

DOI: 10.24850/j-tyca-13-05-06

Artículos

Análisis de la seguridad hídrica y su contexto en el mundo, 2000-2019

Analysis of water security and its worldwide context, 2000-2019

Andrés De-la-Rosa¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7680-4561>

Laura C. Ruelas-Monjardín², ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6465-0764>

Mariana Villada-Canela³, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1282-3250>

Ofelia Andrea Valdés-Rodríguez⁴, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3702-6920>

Robert Manson⁵, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9732-8894>

Rene Murrieta-Galindo⁶, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5555-4455>

¹El Colegio de Veracruz, Xalapa, México, delarosaportilla@gmail.com

²Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, Xalapa, Veracruz, México, laura.ruelas@itsx.edu.mx



³Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México, mvilladac@uabc.edu.mx

⁴El Colegio de Veracruz, Xalapa, Veracruz, México, andrea.valdes@gmail.com

⁵Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz, México, robert.manson@inecol.mx

⁶El Colegio de Veracruz, Xalapa, Veracruz, México, murrieta13@gmail.com

Autora para correspondencia: Ofelia Andrea Valdés-Rodríguez, andrea.valdes@gmail.com

Resumen

Para enfrentar los desafíos relacionados con el agua, el abordaje de seguridad hídrica (SH) debe ser práctico y medible. En el año 2000 se hablaba de SH en el mundo; sin embargo, hoy no existe una definición aceptada para un país o región. Esta investigación realizó un meta-análisis en el contexto de agua renovable y estrés hídrico mundial, evaluando 873 documentos científicos y 26 definiciones de SH, utilizando análisis de redes bibliométricas, sistemas de información geográfica y minería de datos, con el objetivo de analizar el estado del arte de la SH. Los resultados indican que las definiciones sobre SH tienen un carácter

antropocéntrico. El término económico en el contexto de las definiciones de SH es el más relevante y el término ecosistemas presenta la menor relevancia. Menos del 30 % de las definiciones analizadas son operacionalizadas a través de algún instrumento de medición. Los temas más investigados sobre SH son evaluación, gestión e impacto. En la frontera de estudio se encuentran los temas de huella hídrica, operación de manantiales y sensibilización. En el mundo, países como EUA, China y Reino Unido, con poca agua renovable en su respectivo continente, son los que más publican y tratan de definir el concepto de SH. Por tanto, se concluye que el principal problema de las definiciones de SH en el mundo es que no pueden operacionalizarse en algún índice local, impidiendo su implementación. Además, el medio ambiente no ha sido relevante en las investigaciones y definiciones de seguridad hídrica.

Palabras clave: estado del arte, meta-análisis, estrés hídrico, agua renovable, análisis de redes bibliométricas.

Abstract

The water security (WS) approach must be practical and measurable to address water-related challenges. Since 2000, the term Water Security has been regularly mentioned worldwide. However, nowadays, there is still not an accepted definition either for a country or for a region. This research conducted a meta-analysis in the context of renewable water and global water stress, evaluating 873 scientific papers and 26



definitions of WS, using bibliometric network analysis, geographic information systems, and data mining to analyze the state of the art of WS. The results indicate that the definitions of WS have an anthropocentric character. The term economic in the context of WS definitions is the most relevant, and the term ecosystems are the least relevant. Less than 30 % of the definitions analyzed are operationalized through some measurement instrument. The most researched topics on WS are evaluation, management, and impact. On the frontier of study are the issues of water footprint, operation of springs, and awareness. In the world, countries such as the United States, China, and the United Kingdom, with little renewable water in their respective continents, are the ones that publish the most and try to define the concept of WS. Therefore, it is concluded that the main problem of WS definitions worldwide is that they cannot be operationalized in some local indexes, hindering their implementation. In addition, the environment has not been relevant in WS research and definitions.

Keywords: State of the art, meta-analysis, water stress, renewable water, bibliometric network analysis.

Recibido: 15/06/2020

Aceptado: 29/07/2021



Introducción

En nuestro planeta, un aproximado de 110 mil km³ de agua se precipitan anualmente. De esta cantidad 56 % se pierde por la evapotranspiración de los ecosistemas forestales y 5 % por la agricultura de temporal; el 39 % restante (43 000 km³) se convierte en agua superficial y en aguas subterráneas, conformando los recursos renovables de agua en el mundo (UN, 2019).

Entre 1970 y 2010, la extracción de agua pasó de 2 500 a 3 900 km³. De 2000 a 2012, 70 % del agua extraída en el mundo se utilizó para la agricultura, mientras que el sector industrial extrajo 19 % y el uso doméstico el 11 % (Oberle *et al.*, 2019). Debido a esta extracción desmesurada, la escasez de agua afecta a más del 40 % de la población mundial; además, cada vez más países están resintiendo el aumento de las sequías y la desertificación, empeorando tales tendencias. En 2015, 29 % de la población mundial (844 millones de personas) aún carecía de agua potable. Este estrés hídrico afectó a más de 2 mil millones de personas (UN-Water, 2017).

Estos desafíos pueden apreciarse en la definición de seguridad hídrica (SH): “Todos los seres humanos, ahora y en el futuro, deben tener suficiente agua limpia para beber, un saneamiento adecuado, suficiente comida y energía a un coste razonable. El suministro de agua adecuada para satisfacer estas necesidades básicas debe hacerse de forma equitativa y en armonía con la naturaleza” (GWP, 2000). Sin embargo, a pesar de que a lo largo de los años la SH ha ganado la atención internacional, sorprendentemente existe una variedad de temas relacionados que no han sido investigados a profundidad, y existe una necesidad urgente de llevar a cabo extensas investigaciones sobre temas emergentes, proyecciones futuras y estudios de caso a nivel país y regionales, entre otros (UNESCO i-WSSM, 2019).

Actualmente en el mundo más de mil millones de personas no tienen acceso al agua potable y 2 600 millones carecen de un saneamiento adecuado (Glantz, 2018). En 2050 se prevé que más de 650 millones de personas tendrán escasez de agua y 800 millones serán vulnerables a inundaciones (UCCRN, 2018). Lo anterior, en función del crecimiento de la población, desarrollo económico y patrones de consumo. Además, la calidad del agua se ha visto mermada por contaminación desde la década de 1990 en la mayoría de los ríos de América Latina, África y Asia. A esto hay que agregar la presencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos que provocan inundaciones y sequías en el mundo, los cuales se prevé sean más elevados debido al cambio climático (WWAP/UN-Water, 2018). Además, para el año 2050, la demanda mundial de

alimentos aumentará 50 % y los rendimientos en los cultivos pueden disminuir hasta 30 % debido a los efectos del cambio climático (Cullmann *et al.*, 2019).

Por estas razones, la SH está actualmente comprometida y en riesgo debido sobre todo a la competencia feroz por el uso y demanda de la población, al igual que por el uso agrícola y energético (Martínez & Villalejo, 2018). Así, se requiere asegurar la integridad ecológica de los sistemas naturales de agua dulce, además de abordar las necesidades de resiliencia para todos los sectores que dependen del agua, pues los humedales, bosques y otros ecosistemas cruciales, incluidas 90 % de las cuencas hidrográficas de las grandes ciudades, están en serios problemas (GCA, 2019).

A pesar de todo esto, no existe una reflexión profunda sobre el objetivo puntual que debería tener la SH, reflejándose en la cantidad amplia de definiciones del término, así como en la falta de índices de medición de la misma (Peña, 2016). Sin embargo, la SH en los territorios seguirá siendo deficiente debido a la creciente demanda de agua renovable, el estrés hídrico y la contaminación, entre otros factores. De esta forma, el reto actual de la humanidad es hacer frente a la inminente crisis del agua, impulsando la SH como objetivo global (GWP, 2000), ya que esta crisis representa uno de los cinco principales riesgos debido la gravedad de su impacto a nivel mundial en los próximos diez años (World Economic Forum, 2020). Si no se alcanza la SH, nuestro planeta no podrá responder a los desafíos de desarrollo humano, ciudades más habitables,

emergencia climática, y la seguridad alimentaria y energética, por mencionar algunos, lo que se traduce en un desafío para muchos países que hoy tienen problemas complejos de gestión del líquido, disponibilidad, crecimiento demográfico y otros relacionados, ejerciendo una presión sin precedentes sobre el vital líquido (The World Bank, 2019).

Por tales razones, el objetivo de esta investigación fue analizar el estado del arte de la seguridad hídrica en el mundo, en el contexto de agua renovable y estrés hídrico, para identificar fortalezas, debilidades, retos, oportunidades y características específicas.

Materiales y métodos

Se llevó a cabo un meta-análisis de:

1. Los documentos científicos sobre seguridad hídrica (SH) producidos. Se obtuvo lo siguiente: a) regresión del número anual de publicaciones contra el tiempo; b) publicaciones por continente; c) publicaciones por país; d) densidad de ocurrencia de los términos de las publicaciones, y e) número de citas por autor.

2. Las definiciones sobre SH: a) número de definiciones por año; b) nube de palabras de la frecuencia de los atributos temáticos; c) coocurrencia de los términos en las definiciones; d) relevancia de los términos; e) número de atributos temáticos, y f) contexto regional y propuesta de medición.

