada de la referencia 70.

Cuadro 5 Clasificación de la escasez de agua azula

|  |  |
| --- | --- |
| Grado de escasez | Criterios |
| Escasez baja de agua azul | La huella hídrica azul es inferior al 20% del escurrimiento natural y no supera la disponibilidad de agua azul; el escurrimiento fluvial no se modifica o se modifica ligeramente; no se infringen los requisitos de caudal ambiental presunto. |
| Escasez moderada de agua azul | La huella hídrica azul se sitúa entre el 20 y el 30% del escurrimiento natural; el escurrimiento se modifica moderadamente; no se cumplen los requisitos de caudal ambiental. |
| Escasez considerable de agua azul | La huella hídrica azul se sitúa entre el 30 y el 40% del escurrimiento natural; el escurrimiento se modifica significativamente; no se cumplen los requisitos de caudal ambiental. |
| Escasez grave de agua azul | La huella hídrica azul mensual supera el 40% del escurrimiento natural; el escurrimiento se modifica gravemente; no se cumplen los requisitos de caudal ambiental. |

aTabla adaptada de la referencia [78](#bib78).