

TENDENCIAS DE INVESTIGACIÓN EN DESALINIZACIÓN TÉRMICA DE AGUA DE MAR

RESEARCH TRENDS IN SEAWATER THERMAL DESALINATION

Jhon Jairo Feria Díaz¹
Juan Pablo Rodríguez Miranda²

Resumen

De acuerdo con datos técnicos suministrados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en pocos años el mundo sufrirá de una inminente escasez de agua en muchas regiones y países, debido principalmente a las actividades antrópicas que han afectado gravemente los diversos ecosistemas del planeta. Frente a esta realidad, la desalinización de aguas surge como un factor clave para la sostenibilidad y satisfacción de las necesidades básicas de la población. El objetivo de este estudio fue realizar un análisis bibliométrico de los artículos científicos publicados sobre desalinización de aguas durante el período comprendido entre 2010 y 2020, con el fin de analizar las tendencias, autores y temáticas investigadas. Se utilizó una metodología descriptiva con enfoque cualitativo de 4 etapas: búsqueda bibliográfica, preparación de datos, análisis bibliométricos y discusión. Como resultados del análisis, se observó un crecimiento exponencial de las investigaciones sobre el tema, enfocadas principalmente en el aprovechamiento y combinación de fuentes de energías renovables, los sistemas híbridos de desalinización, y finalmente, en sistemas de desalinización térmicos y desalinización con membranas. Se identificó que los países líderes en investigación sobre el tema son los Estados Unidos, Arabia Saudita, China y Catar. En la colaboración internacional con otros países, se destaca sobre todo la de los autores estadounidenses. Como conclusión general, se resalta que los principales tópicos de la publicaciones analizadas son el uso y aprovechamiento de energías renovables, optimización y mejoramiento de exergía, hibridación de fuentes y sistemas de tratamiento y desalinización térmica y con membranas.

Palabras clave: Desalinización, Escasez de agua, Desalinización térmica, Desalinización con Membranas, Producción científica.

Abstract

According to the United Nations (UN), due to anthropic activities that have seriously affected the planet's ecosystems, in a few years the world will suffer from an imminent water scarcity in many regions and countries. The desalination of water emerges as a key factor for the sustainability and satisfaction of the basic needs of the population in the face of this reality. To

Recepción: Julio de 2021 / Evaluación: Septiembre 2021 / Aprobado: Octubre 2021

¹ Magíster en Ciencias Ambientales, Ingeniero Sanitario. Profesor Titular, Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería. Sincelejo, Colombia. Candidato a Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Tecnológico Nacional de México, Campus Misantla, Veracruz, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1397-1546>. Correo electrónico: Jhon.feria@unisucra.edu.co.

² Doctor en Ingeniería, Magíster en Ingeniería Ambiental, Magíster en Gestión y Evaluación Ambiental, Ingeniero Sanitario y Ambiental. Profesor Titular, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Bogotá D.C., Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3761-8221>. Correo electrónico: jprodriguez@udistrital.edu.co.

analyze the trends, authors and topics investigated on water desalination, a bibliometric study between 2010 and 2020 has been carried out on all publications related. The results showed an exponential growth in research on the subject, mainly focused on the use and combination of renewable energy sources, hybrid desalination systems, thermal desalination systems and membrane desalination. The United States, Saudi Arabia, China, and Qatar are the leading countries in desalination research. The international collaboration of American authors with other countries is highlighted.

Keywords: Desalination, Water Scarcity, Thermal desalination, Membrane Desalination, Scientific production.

Introducción

Las consecuencias directas de los procesos antrópicos sobre el ambiente, como el cambio climático, el uso indiscriminado del agua y los procesos de industrialización y urbanización sin planificación, han llevado al planeta a una significativa escasez de agua dulce, que afecta a casi el 20% de la población mundial (Xiao-Jun *et al.*, 2014; Shahzad, Ng, Thu, Saha y Chun, 2014). Adicionalmente, más del 40% de la población mundial (más de 2.800 millones de personas) vive a menos de 100 km de la costa (IOC/UNESCO, 2011). Esto significa que una gran parte de la humanidad enfrenta escasez de agua dulce, y la otra parte enfrenta limitaciones de suministro de agua debido a la falta de infraestructura para tomar agua de ríos y acuíferos o para la desalinización de agua de mar y agua salobre (Zapata, Cascajares, Alcayde y Manzano, 2022). Por lo tanto, los problemas críticos relacionados con la escasez de agua se deben abordar con urgencia para así lograr un desarrollo sostenible y estable, tanto para la salud humana como para los ecosistemas, y en general, para conseguir un adecuado desarrollo socioeconómico en los países (Kahil *et al.*, 2019). En este aspecto, la desalinización ha sido reconocida como una alternativa prometedora para ofrecer un suministro de agua confiable y satisfacer la demanda de agua dulce (Goh, Matsuura, Ismail y Hilal, 2016). En la actualidad, la desalinización de agua de mar, agua salobre y salmuera satisface aproximadamente el 1% de la demanda mundial de agua y constituye una alternativa atractiva para muchas industrias de uso intensivo de agua, incluidas la agricultura y la petroquímica (Ahmed, Hashaikh y Hilal, 2020). Sin embargo, casi todas las plantas de desalinización (99%) dependen de combustibles fósiles como fuente de energía primaria para la producción de calor (Zheng, Caceres, Hatzell y Hatzell, 2021).