La búsqueda de información sobre el tema se realizó del año 2000 al 2019 (abril), dado que a nivel mundial, con motivo del II Foro Mundial del Agua en La Haya, Países Bajos, del 17 al 22 de marzo de 2000, es que se comienza a identificar y detona el concepto de SH para la gestión del agua (Peña, 2016). Para llevar a cabo el objetivo de la investigación, se dividió el procedimiento en tres contextos (Figura 1):

1. El del agua renovable y estrés hídrico mundial.
2. El de las definiciones sobre SH en el mundo.
3. El de la producción científica sobre SH en el mundo.

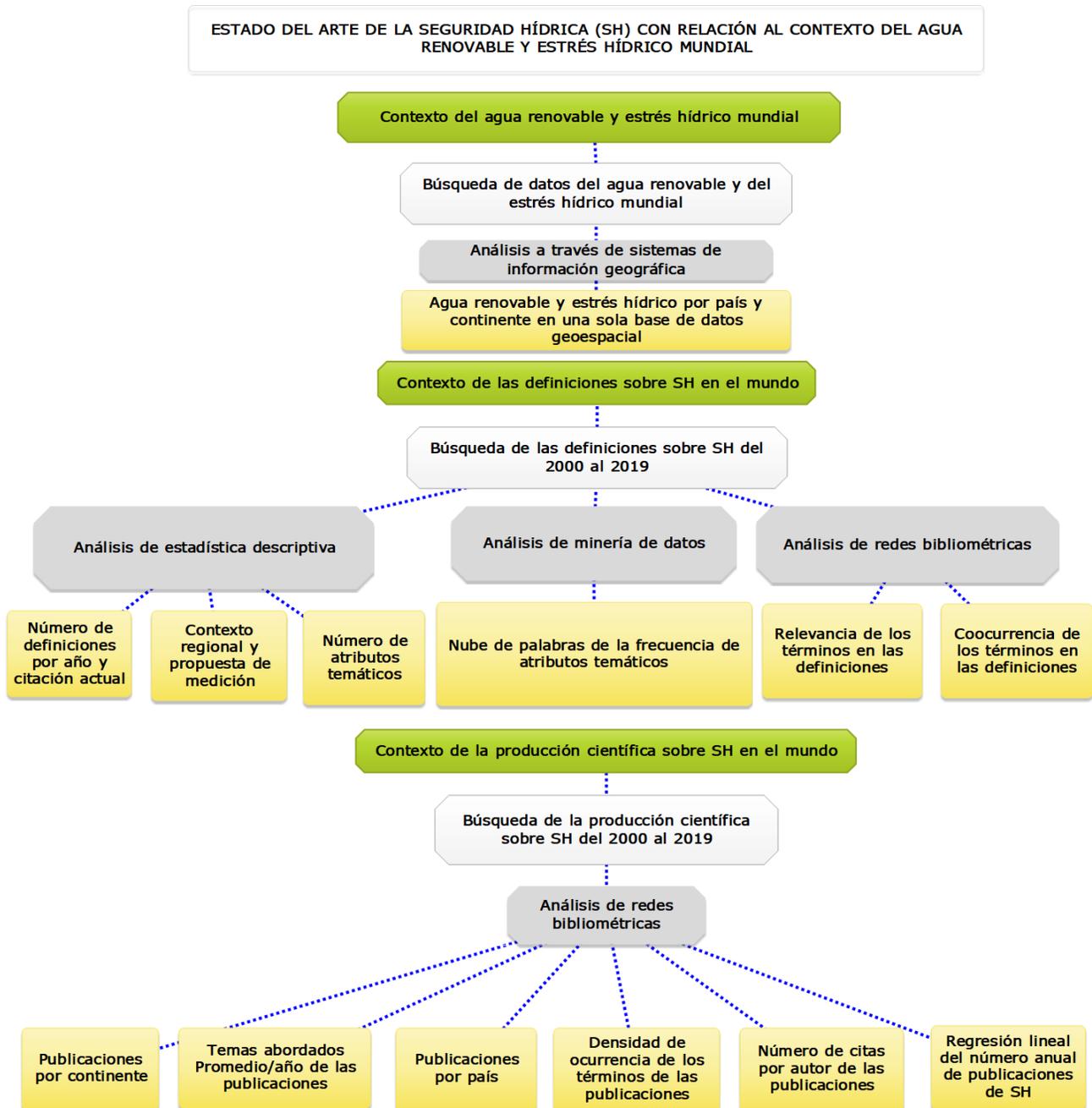


Figura 1. Diagrama del procedimiento de la investigación.

Obtención y análisis de los datos del agua renovable y del estrés hídrico mundial

Para obtener los datos mundiales de agua renovable per cápita se realizó la consulta al sistema de datos (FAO-AQUASTAT, 2019) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés). Una vez descargados, estos datos se unieron al archivo cartográfico digital con el módulo *ArcMap* del sistema de información geográfica *ArcGIS* (ESRI, 2019), a través del código estándar de cada país, para posteriormente analizar las cifras de agua renovable per cápita.

Los datos del estrés hídrico mundial se obtuvieron de la página *World Resources Institute* y corresponden al conjunto de datos *Aqueduct Global Maps 3.0*; el estrés hídrico se definió como cantidad de recursos de agua disponible y la cantidad que se extrae para usos domésticos, agrícolas e industriales (Hofste *et al.*, 2019). Una vez descargados los datos se analizaron para obtener la línea base de estrés hídrico por país. Con la línea base identificada, se procedió a unir el estrés hídrico a los límites de los países.

Los límites cartográficos digitales de los países se obtuvieron del *Natural Earth Data* (v 4.1) (Natural Earth, 2018). Cabe señalar que el archivo obtenido relaciona el nombre del país y el código estándar de la división de estadística de las Naciones Unidas, el cual facilitó la unión de las capas de agua renovable y estrés hídrico en una sola base de datos cartográfica (Natural Earth, 2018) .

El agua renovable y el estrés hídrico se utilizaron para explicar el contexto hidrológico en que se está publicando la literatura sobre SH y sus definiciones.

Obtención y análisis de literatura científica sobre seguridad hídrica

Para elegir la fuente de información de la literatura sobre SH se revisaron las bases de datos de *Europe PMC*, donde se encontraron 5.8 millones de registros; en *PubMed*, 19 millones de registros; en *ScienceDirect*, 15 millones de registros, y en *Dimensions* más de 101 millones de registros. Después de la revisión, se eligió *Dimensions* (Digital Science & Research Solutions, 2019) por contener el mayor número de documentos

disponibles y por tener un sistema de exportación para análisis bibliométrico con *software* abierto (*Vosviewer* y *CiteSpace*). La búsqueda de documentos científicos en *Dimensions* se hizo en inglés, pues en este idioma se encontró el mayor número de publicaciones. El patrón de búsqueda fue el siguiente:

- a) Tema de búsqueda: *Water Security*.
- b) Periodo: 2000-2019 (abril).
- c) Investigadores: *all*.
- d) Campos de investigación: *Environmental Science and Management; Physical Geography and Environmental Geoscience; Environmental Engineering; Applied Economics; Public Health and Health Services; Ecology, Policy and Administration; Political Science; Soil Sciences, y Plant Biology*.
- e) Tipo de publicación: *Articles and book chapters*.
- f) Título de la fuente: *Nature Nanotechnology; Water Policy; Water; American Water Works Association; Journal of Environmental Management; Water Science & Technology; Water Research; Water Resources Research; NATO Science for Peace and Security Series Environmental Security; International Journal of Environmental Research and Public Health; The Science of the Total Environment; PLoS ONE; Philosophical Transactions of The Royal Society a Mathematical Physical and Engineering Sciences; Water Security in a New World; Water Security, y Journal of Water Security*.

Posteriormente se descargaron los datos de la búsqueda realizada para llevar a cabo un análisis de regresión a través de *Excel* (Microsoft, 2019), buscando la curva que presentara el mejor ajuste mediante el coeficiente de determinación más alto, a partir del número de publicaciones por año del periodo 2000-2019 de la literatura sobre seguridad hídrica.

Con la información obtenida de *Dimensions*, se analizaron las redes bibliométricas utilizando el *software VOSviewer* (van Eck & Waltman, 2010), el cual cuenta con documentación y literatura científica de respaldo para construir, analizar y visualizar redes bibliométricas. Estas redes pueden incluir revistas, investigadores o publicaciones individuales, y pueden construirse con base en citas o relaciones de coautoría. Las características generales del análisis de redes bibliométricas realizados fueron:

- a) Mínimo número de ocurrencias de un término: tres.
- b) Método de análisis: conteo completo.
- c) Porcentaje de términos utilizados: 100 %.

Obtención y análisis de las definiciones sobre seguridad hídrica

Derivado de la revisión de diversos artículos que proponían definiciones sobre seguridad hídrica, se concentraron las más relevantes del periodo 2000-2019 (abril). Posteriormente se unificó el idioma para analizarlas a través de la minería de datos, redes bibliométricas y sus atributos temáticos.

Para el análisis a través de la minería de datos se utilizó el *software Orange* versión 3.24.0 (Demšar *et al.*, 2013) de la Universidad Ljubljana, Eslovenia. El objetivo fue elaborar un flujo de trabajo para obtener una nube de palabras utilizadas por algunos autores de las definiciones de seguridad hídrica, como Cook y Bakker (2012), y Sun, Staddon y Chen (2016) de las áreas de estudio de hidrología, medio ambiente y desarrollo sustentable, geografía y agricultura.

Del análisis de redes bibliométricas se utilizaron las funciones de análisis de texto del *software VOSViewer* para construir y visualizar redes de coocurrencia de términos importantes extraídos de la literatura científica sobre seguridad hídrica utilizando los siguientes parámetros:

- a) Mínimo número de ocurrencias de un término: dos.
- b) Método de análisis: conteo completo.
- c) Porcentaje de términos utilizados: 100 %.

Para su interpretación se utilizó la visualización de redes, donde los términos están representados por su etiqueta y, por defecto, también por

un círculo. El tamaño de la etiqueta y el círculo de un artículo se determinan por el peso del artículo. Cuanto mayor sea el peso de un artículo, mayor será la etiqueta y el círculo del artículo. El color está definido por el clúster al que pertenece el término. Las líneas entre los artículos representan enlaces (van Eck & Waltman, 2019).

También con *VOSviewer* se hizo un análisis de relevancia o selección de las frases sustantivas más relevantes. Para cada frase (nominal) se determina la distribución de las coocurrencias (de segundo orden) en todas las frases. Esta distribución se compara con la distribución global de coocurrencias sobre frases. Cuanto más grande sea la diferencia entre las dos distribuciones (distancia Kullback-Leibler), mayor será la relevancia de una frase nominal. De esta forma, los términos con una puntuación alta representan temas específicos, a diferencia de los términos con una puntuación baja, que tienden a ser de naturaleza general y no representativos (van Eck & Waltman, 2019).

El análisis de las definiciones a través de sus atributos temáticos se llevó a cabo identificando las propiedades que se repetían en cada una de las definiciones, pues tienden a acumular (o reducir) atributos a través del tiempo, lo cual sugiere una progresión del pensamiento, por lo que es importante analizar el conjunto de ideas que concentran (Gerlak *et al.*, 2018). En este análisis también se identificaron las definiciones que proponían algún instrumento de medición (índice o indicador) en su espacio geográfico de referencia.

En los análisis de literatura científica y definiciones sobre seguridad hídrica se llevó a cabo una revisión de textos y palabras, escogiendo sólo aquellos relevantes y coherentes, eliminando palabras o preposiciones en el caso de las definiciones.

Resultados

Se obtuvieron 873 publicaciones del periodo 2000-2019 (abril) sobre seguridad hídrica (SH); de los cuales, 25 % (218) se concentraron entre 2017 y 2018, como se aprecia en la Figura 2.

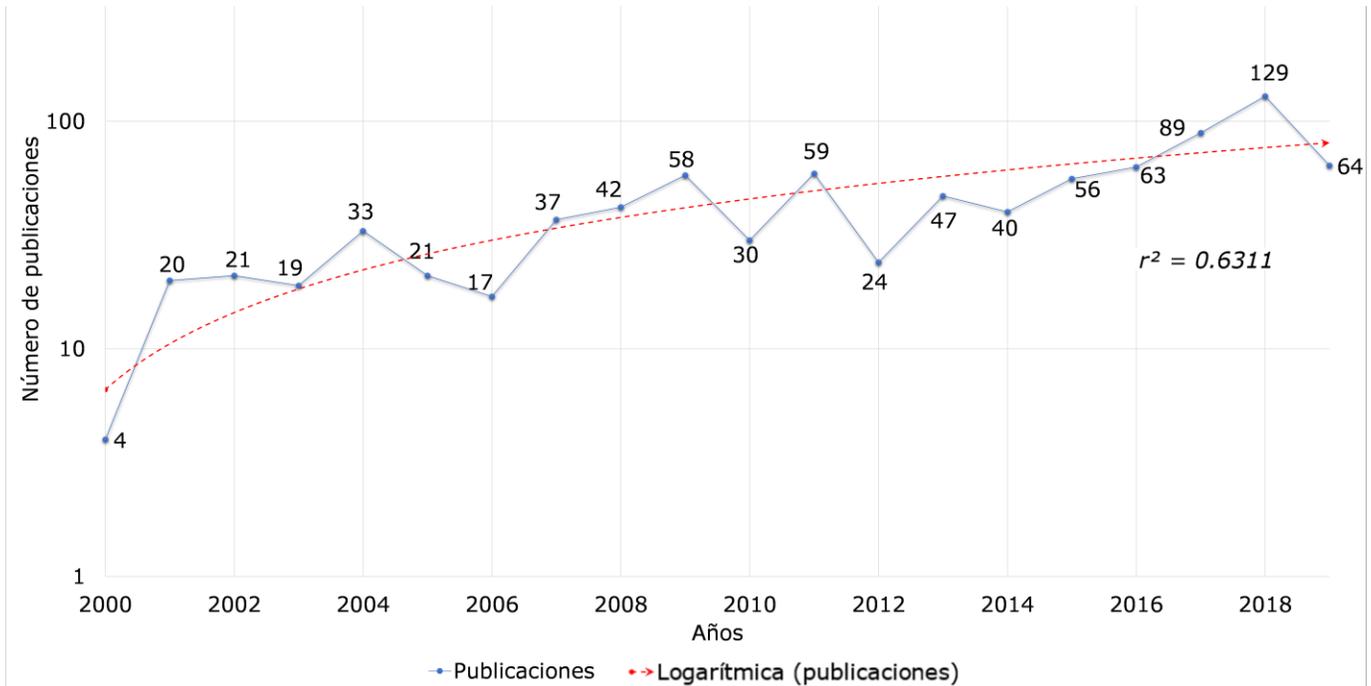


Figura 2. Tendencia logarítmica de la producción científica de SH en el mundo, del periodo 2000-2019, obtenida a través de la fórmula: $y = b * x^c$. Elaboración propia con base en Digital Science & Research Solutions (2019).

De las 873 publicaciones sobre SH se logró identificar el continente de procedencia en 83 % de las investigaciones (727 documentos); destaca Europa (Figura 3) con 35 % de las publicaciones, ocupando el cuarto lugar (de seis continentes) de agua renovable, con un promedio de 7 640 m³/habitante/año, así como un estrés hídrico bajo-medio; en contraste, América del Sur apenas produce 1 % de las publicaciones y

ocupa el primer lugar de agua renovable de los continentes analizados, con un promedio de 41 316 m³/habitante/año y un estrés hídrico bajo.

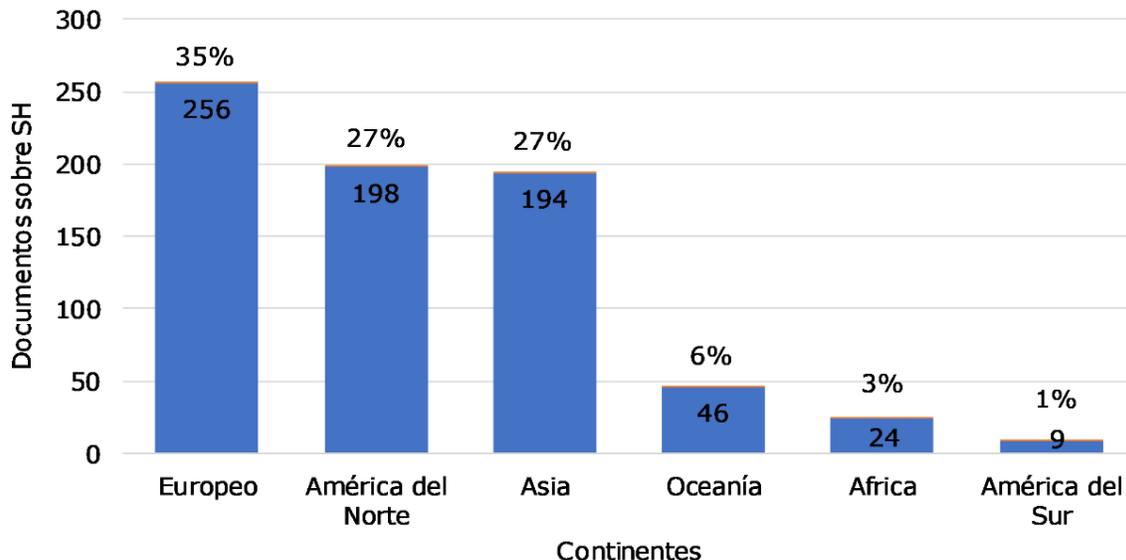


Figura 3. Producción científica sobre seguridad hídrica en el mundo por continente, periodo 2000-2019. Elaboración propia con base en Digital Science & Research Solutions (2019).