En términos generales, los procesos de desalinización del agua pueden clasificarse en procesos de cambio de fase o térmicos y procesos sin cambio de fase o por membranas (Feria, López, Rodríguez, Sandoval y Correa, 2021; Esmaeilion, 2020; Ahmed *et al.*, 2020; Nassrullah, Anis, Hashaikh y Hilal, 2020). Las tecnologías de desalinización térmica se basan en el cambio de fase para separar la sal del agua. Este proceso es inherentemente a un uso intensivo de energía, lo que resulta en una baja eficiencia energética (Shaffer *et al.*, 2013). A pesar de la intensidad energética de la desalinización en comparación con otros procesos convencionales, la desalinización es la más adecuada para áreas áridas y remotas donde no hay otras soluciones mejores (Goh, Matsuura, Ismail, Ng, 2017). Aunque los sistemas de desalinización por membranas como la ósmosis inversa, están liderando el mercado actual de la desalinización, principalmente por sus menores demandas de energía en relación con los procesos de cambio de fase (Goh, Kang, Ismail y Hilal, 2021; Shahzad, Burhan, Ybyraiyimkul y Ng, 2019), los sistemas térmicos requieren de pretratamientos que consumen menos energía y una menor frecuencia de limpieza que la requerida por los procesos basados en membranas (Ophir y Lokiec, 2005), adicionalmente,

producen un destilado de mayor calidad, con sólidos disueltos totales menores a 20 ppm (Khoshgoftar, Ghalami, Amidpour y Hamed, 2013).

Las tecnologías de cambio de fase o térmicas, más utilizadas comercialmente a nivel mundial son la Destilación Multiefecto (MED), La Destilación Instantánea en Múltiples Etapas (MSF) y la Destilación de Compresión de Vapor (VCD) (Feria *et al.*, 2021a; Zheng *et al.*, 2021). Sin embargo, los sistemas de desalinización híbridos de base térmica representan la tendencia futura de las operaciones de desalinización a escala comercial (Goh *et al.*, 2021; Ahmed *et al.*, 2020).

Para identificar las tendencias y el estado del arte de la desalinización a nivel global, se utilizan ampliamente los estudios bibliométricos. Un análisis bibliométrico realizado por Yang *et al.* (2018), revisando la literatura científica entre 1997 y 2012, halló que los 7 principales países industrializados (Estados Unidos, Italia, Japón, Alemania, Reino Unido, Canadá y Francia) publicaron la mayoría de los artículos científicos a nivel mundial y se concentraron en la temática de Ingeniería Química (53%) y Recursos Hídricos (44%).

Por otra parte, y limitándose al mundo árabe, Zyoud y Fuchs, (2015), revisaron la literatura científica publicada sobre desalinización entre 1976 a 2015, e identificaron que Arabia Saudita, Egipto y Emiratos Árabes fueron los principales países que publicaron la mayoría de los artículos científicos. Las principales categorías que encontraron fueron en Ingeniería Química (57%), Ingeniería (43%) y Ciencias Ambientales (40%).

Recientemente, Zapata *et al.*, (2022), hallaron en un análisis de tendencias de investigación en el tema de la desalinización de aguas, realizado entre 2000 y 2020, que las 4 categorías principales de investigación fueron en el campo de las ciencias ambientales (28%), la ingeniería (27%), la ingeniería química (11%) y la química (10%). Adicionalmente, hallaron que los cinco principales países en este campo científico son China, Estados Unidos, India, Irán y Corea del Sur.

El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis bibliométrico de la literatura científica sobre la desalinización a nivel mundial, con el fin de identificar las tendencias de investigación en este campo. Se analizó la evolución de las publicaciones por año, países y afiliaciones que más aportan en esta temática.

Materiales y métodos

La metodología aplicada es de tipo descriptivo con enfoque cualitativo (Hernández Sampieri, Fernández Collado, Baptista Lucio y Baptista Lucio, 2014; Tamayo y Tamayo, 2011). Se tomó de base el diseño metodológico sugerido por Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses – PRISMA (Liberati *et al.*, 2009; Urrutia y Bonfill, 2010). El diseño metodológico utilizado tiene 4 etapas, la primera etapa es la estrategia de búsqueda bibliográfica, la segunda es la preparación de datos, la tercera etapa es el análisis bibliométrico y la última corresponde a la discusión y conclusiones. A continuación, se explica en detalle cada una de ellas. Para el procesamiento de la información se utilizó la librería de bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2021) perteneciente al software RStudio (RStudio, 2021). También se utilizó como herramientas de apoyo las aplicaciones MS-Excel® (Microsoft, 2021) y Mendeley (Mendeley Ltd., 2021).

Estrategia de Búsqueda Bibliográfica

Como estrategia de búsqueda bibliográfica, se determinó que las bases de datos más idóneas fueron SCOPUS (Elsevier B.V., 2021) y Web of Science™ (Web of Science, 2021) en función de la cantidad, seriedad y calidad de las publicaciones a las que se puede tener acceso por este medio. Adicionalmente, la calidad de información bibliométrica que proveen permite realizar un análisis exhaustivo de las investigaciones publicadas. Los criterios de inclusión y de exclusión de

búsqueda, se plantearon de acuerdo con los establecidos por PRISMA. Estos criterios se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios de Inclusión y Exclusión según Metodología Prisma

Tipo	Criterio
Inclusión	Investigaciones académicas y comerciales que estén enfocadas a procesos de desalinización de agua de mar con desalinización térmica. Términos relacionados con desalinización Términos relacionados con agua de mar Términos relacionados con desalación térmica Estudios publicados en inglés publicados entre el 01 de enero de 2010 al 02 de agosto de 2021
Exclusión	Estudios publicados antes del 01 de enero de 2010 Investigaciones enfocadas en soluciones del sector privado que no determinan beneficios para el sector público o los ciudadanos de la comunidad

Con los criterios de inclusión y exclusión, se creó la ecuación de búsqueda:

(Desalination OR Distiller OR Distillation) AND Seawater AND "Thermal Desalination"

Esta ecuación se aplicó como criterio de búsqueda en las bases de datos científicas. Se obtuvieron 216 registros en SCOPUS y 219 registros en Web of ScienceTM. Luego se continuó con la preparación de datos.