Las publicaciones sobre SH identificadas (727) fueron de 38 países (Figura 4). Cuatro países producen 50 % de todas las publicaciones: EUA (21 % de publicaciones) en el cuarto lugar (de cuatro) en América del Norte, con 9 459 m³/habitante/año de agua renovable y un estrés hídrico de nivel bajo-mediano; China (15 % de publicaciones), en el noveno lugar (de 17) en Asia, con 1 971 m³/habitante/año de agua renovable y un

estrés hídrico de nivel medio-alto; Reino Unido (8 % de publicaciones) en el lugar 12 (de 14) en Europa, con 2 221 m³/habitante/año de agua renovable y un estrés hídrico de nivel bajo-medio; y Australia (6 % de publicaciones), en Oceanía, con 20 123 m³/habitante/año de agua renovable y un estrés hídrico de nivel medio-alto.

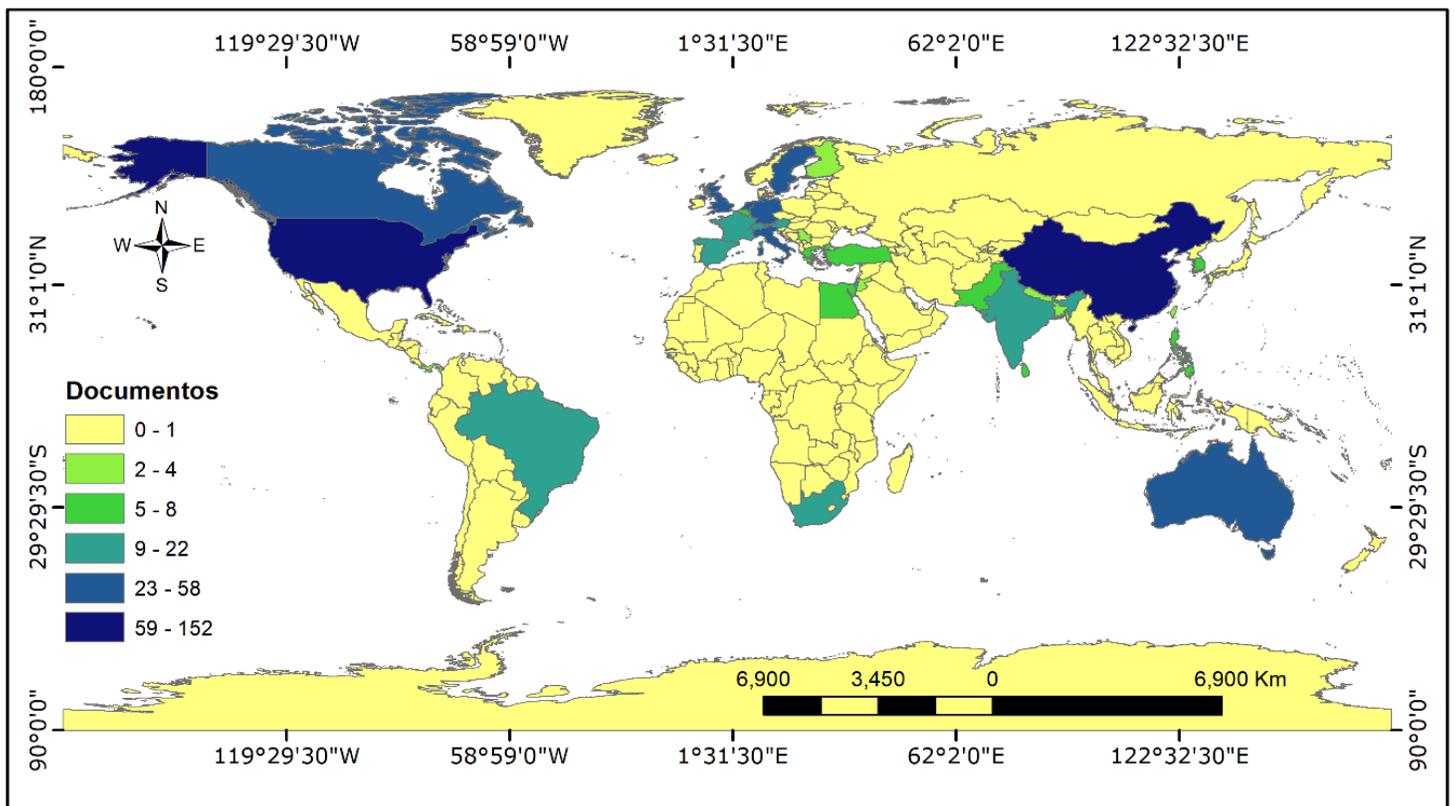


Figura 4. Producción científica sobre SH en el mundo, periodo 2000-2019. Elaboración propia con base en Digital Science & Research Solutions (2019).

En el análisis diacrónico (promedio/año) de las publicaciones de SH, los 10 valores más altos abordan temas relacionados con la evaluación integral (2018); huella hídrica (2018); inseguridad hídrica (2017); operación de manantiales (2017); sensibilización (2017); nutrición (2017), en relación con la salud y alimentación; suelo (2017); evidencias (2017); potencial (2017), y servicios ecosistémicos (2016).

En el análisis de densidad de visualización de ocurrencia (Figura 5) destacan 10 términos por encontrarse en la frontera de estudio de las publicaciones analizadas: el nexo agua-energía-alimentos, sensibilización, seguridad alimentaria mundial, evapotranspiración, huella hídrica, operación de manantiales, derecho humano, seguridad mundial, viabilidad y equidad.

En cuanto al análisis de autores por citas (Figura 6) a través de la visualización de redes destaca la publicación de Grey y Sadoff (2007), *Sink or swim? Water security for growth and development*, citada 320 veces; seguida de Wagener *et al.* (2010), *The future of hydrology: An evolving science for a changing world*, citada 305 veces; y Zhang, Zhang, Zhao, Rustomji y Hairsine (2008), *Responses of streamflow to changes in climate and land use/cover in the Loess Plateau, China*, citada en 236 ocasiones.

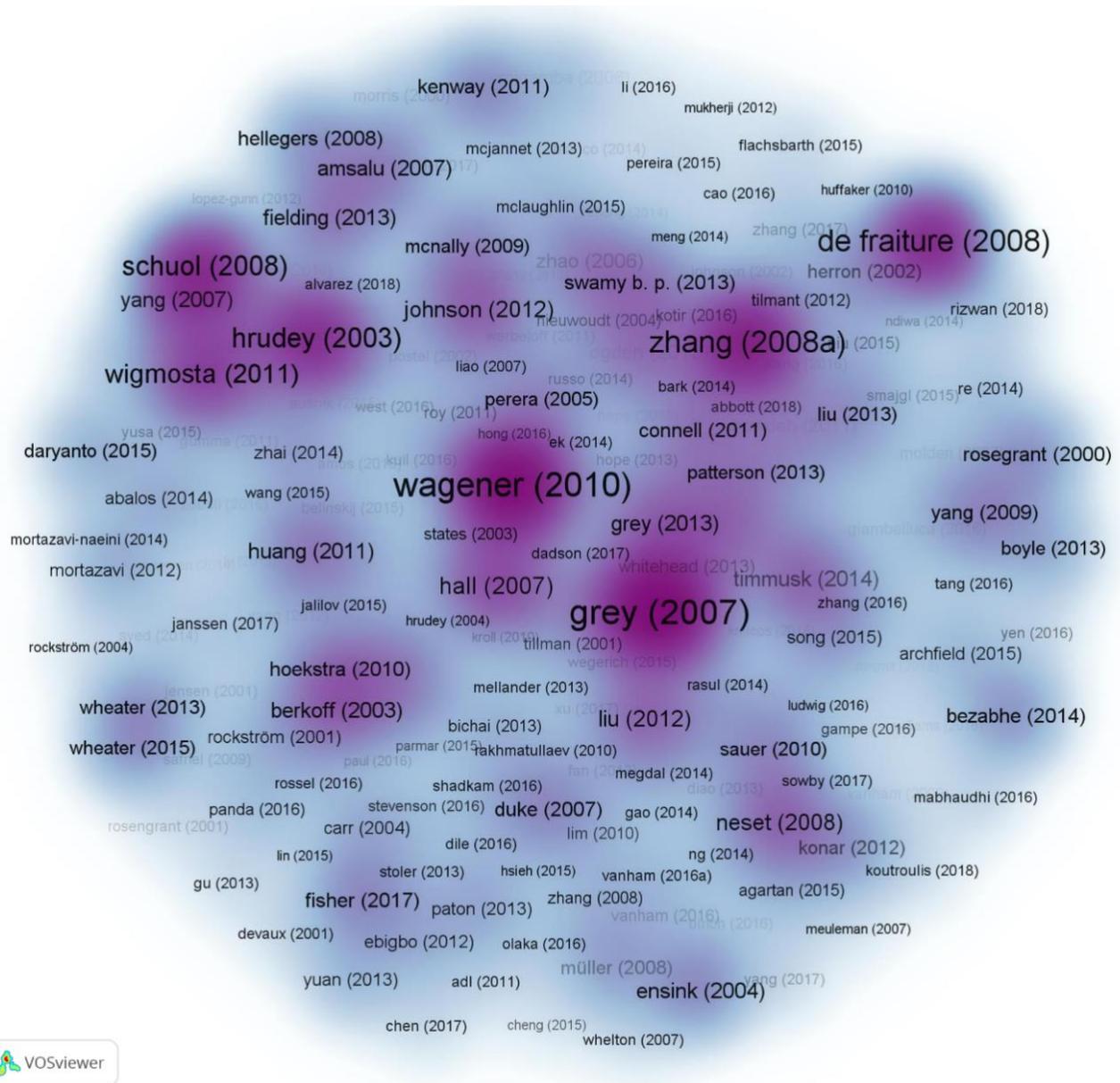


Figura 6. Análisis de autores por citas de publicaciones sobre SH 2000-2019. Elaboración propia con base en Digital Science & Research Solutions (2019).