Preparación de Datos

El objetivo de esta actividad fue preparar los datos de tal forma que la información cumpla con los requisitos del estudio y puedan ser procesados en la librería bibliométrica de Rstudio. Inicialmente se convirtieron las bases de datos con los registros de las búsquedas en un formato que fuera reconocido fácilmente por RStudio. Los registros de SCOPUS estaban en formato .bib y se transformaron en .xlsx y los registros de Web of ScienceTM estaban en .txt y se transformaron también en .xlsx. Posteriormente, se unificaron en una sola base de datos, para lo cual se identificaron las variables dejándolas en un solo formato. Se eliminaron los registros duplicados que estaban en ambas bases de datos, acorde a lo sugerido por la metodología PRISMA. Al unir las 2 bases quedaron 435 registros de los cuales se encontraron 138 registros duplicados que, al ser eliminados, se obtuvieron finalmente 297 registros. Luego se realizó una revisión de los registros, para determinar si cumplían con los criterios de inclusión y exclusión, quedando al final un total de 293 registros. Durante todo este proceso se usaron las aplicaciones RStudio, MS-Excel® y Mendelay.

Análisis Bibliométrico

Como ya se mencionó, para el análisis bibliométrico se utilizó la librería bibliométrica de Rstudio. A través de esta aplicación se pueden realizar varios tipos de análisis. A continuación, se explica cada uno de los utilizados.

Producción científica anual

Presenta la evolución de la producción científica de la desalinización de agua de mar con desalinización térmica, en periodos anuales desde al año 2010 hasta el 02 de agosto del 2021.

Fuentes de publicaciones más relevantes

Presenta las fuentes de información que pueden ser revistas, libros, capítulos de libros, entre otras. Los cuales tienen la mayor cantidad de publicaciones sobre la desalinización de agua de mar con desalinización térmica. Se colocaron los 10 primeros.

Fuentes de publicaciones con mayor impacto

Se muestran las 10 principales fuentes de publicaciones que tiene mayor impacto en el tema. Se usó el índice H para medir el impacto. El índice H se calcula ordenando de mayor a menor los artículos científicos según el número de citas bibliográficas recibidas, siendo el índice H el número en el que coinciden el número de orden de las publicaciones con el número de citas (Universidad de Huelva, 2021).

Producción científica por países

Se presentan los países ordenados según el número de publicaciones que tengan asociadas. Este valor se determina de acuerdo con la afiliación de los autores.

Universidades con mayor producción científica

En este índice se tomaron las afiliaciones de los autores y se ordenan de mayor a menor, de acuerdo con la producción científica relacionada con desalinización de agua de mar con desalinización térmica.

Producción científica de autores

En este punto se analizó la producción científica de los autores con respecto al tema a tratar. Para el análisis, se ordenaron los autores desde el de mayor producción al de menor producción. Se analizaron solo los 10 primeros. También se analizó la producción a través del tiempo de estos autores y, por último, el impacto de cada uno de ellos de acuerdo al índice H.

Publicaciones más citadas

Se ordenan de mayor a menor las publicaciones, acorde al número de citaciones que hallan tenido. Se muestran las 10 principales.

Análisis temático

Para el análisis temático se tomaron las palabras clave de los autores en los artículos, y se midió la frecuencia total de aparición de cada palabra. También se analizó la frecuencia de aparición de acuerdo al año de publicación.

Redes de cooperación

Se analizó desde dos perspectivas las redes de colaboración, la primera red de colaboración fue la de autores y la segunda red es la de países. Para la creación de la red se usó el método por asociación (Luukkonen, Tijssen, Persson, y Sivertsen, 1993).

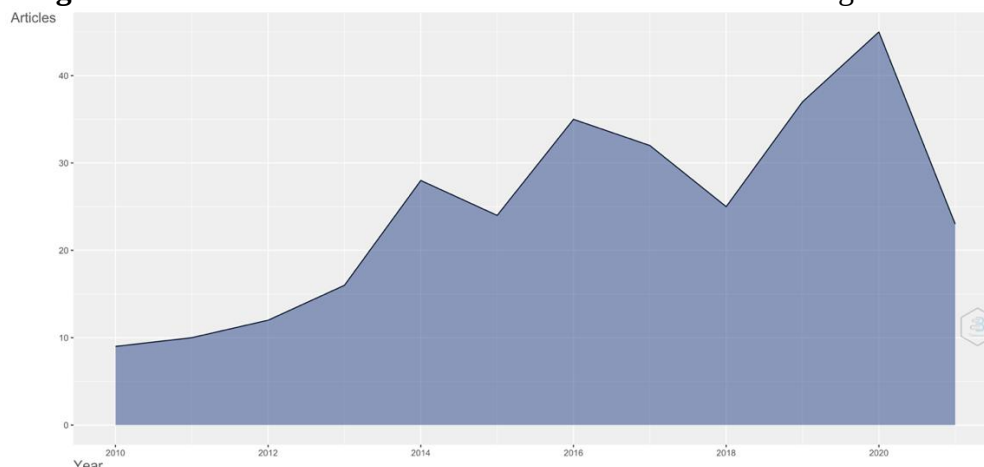
Resultados y discusión

En este apartado se aplicaron los indicadores bibliométricos, donde se analizaron la producción científica, los autores, fuentes de publicación, publicaciones más relevantes, temáticas y redes de cooperación. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Producción Científica Anual

En la Figura 1, se observa un crecimiento paulatino, aunque no constante de producción científica del tema a partir del año 2013.