Obtención y análisis de las definiciones sobre seguridad hídrica

Se obtuvieron 26 definiciones de seguridad hídrica (SH) en el periodo 2000-2019 (abril); el 54 % se publicó de 2012 a 2016 (Figura 7).

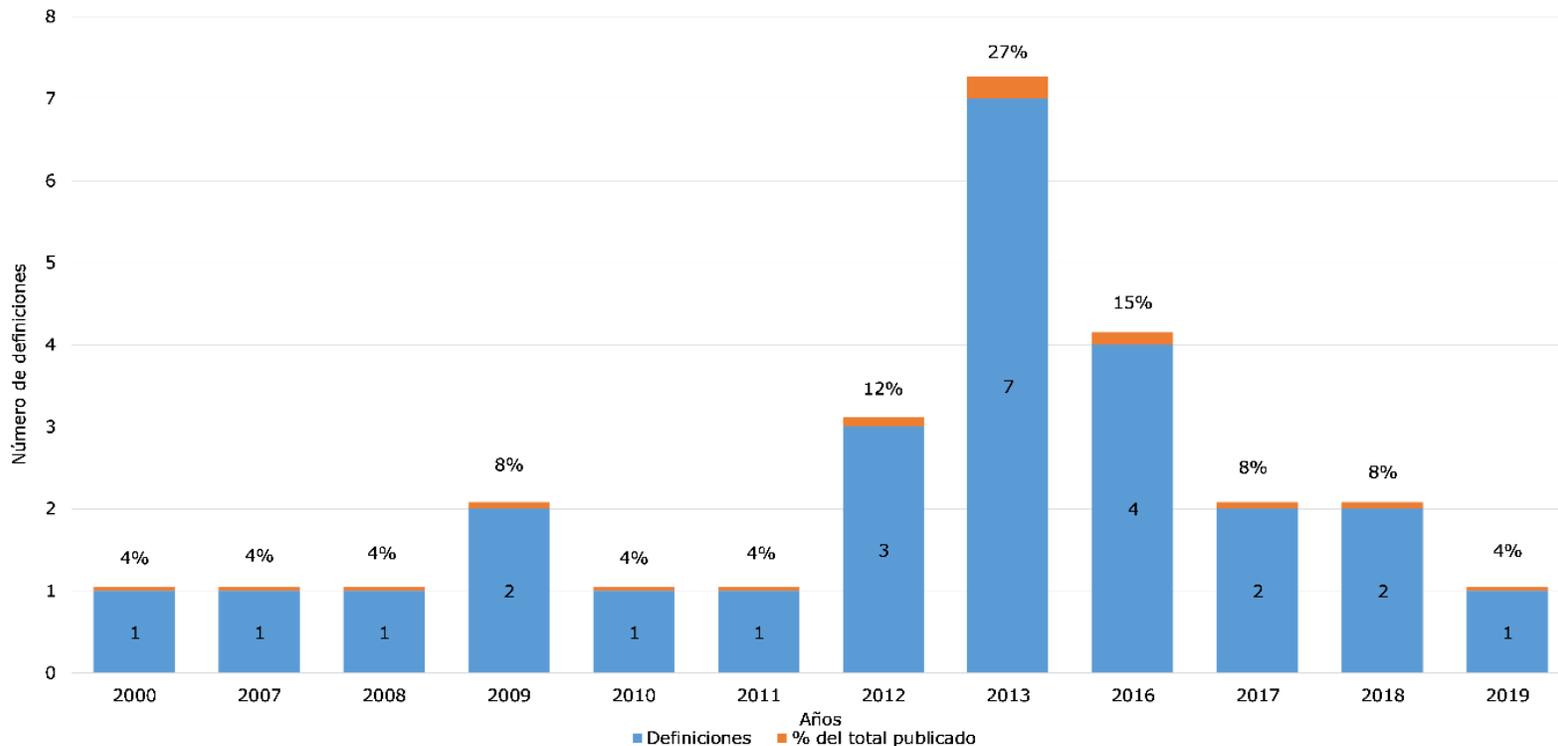


Figura 7. Número de definiciones sobre SH por año. Elaboración propia con base en Google Académico, Digital Science & Research Solutions (2019) y *Research Gate*.

Las tres definiciones de SH más citadas en el mundo se aprecian en la Tabla 1.

Tabla 1. Definiciones de SH más citadas.



Autor/año	Definición	Citas al 2020
Grey y Sadoff (2007)	"La disponibilidad de agua en aceptable cantidad y calidad para la salud, las actividades humanas, los ecosistemas y la producción, junto con un nivel aceptable de riesgos hídricos para las personas, el ambiente y la economía"	865
Bakker (2012)	"Un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua para los seres humanos y los ecosistemas, junto con la disponibilidad de agua en cantidad y calidad suficientes para apoyar los medios de subsistencia, la seguridad nacional, la salud humana y los servicios de los ecosistemas"	343
UN-Water (2013)	"La capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sostenimiento de los medios de vida, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, para garantizar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con el agua, y para la conservación de los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política"	92

Fuente: con base en Google Académico.

Derivado del análisis con minería de datos a las 26 definiciones de SH, se obtuvo la nube de palabras (Figura 8), donde destacan por su mayor frecuencia los siguientes términos: ecosistemas (frecuencia: 17), calidad (frecuencia: 16) y capacidad (frecuencia: 12).



Figura 8. Nube de palabras de las definiciones de SH. Elaboración propia con base en Google Académico, Digital Science & Research Solutions (2019) y *Research Gate*.

Del análisis de coocurrencia a través de la visualización de redes (Figura 9) destacan los términos ecosistema, seguridad y capacidad.

Derivado del análisis de relevancia de los términos en el contexto de las definiciones de SH (Figura 10) destacan los siguientes: económico, calidad aceptable y los efectos. Cabe señalar que el término ecosistema ocupa el último lugar de 29.

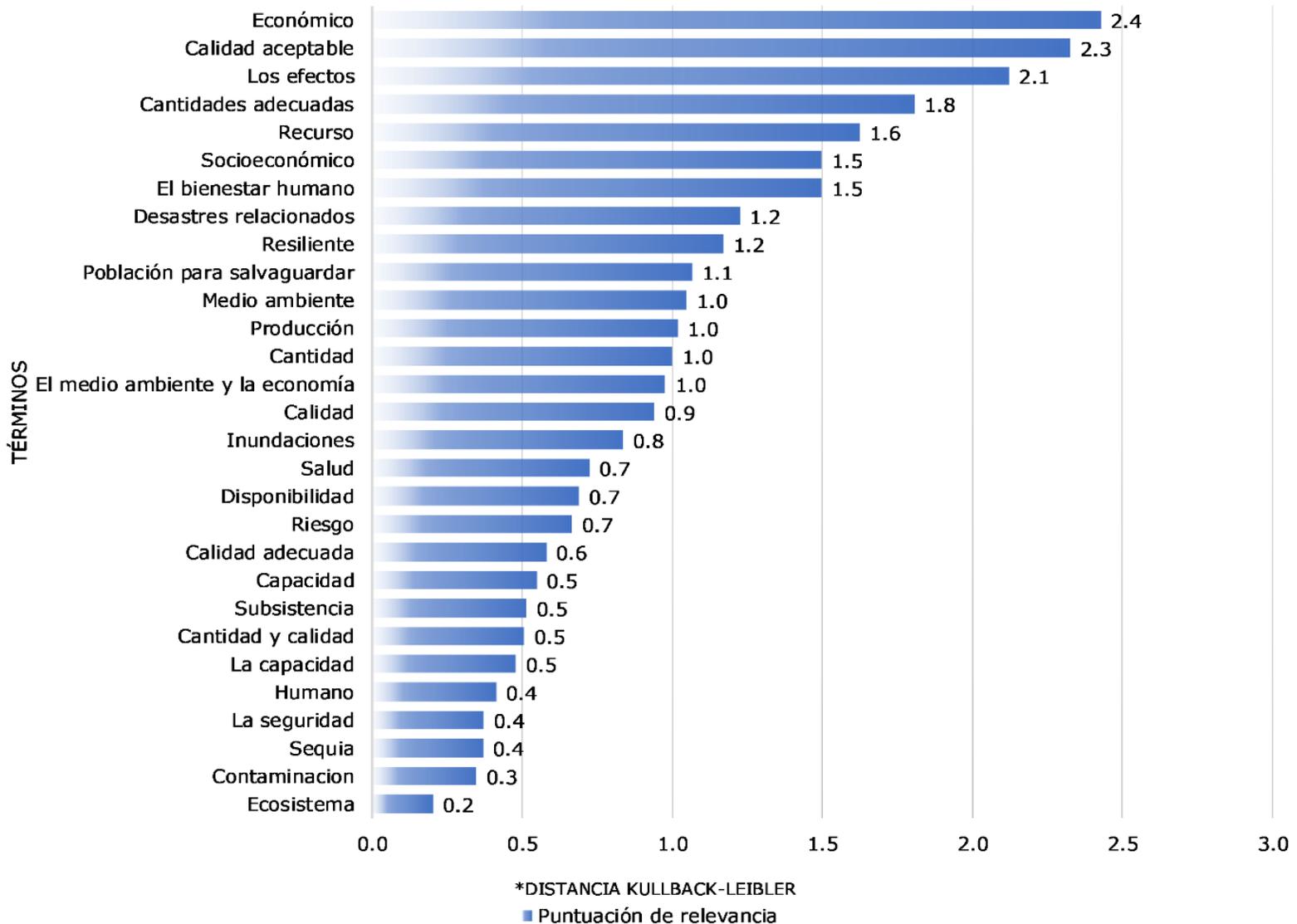


Figura 10. Relevancia de los términos de las definiciones de SH. Elaboración propia con base en Google Académico, Digital Science & Research Solutions (2019) y *Research Gate*.