Figura 1. Producción científica anual sobre desalinización de agua de mar

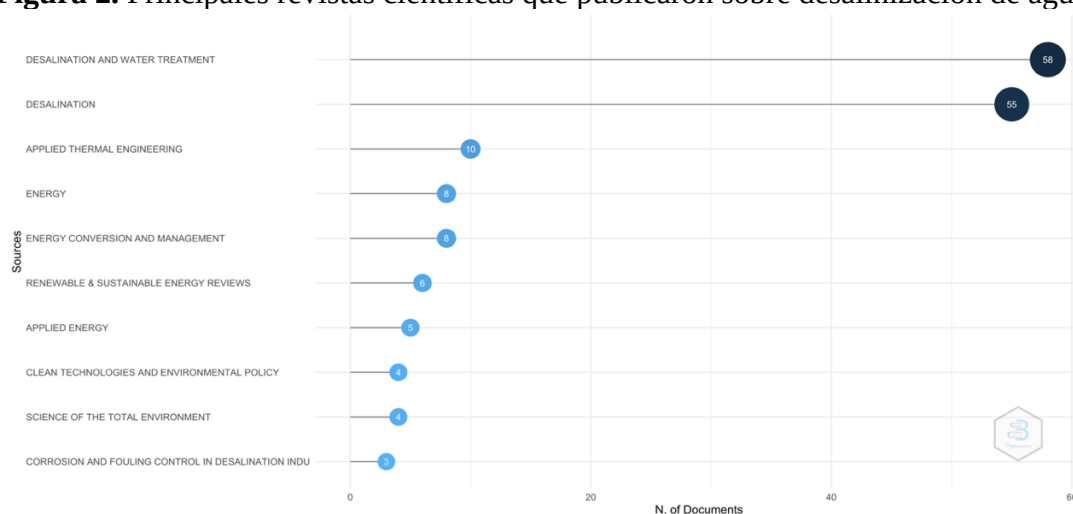


Fuente: Elaboración propia (2021)

Aplicando la metodología previamente descrita y utilizando el término de búsqueda “Desalination”, se aprecia una tendencia exponencial creciente en los últimos 10 años sobre esta temática, con una máxima producción en el ultimo año analizado, es decir, en el año 2020. Estos resultados son acordes a los reportados por Feria *et al.* (2021b).

Fuentes de Publicaciones Más Relevantes

En la Figura 2, se presenta las 10 fuentes o revistas científicas con mayores publicaciones desde el año 2010 hasta el 2020, destacándose la revista “Desalination and Water Treatment” (ISSN 1944-3994), con 58 publicaciones; y la revista “Desalination” (ISSN 0011-9164), con 55 publicaciones.

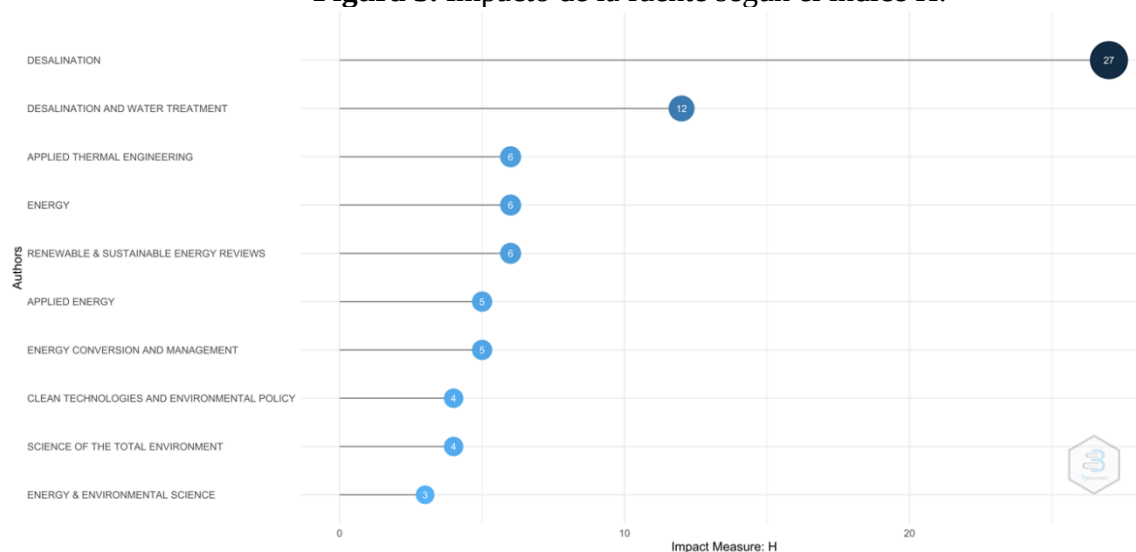
Figura 2. Principales revistas científicas que publicaron sobre desalinización de aguas

Fuente: Elaboración propia (2021)

Luego de verificar el cuartil de clasificación de las revistas mostradas en la Figura 2, se observó que todas están en las dos primeras categorías de indexación, es decir, en los cuartiles 1 y 2 de Scopus. De igual manera, todas las revistas tienen cierta continuidad de números de publicación sobre el tema en función del tiempo, a excepción de las revistas “Desalination and Water Treatment” y “Desalination”, que se destacan por su crecimiento exponencial debido principalmente a la especificidad de sus comités editoriales y al creciente interés que la temática de desalinización ha despertado recientemente en la comunidad científica (Lee *et al.*, 2021). Estas revistas se concentran, como era de esperar, en tres categorías principales: Ciencias ambientales, Ingeniería e Ingeniería química (Melero, 2005; Mendoza y Paravic, 2006).

Fuentes de Publicaciones con mayor Impacto

Para determinar las publicaciones científicas que tienen mayor impacto en la temática a estudiar, se utilizó el índice de impacto H. Este índice H, hace referencia a la relación que existe entre el número de citas que ha tenido una revista y el número de artículos publicados en ella, en función de un período de tiempo determinado (Salgado y Páez, 2007). En la Figura 3 se presentan las fuentes de publicaciones con mayor impacto en el tema de desalinización de aguas.

Figura 3. Impacto de la fuente según el índice H.

Fuente: Elaboración propia (2021)

Se puede observar que la fuente más importante y con mayor impacto, son las revistas “Desalination” y “Desalination and Water Treatment”, con un índice H de 27 y 12, respectivamente. Las demás fuentes muestran índices de impacto entre 3 y 6, lo que indica que las principales fuentes de consulta sobre la temática de desalinización son las dos primeras revistas mencionadas previamente.