En cuanto al análisis de las definiciones a través de sus atributos temáticos, en la Figura 11 se presentan las 15 definiciones (de 26) con mayores atributos temáticos, donde destacan las definiciones de Gleick e Iceland (2018), Fuster, Escobar, Astorga, Silva y Aldunce (2017), y Bakker (2012). Derivado del mismo análisis se muestran los atributos temáticos más frecuentes en las definiciones, donde destacan ecosistemas, cantidad y calidad.

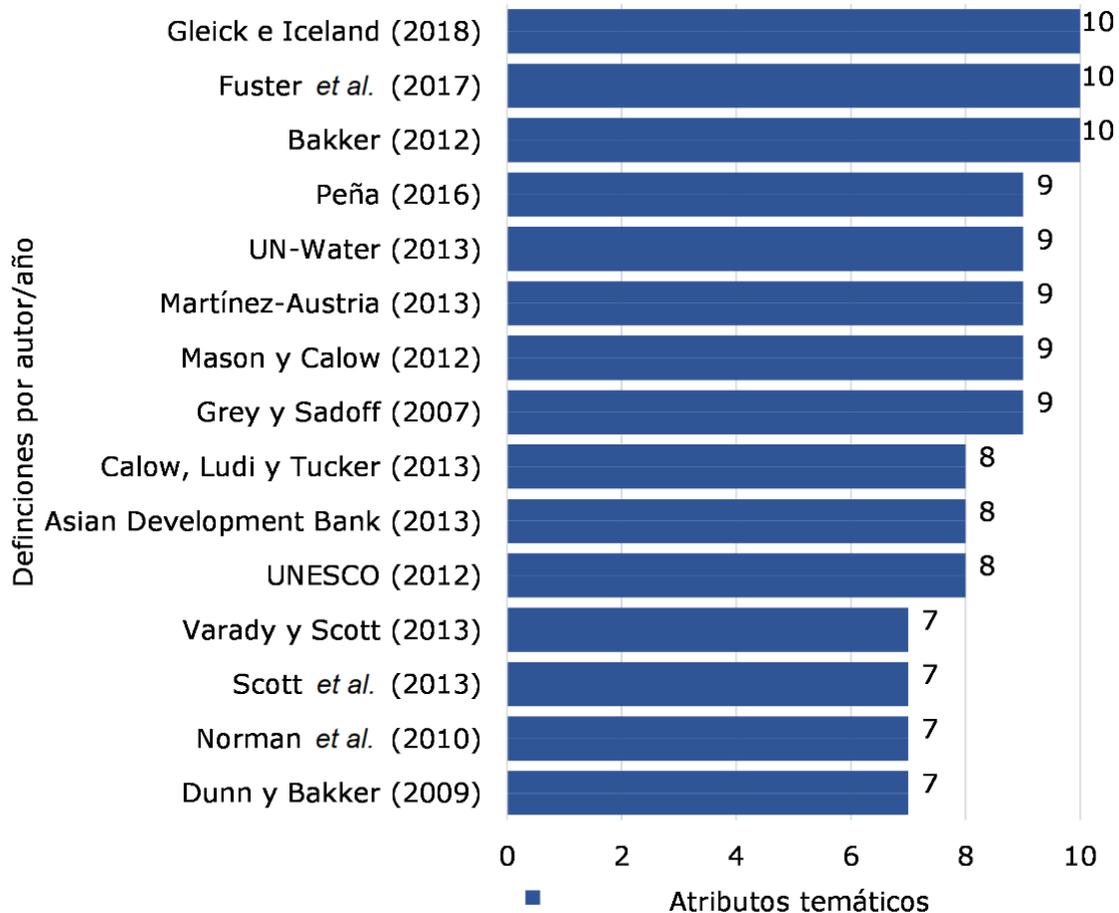


Figura 11. Número de atributos temáticos de las definiciones de SH. Elaboración propia con base en Google Académico, Digital Science & Research Solutions (2019) y *Research Gate*.

Del análisis de las 26 definiciones con respecto a la propuesta de algún instrumento de medición, 27 % (siete definiciones) propone algún índice o indicador. Destaca que solo 29 % de las definiciones a nivel región

tenga una propuesta de medición (Figura 12), en tanto que, en las definiciones del contexto de país, 25 % propone algún instrumento para operacionalizar la definición.

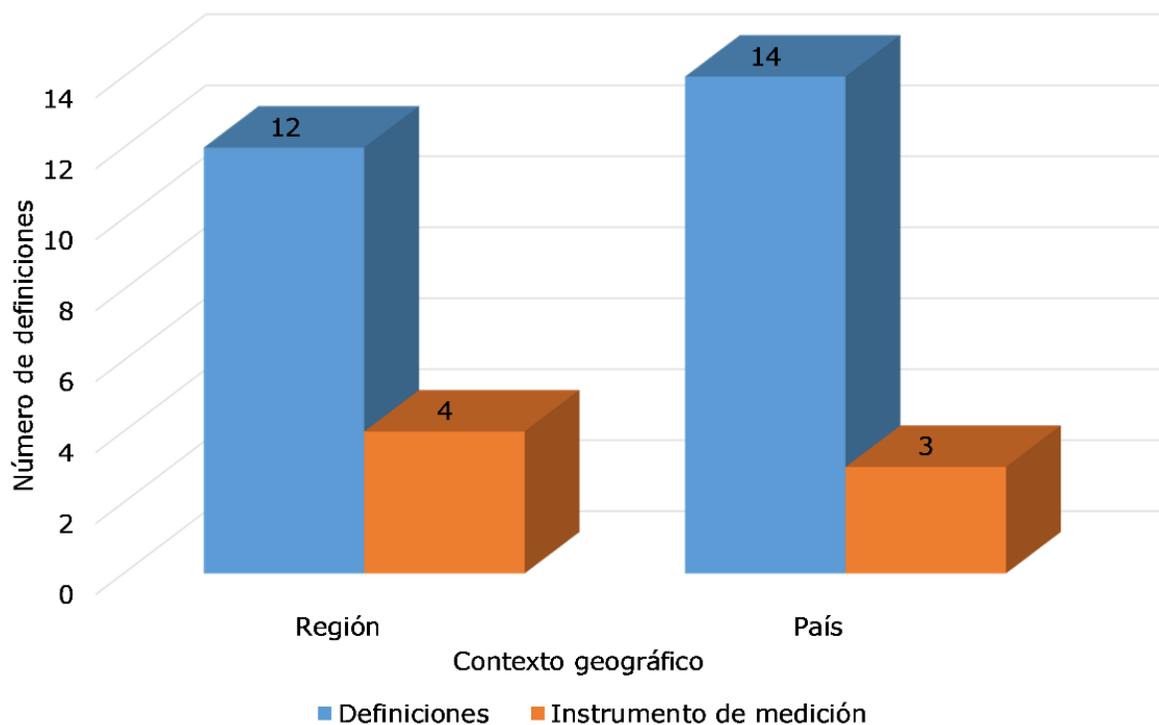


Figura 12. Instrumentos de medición en las definiciones SH analizadas. Elaboración propia con base en Google Académico, Digital Science & Research Solutions (2019) y *Research Gate*.

Discusión

Análisis de literatura científica sobre seguridad hídrica

A pesar de haber analizado 873 publicaciones de diversas ramas de estudio, perspectiva, dimensión y análisis, es posible que falten algunas que estaban próximas a publicarse o bien no habían sido incorporadas a *Dimensions*. Sin embargo, es evidente que existe un incremento anual de publicaciones sobre el tema, lo cual refleja un interés científico, social y político.