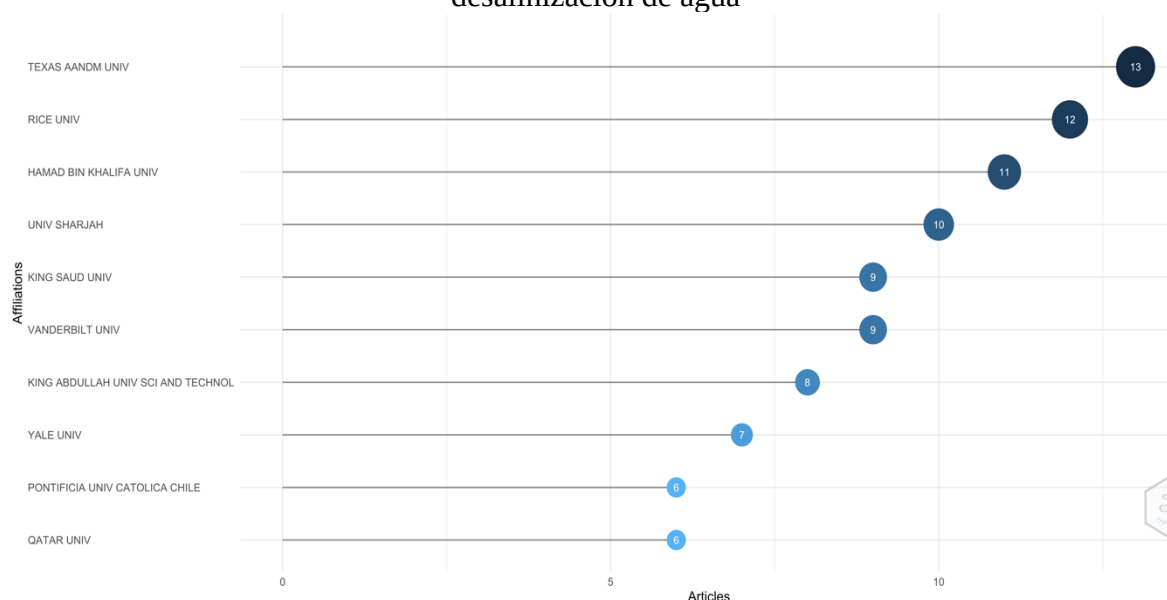
Producción Científica por Países

Es importante mostrar la distribución científica, por países, donde actualmente se están realizando los mayores esfuerzos científicos en el campo de estudio, con el fin de determinar los nichos de investigación en el tema (Nchinda, 2002). En la Tabla 2 se presenta la producción científica de la temática, clasificada por países.

Tabla 2. Producción científica mundial de artículos científicos sobre desalinización

País	Cantidad	País	Cantidad	País	Cantidad
Usa	105	Alemania	17	Colombia	6
Saudí Arabia	52	India	15	Canadá	5
China	45	Irán	14	Grecia	5
Qatar	35	Corea del Sur	14	Francia	4
Australia	25	Singapur	11	Malasia	4
Reino Unido	20	España	11	México	4
Italia	19	Japón	7	Tunes	4
Egipto	18	Jordania	7		
Chile	17	Algeria	6		

Figura 5. Centros de educación superior mas relevantes y con mayor productividad en desalinización de agua

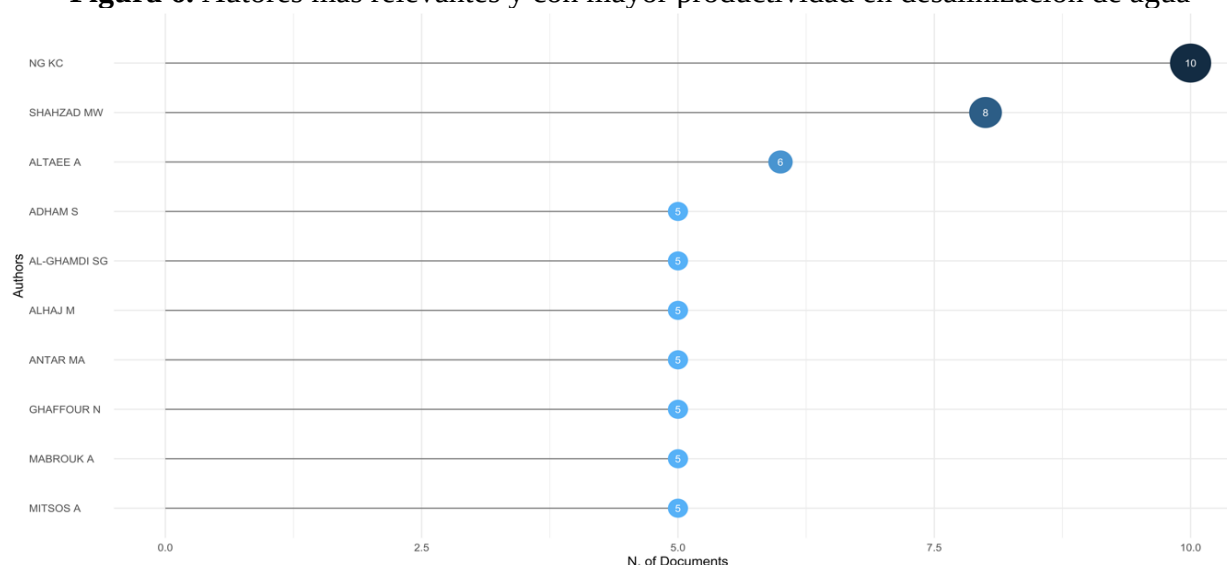


Fuente: Elaboración propia (2021)

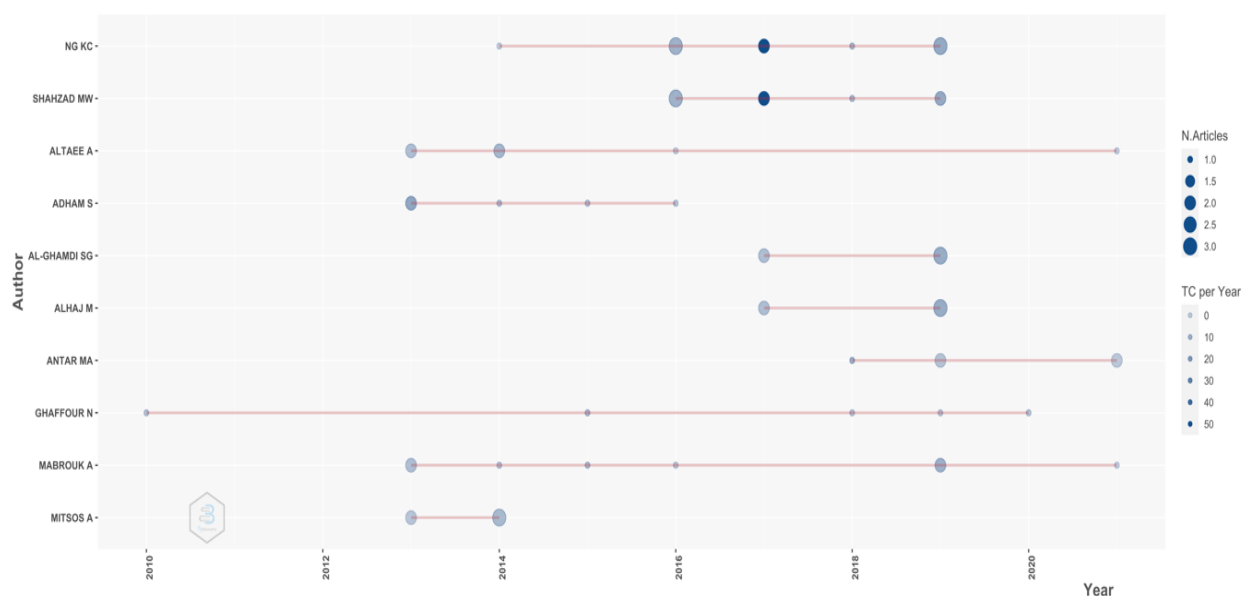
Producción Científica por Autores

En la Figura 6, se presenta los 10 autores con mayor producción científica en el tema y en la Figura 7 se muestra su producción a través del tiempo. En la Figura 8 se exponen los autores con mayor impacto, medidos a través del índice H. Al observar los resultados, los autores que mas se destacan son el profesor Ph.D. Kim Choon Ng del King Abdullah University of Science and Technology, el cual aparece con 10 publicaciones sobre el tema con un índice H de 8. En segundo lugar, aparece el profesor Ph.D. Muhammad Wakil Shahzad del Northumbria University, con 8 publicaciones y un índice H de 8 sobre el tema.

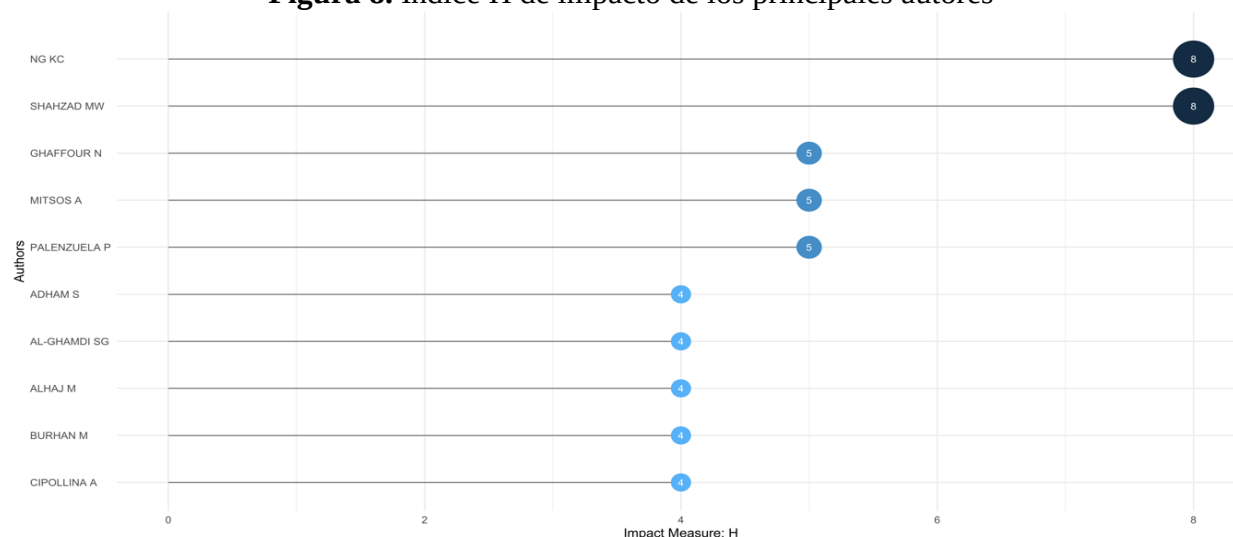
Figura 6. Autores mas relevantes y con mayor productividad en desalinización de agua



Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 7. Productividad de los principales autores y su trayectoria en función del tiempo

Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 8. Índice H de impacto de los principales autores