Incorporar el agua renovable y estrés hídrico permitió relacionar el contexto en que se produce la investigación de seguridad hídrica en el mundo, pues resultó evidente que el continente europeo, que ocupa el cuarto lugar de seis continentes de agua renovable *per cápita*, publique 35 % de toda la producción científica sobre el tema, además de que cuenta con los recursos económicos para hacerlo. Esta tendencia se repite a escala país, donde EUA, China y Reino Unido publican 44 % de la

producción científica, y en cada uno de sus continentes muestran valores de bajos a muy bajos de agua renovable.

En este sentido, al comparar los datos de cantidad de agua renovable por continente y por país (en el contexto continental), es evidente que existe una relación entre el agua renovable *per cápita* y el número de publicaciones sobre seguridad hídrica sin implicar el estrés hídrico, que mide la relación entre la cantidad de agua disponible y la cantidad que se extrae para diversos usos; esto manifiesta una tendencia antropocéntrica basada en la *cantidad* del recurso hídrico como eje rector de las investigaciones. Autores como Gunda, Hess, Hornberger y Worland (2019) coinciden con los resultados del análisis.

El análisis diacrónico (promedio/año) y el análisis de densidad de visualización de ocurrencia arrojan tres temas fundamentales que se están abordando recientemente: evaluación integral, huella hídrica y sensibilización. Estos temas están en la frontera de la ciencia de la seguridad hídrica, con la característica de que las tres parten de investigaciones multidisciplinarias; esto coincide con la visión de Varis, Keskinen y Kummu (2017) de que la seguridad hídrica es un concepto multidimensional, que puede ser observado desde la alimentación, producción de energía, proveeduría en cantidad y calidad del servicio, gestión del riesgo de desastres hidrometeorológicos, resiliencia de la sociedad, y vulnerabilidad y sustentabilidad, entre otros aspectos.

Con respecto a la definición más citada a la fecha sobre seguridad hídrica de Grey y Sadoff (2007), es de resaltar que lograron concretar una definición con términos comprensibles, aunque de difícil operación. Su definición ha influenciado al menos 46 % (12) de las 26 definiciones analizadas, lo que se confirma a través de la base de datos de Digital Science & Research Solutions (2019), que indica que 45 % de sus citas se han recibido en los últimos dos años; esto sugiere que actualmente recibe mucha atención.

Obtención y análisis de las definiciones sobre seguridad hídrica

A diferencia de la producción científica sobre seguridad hídrica, más de la mitad de las definiciones sobre el tema se publicaron de 2012 a 2016, teniendo un año récord de publicaciones en 2013, lo cual implica seis años de extenso auge e interés en tratar de descifrar el concepto, y aunque no han parado los intentos, es notorio el descenso de 2016 a 2019 por definir el concepto; lo anterior se debe en parte a la cantidad existente de las mismas referencias, y a la falta de asertividad o apropiación del concepto

por algún ente público para transformarlo en un concepto universal y en una política pública que resulte en la operación de la definición.

Es muy importante señalar que no es suficiente incluir de manera constante el término *ecosistema, medio ambiente o sustentabilidad* en las definiciones de seguridad hídrica, como lo demuestra el análisis de minería de datos y de análisis de coocurrencia; en este caso, la importancia de la palabra en el contexto de la definición es determinante, y el análisis de relevancia de los términos demuestra que no ha sido un tema específico ni relevante en las definiciones investigadas, a diferencia de los términos *económico, calidad aceptable, efectos y cantidades adecuadas*. Lo anterior indica que las definiciones de seguridad hídrica en el mundo tienen en su mayoría una tendencia antropocéntrica, ligando el agua principalmente con la satisfacción de las necesidades humanas. Autores como Zeitoun (2011); Cook y Bakker (2012); y Bizikova, Roy, Swanson, Venema y McCandless (2013) ya detectaban y criticaban tal tendencia.

Por esta razón, no es extraño que términos como *resiliencia y aguas subterráneas* formen parte de la frontera de la ciencia, pues constituyen una línea de investigación más ligada con la *sustentabilidad y ecosistema*, a diferencia de las que se están desarrollando en la actualidad, lo cual coincide con Srinivasan, Konar y Sivapalan (2017).

Las definiciones del concepto sobre seguridad hídrica en el mundo están evolucionando e incorporando más elementos. Del 2009 al 2012 se

constituían de siete atributos temáticos, en comparación del 2017 al 2018, que cuentan con 10 términos, lo que permite inferir un intento de construcción de una definición integral, y sugiere una progresión del pensamiento, tal como indican Gerlak *et al.* (2018).

Actualmente existe una tendencia para desarrollar el concepto de seguridad hídrica a través de definiciones mundiales o de continentes (46 % de las definiciones analizadas); esto implica que puedan ser poco operacionales, mostrando diferentes escalas y métricas que resulta complejo aplicar y medir a través del tiempo, tal como indican Cook y Bakker (2012), además de Gerlak *et al.* (2018). De este tipo de definiciones supranacionales, sólo cuatro proponen algún instrumento para operacionalizar la definición; en tal sentido, Whittington, Sadoff y Allaire (2013) coinciden en que este tipo de estimaciones genéricas de seguridad hídrica no son eficientes para orientar decisiones en el ámbito nacional o regional, lo que puede hacer que carezcan de utilidad para la implementación de políticas públicas. Autores como Dunn, Cook, Bakker, y Allen (2012); Garrick y Hall (2014); Van Beek y Arriens (2014); Garfin, Scott, Wilder, Varady y Merideth (2016), y Kauffer y Gallardo (2019) coinciden en que el querer medir y definir la seguridad hídrica a través de grandes escalas no es conveniente, y recomiendan un índice local construido de diversos indicadores en varias dimensiones que permita su operación, medición y, por lo tanto, su mejora.

La misma tendencia se repite en las definiciones analizadas a escala de país (54 %), donde sólo tres proponen algún instrumento para

operacionalizar la definición del concepto. Al respecto, autores como Gain, Giupponi y Wada (2016), además de Zeitoun (2011), indican que es mejor una herramienta conceptual que pueda implementarse, en lugar de las definiciones publicadas de seguridad hídrica, ya que éstas son estrechas —enfocándose en el ser humano— o abarcan demasiado, hasta el punto de no poder ponerse en práctica.

Conclusiones

Los países están divulgando conocimiento científico sobre seguridad hídrica; sin embargo, el interés en el tema reflejado a través del número de publicaciones depende del agua renovable a la que puedan tener acceso, lo que relega a segundo término el uso que se le da al agua. Esto explica por qué tanto países con estrés hídrico bajo como alto producen documentos y definiciones sobre seguridad hídrica, teniendo en común niveles bajos de agua renovable en sus respectivos continentes.

En la actualidad, la mayoría de las definiciones de seguridad hídrica no pueden operacionalizarse debido a dos características: la primera es que se plantean en un nivel de región continental o mundial, lo que las

hace ser difusas al contrastar los datos a nivel local; la otra característica es que menos del 30 % de las definiciones propone algún instrumento de medición, lo que en gran parte impide su aplicación y seguimiento. Aunque se prefieren regiones más locales para evaluar la seguridad hídrica, hoy resulta muy complejo encontrar una propuesta de índice o indicadores que partan de lo local a lo global.

Así, se recomienda abordar la seguridad hídrica de manera integral desde lo local, evaluando al menos las tres dimensiones básicas de la sustentabilidad con indicadores económicos, de medio ambiente y sociales. En este sentido, es imprescindible revalorar de manera eficiente al medio ambiente en la seguridad hídrica. Además, debe plantearse como un sistema dinámico por las características propias del tema de estudio y por la velocidad actual en que puede ser mejorada la información y su análisis.

Así, y ante la falta de profundidad del tema de medio ambiente en la seguridad hídrica, tres variables permanecen ausentes en las investigaciones de seguridad hídrica: a) la disponibilidad de agua subterránea; b) la posible contaminación de aguas superficiales y subterráneas, y c) la descarga de aguas residuales.

Por último y a manera de reflexión, el tema de seguridad hídrica es relativamente nuevo, por lo que no ha logrado permear el concepto o la forma de medirla, y carece de la dimensión ambiental a profundidad. Se sigue observando al agua como un bien listo para usarse y es ante la

carencia del líquido que se investiga y se proponen diversas definiciones. Lo anterior ocurre sin reflexionar preguntas básicas como ¿por qué hay determinada cantidad de agua en un territorio? o ¿por qué si hay agua no es accesible para su uso?, ambas preguntas sólo se responden con la dimensión ambiental inmersa en la respuesta, además de necesitar un diagnóstico integral a una escala más pequeña, a diferencia de las que se han planteado hasta ahora.

Ya que la seguridad hídrica es aún un tema en exploración, es posible romper paradigmas y complementar de fondo las carencias presentadas en los últimos 20 años, por nosotros, para las generaciones futuras, y para no caer en la inminente inseguridad hídrica.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca número 635886 otorgada al candidato a doctor en Desarrollo Regional Sustentable, Andrés de la Rosa Portilla, por la cual fue posible esta investigación. Se agradece también a los revisores anónimos por sus sustanciales aportaciones y correcciones para la mejora del artículo.