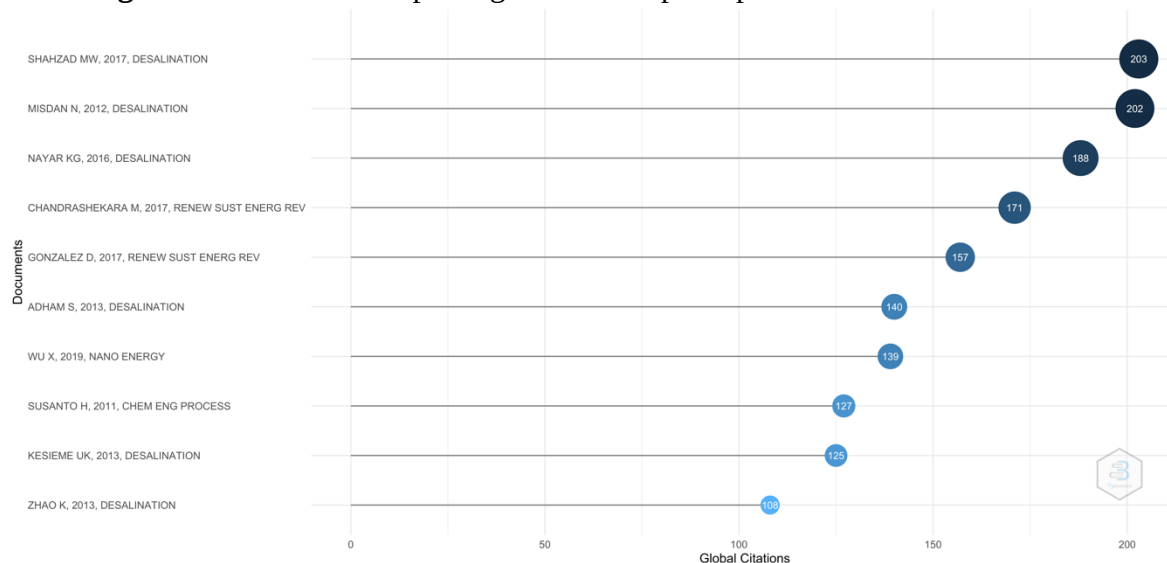
Fuente: Elaboración propia (2021)

Publicaciones Más Citadas

La divulgación científica es una de las razones intrínsecas de la investigación, ya que no hay investigación sin comunicación, pues desde el hecho de hacer inteligible, pertinente y viable un problema, pasando por el hacer expresable un descubrimiento y el poderlo ponderar y discutir para asegurarlo, exteriorizarlo y discutirlo en forma de “controversias ya implica generar sentido” (Latour, 1992). En ese sentido, las citaciones y las referenciaciones de unos artículos en otros, es una forma de reflejar lo anterior dentro de la comunidad científica.

En la Figura 9 y en la Tabla 3 se presentan las publicaciones más citadas sobre desalinización de aguas. La publicación más citada es la de Shahzad, Burhan, Ang, & Ng (2017) con 203 citaciones, seguida de Misdan, Lau, y Ismail (2012) con 202 citaciones.

Figura 9. Índice H de impacto global de los principales autores sobre desalinización



Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla 3. Artículos científicos sobre desalinización más citados entre 2010 a 2020

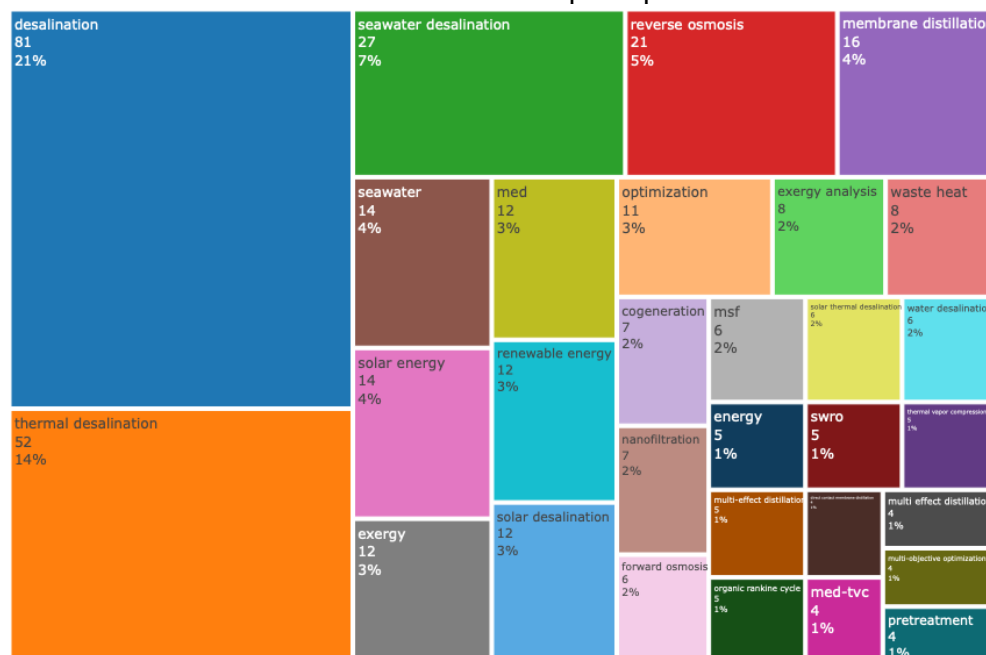
Autor y Revista	DOI	Citaciones Totales (CT)	CT por año
Shahzad Mw, 2017, Desalination	10.1016/j.desal.2017.03.009	203	40,6
Misdan N, 2012, Desalination	10.1016/j.desal.2011.11.001	202	20,2
Nayar Kg, 2016, Desalination	10.1016/j.desal.2016.02.024	188	31,333
Chandrashekar M, 2017, Renew Sust Energ Rev	10.1016/j.rser.2016.08.058	171	34,2
González D, 2017, Renew Sust Energ Rev	10.1016/j.rser.2017.05.078	157	31,4
Adham S, 2013, Desalination	10.1016/j.desal.2013.01.003	140	15,556
Wu X, 2019, Nano Energy	10.1016/j.nanoen.2018.12.008	139	46,333
Susanto H, 2011, Chem Eng Process	10.1016/j.cep.2010.12.008	127	11,545
Kesieme Uk, 2013, Desalination	10.1016/j.desal.2013.03.033	125	13,889
Zhao K, 2013, Desalination	10.1016/j.desal.2012.12.003	108	12

La temática abordada por los autores mas citados es muy variada. Comprende desde el estudio de las propiedades termofísicas del agua de mar (Nayar *et al.*, 2016), los diversos sistemas de desalinización de aguas (Chandrashekar *et al.*, 2017; Misdan *et al.*, 2012; González *et al.*, 2017; Adham *et al.*, 2013; Susanto *et al.*, 2011; Zhao *et al.*, 2013; Wu *et al.*, 2019), las relaciones entre la energía, el agua y el ambiente en sistemas de desalinización (Shahzad *et al.*, 2017), hasta análisis económicos y de eficiencia energética de los sistemas de desalinización de aguas (Kesieme *et al.*, 2013).