Referencias



- Bakker, K. (2012). Water security: Research challenges and opportunities. *Policy Forum*, 337, 23-24. Recuperado de <https://doi.org/10.1126/science.1226337>
- Bizikova, L., Roy, D., Swanson, D., Venema, H. D., & McCandless, M. (2013). *The water-energy-food security nexus: Towards a practical planning and decision-support framework for landscape investment and risk management*. Manitoba, Canada: International Institute for Sustainable Development Winnipeg.
- Cook, C., & Bakker, K. (2012). Water security: Debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.011>
- Cullmann, J., Dilley, M., Fowler, J., Grasso, F. V., Kabat, P., Lúcio, F., Nullis, C., & Repnik, M. (2019). 2019 State of climate services. *WMO*, (1242), 44. Recuperado de https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21609#.XgWKsUf0mub
- Demšar, J., Curk, T., Erjavec, A., Gorup, Č., Hočevár, T., Milutinovič, M., Možina, M., Polajnar, M., Toplak, M., & Starič, A. (2013). Orange: Data mining toolbox in Python. *The Journal of Machine Learning Research*, 14(1), 2349-2353.
- Digital Science & Research Solutions. (2019). *Dimensions*. Recuperado de <https://www.dimensions.ai/>

- Dunn, G., Cook, C., Bakker, K., & Allen, D. (2012). Water security guidance document. *Water Security Guidance Document*, 154. Recuperado de http://watergovernance.sites.olt.ubc.ca/files/2011/12/Water_Security_Guidance_Document_March_2012.pdf
- ESRI, Environmental Systems Research Institute. (2019). *ArcGIS* (10.7.1). Recuperado de <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-desktop/resources>
- FAO-AQUASTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations-Global Information System on Water and Agriculture. (2019). *Total renewable water resources per capita*. Recuperado de <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>
- Fuster, R., Escobar, C., Astorga, K., Silva, K., & Aldunce, P. (2017). *Estudio de seguridad hídrica en Chile en un contexto de cambio climático para elaboración del plan de adaptación de los recursos hídricos al Cambio Climático*. Recuperado de http://www.dgop.cl/centro_documental/Documents/Areas_DGOP/SEMAT/Informe_Final_Estudio_Seguridad_Hidrica_en_Chile.pdf
- Gain, A., Giupponi, C., & Wada, Y. (2016). Measuring global water security towards sustainable development goals. *Environmental Research Letters*, 11(124015). Recuperado de

<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/12/124015/pdf>

Garfin, G. M., Scott, C. A., Wilder, M., Varady, R. G., & Merideth, R. (2016). Metrics for assessing adaptive capacity and water security: Common challenges, diverging contexts, emerging consensus. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.007>

Garrick, D., & Hall, J. (2014). *Water security and society: Risks, metrics, and pathways*. *Ssrn*. Recuperado de <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-013012-093817>

GCA, Global Center on Adaptation. (2019). *Adapt now: A global call for leadership on climate resilience*. Recuperado de <https://gca.org/global-commission-on-adaptation/report>

Gerlak, A. K., House-Peters, L., Varady, R. G., Albrecht, T., Zúñiga-Terán, A., De Grenade, R. R., Cook, C., & Scott, C. A. (2018). Water security: A review of place-based research. *Environmental Science and Policy*, 82. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.01.009>

Glantz, M. H. (2018). Seguridad hídrica en un clima en cambio. *Boletín-Organización Meteorológica Mundial*, 67(1), 4-8.

Gleick, P., & Iceland, C. (2018). *Water, security, and conflict. Issue brief: World Resource Institute and Pacific Institute*. Recuperado de

<https://www.wri.org/publication-type/issue-brief> y

<https://www.wri.org/publication/water-security-and-conflict>

Grey, D., & Sadoff, C. W. (2007). Sink or swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9(6), 545-571. Recuperado de <https://iwaponline.com/wp/article-abstract/9/6/545/31241/Sink-or-Swim-Water-security-for-growth-and>

Gunda, T., Hess, D., Hornberger, G. M., & Worland, S. (2019). Water security in practice: The quantity-quality-society nexus. *Water Security*, 6, 100022. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468312418300075>

GWP, Global Water Partnership. (2000). *Towards water security: A framework for action*. GWP Secretariat. Recuperado de <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/references/towards-water-security.-a-framework-for-action.-mobilising-political-will-to-act-gwp-2000.pdf>

Hofste, R. W., Kuzma, S., Walker, S., Sutanudjaja, E. H., Bierkens, M. F. P., Kuijper, M. J. M., Faneca-Sánchez, M., Van Beek, R., & Wada, Y. (2019). *Aqueduct 3.0: updated decision relevant global water risk indicators*. Technical Note. World Resources Institute. Recuperado de <https://www.wri.org/publication/aqueduct-30>

Kauffer, E., & Gallardo, V. (2019). *Seguridad hídrica (SH) en México: ¿cómo y para quién?* Recuperado de



<https://www.librosciesas.com/producto/seguridad-hidrica-sh-en-mexico-como-y-para-quienes/>

Martínez, Y., & Villalejo, V. M. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39, 58-72.

Microsoft. (2019). *Office 365* (365th ed.). Redmond, USA: Microsoft. Recuperado de <https://www.microsoft.com/es/microsoft-365/previous-versions/microsoft-office-2019>

Natural Earth. (2018). *Admin 0–Countries v 4.1.0*. Admin 0 – Countries v 4.1.0. Recuperado de <https://www.naturalearthdata.com/downloads/110m-cultural-vectors/110m-admin-0-countries/>

Oberle, B., Bringezu, S., Hatfield-Dodds, S., Hellweg, S., Schandl, H., Clement, J., Cabernard, L., Che, N., Chen, D., & Droz-Georget, H. (2019). *Global resources outlook 2019: Natural resources for the future we want*. Paris, France: United Nations Environment Programme.

Peña, H. (2016). *Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40074>



Srinivasan, V., Konar, M., & Sivapalan, M. (2017). A dynamic framework for water security. *Water Security*, 1(1), 12-20. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2017.03.001>

Sun, F., Staddon, C., & Chen, M. (2016). Developing and applying water security metrics in China: Experience and challenges. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 21, 29-36. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.10.006>

The World Bank. (2019). *What a waste: An updated look into the future of solid waste management*. Recuperado de <https://www.worldbank.org/en/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>

UCCRN, Urban Climate Change Research Network. (2018). *The future we don't want: How climate change could impact the World's Greatest Cities (Issue February)*. Recuperado de https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/1789_Future_We_Don't_Want_Report_1.4_hi-res_120618.original.pdf

UN, United Nations. (2019). *Water and sanitation, why it matters?* United Nations. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>

UN-Water. (2017). *Integrated monitoring guide for sustainable development goal 6 on water and sanitation. Targets and global*

- indicators*. Recuperado de <https://www.unwater.org/publications/sdg-6-targets-indicators/>
- UN-Water. (2013). *Water Security and the Global Water Agenda. The UN-Water analytical brief*. United Nations. Recuperado de <http://www.unwater.org/publications/water-security-global-water-agenda/>
- UNESCO i-WSSM. (2019). *Water Security and the Sustainable Development Goals. Global Water Security Issues Case Studies*. UNESCO International Centre for Water Security and Sustainable Management (i-WSSM). Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367904?posInSet=1&queryId=N-EXPLORE-7f3c0a53-e6b0-4ce7-9b80-2b1004525546>
- Van Beek, E., & Arriens, W. L. (2014). Water security: Putting the concept into practice. *Tec Background Papers*, 20, 1-55. Recuperado de http://aquadoc.typepad.com/files/gwp_tec20_web.pdf
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2019). VOS viewer manual. In: *Leiden: Univeriteit Leiden* (1.6.11; Vol. 1, Issue 1, p. 53). Universiteit Leiden, Meaningful metrics (CWTS). Recuperado de <https://www.vosviewer.com/getting-started/>
- Van Eck, N., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOS viewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. Recuperado de <https://akademai.com/doi/pdf/10.1007/s11192-009-0146-3>

- Varis, O., Keskinen, M., & Kummu, M. (2017). Four dimensions of water security with a case of the indirect role of water in global food security. *Water Security*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2017.06.002>
- Wagener, T., Sivapalan, M., Troch, P. A., McGlynn, B. L., Harman, C. J., Gupta, H. V, Kumar, P., Rao, P. S. C., Basu, N. B., & Wilson, J. S. (2010). The future of hydrology: An evolving science for a changing world. *Water Resources Research*, 46(5). DOI: 10.1029/2009WR008906
- Whittington, D., Sadoff, C., & Allaire, M. (2013). The economic value of moving toward a more water secure world. *Tec Background Papers*, 18, 1-73.
- World Economic Forum. (2020). *The Global Risks Report 2020* (15th ed.). Recuperado de http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf
- WWAP/UN-Water. (2018). *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261424e.pdf>
- Zhang, X., Zhang, L., Zhao, J., Rustomji, P., & Hairsine, P. (2008). Responses of streamflow to changes in climate and land use/cover in the Loess Plateau, China. *Water Resources Research*, 44(7). Recuperado de <https://doi.org/10.1029/2007WR006711>

Zeitoun, M. (2011). The global web of national water security. *Global Policy*, 2(3), 286-296. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1758-5899.2011.00097.x>