Análisis de Temático

Para el análisis de temáticas se tomaron las palabras clave de los autores en las publicaciones. En la Figura 10 se presentan las palabras clave de mayor a menor frecuencia.

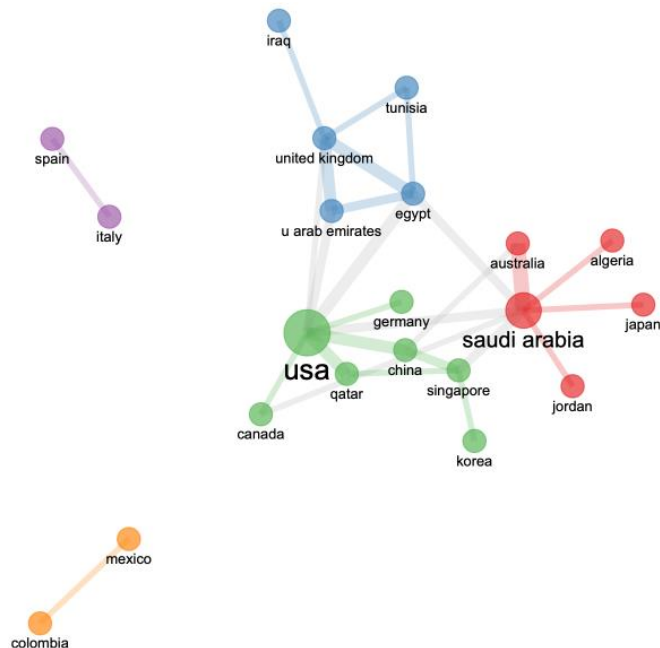
Figura 10. Palabras claves en los artículos de los principales autores sobre desalinización



Fuente: Elaboración propia (2021)

Las consultas sobre desalinización de agua de mar se pueden dividir según el proceso de desalinización y según las diferentes fuentes de energía que utilicen. Dentro de los procesos de desalinización que más se consultan están los procesos térmicos como, la desalinización instantánea multietapa (MSF), la destilación multiefecto (MED) y la Compresión de vapor, y los procesos con membranas, como la osmosis inversa (RO), la nanofiltración (NF) y la Electrodiálisis (ED) (Feria *et al.*, 2021a). También se pueden clasificar, en términos generales, en técnicas de evaporación-condensación, filtración y cristalización (Zapata *et al.*, 2022). En cuanto a las fuentes de energía, las mas recientes investigaciones buscan explotar el uso de fuentes renovables como la energía eólica, la solar y la de biomasa (Alkaisi, Mossad y Sharifian, 2017). De acuerdo con la Figura 10, las palabras claves de mayor uso para la búsqueda bibliográfica sobre esta temática son “Desalination” con un porcentaje de uso del 21%, seguida de “Thermal desalination” con un 14%, “Seawater desalination” con un 7% y “Reverse osmosis” con un 5%.

Las categorías científicas en las que se clasifica la investigación son importantes para determinar desde qué punto de vista se aborda el problema a resolver. En la Figura 11 se presentan las principales temáticas abordadas en el área y su proceso de evolución en el tiempo durante el periodo estudio. Se observó que las principales tendencias científicas en la investigación sobre desalinización se enmarcaron en el uso de energías renovables, análisis de exergía y desalinización térmica entre los años 2015 a 2020, seguidos del estudio e investigación en membranas de desalinización (2013-2017), nanofiltración (2012-2018) y osmosis inversa (2015-2020).

Figura 13. Redes de cooperación entre países en desalinización

Fuente: Elaboración propia (2021)

Entre las principales redes de países que investigan sobre la temática en desalinización, sobresalen las redes conformadas por Estados Unidos, Canadá, Alemania, China, Corea y Singapur, seguida por la red conformada por Arabia Saudita, Australia, Japón, Argelia y Jordania. De igual manera, aunque en una escala menor, encontramos las redes conformadas por Reino Unido, Iraq, Túnez, Egipto y Emiratos árabes unidos, y la red de cooperación entre Italia y España.

Conclusiones

Dada la premura e importancia del cumplimiento de los objetivos del milenio planteados por la ONU, la desalinización del agua de mar resulta ser una clara herramienta para el cumplimiento del objetivo número 6: Agua limpia y Saneamiento, dada la decreciente disponibilidad de agua potable de calidad y la inquietante escasez de fuentes hídricas sin contaminación que aqueja al planeta. La actividad investigativa desarrollada en torno a la desalinización del agua se ha visto intensificada durante los últimos años, lo que evidencia que la tecnología de desalinización de agua, en particular las técnicas de desalinización térmica son tecnologías con un grado de madurez alto. Las temáticas investigadas durante el período 2010 – 2020, gira en torno al uso y aprovechamiento de las energías renovables, optimización y mejoramiento de la exergía, la hibridación de fuentes y sistemas de tratamiento, y finalmente, en los sistemas de desalinización térmica y desalinización con membranas. Los 4 principales países que lideran las investigaciones en desalinización de aguas son Estados Unidos, Arabia Saudita, China y Qatar. El estudio de la colaboración internacional con otros países destaca sobre todo el de los autores estadounidenses. Finalmente, la desalinización podría ser la única opción viable para suministrar agua dulce con la capacidad de soportar las necesidades de la agricultura intensiva y las necesidades básicas de agua potable en regiones o países con altos índices de escases de agua. Por lo tanto, las investigaciones futuras en esta temática deberán tener en cuenta y superar las exigencias energéticas y las limitaciones tecnológicas actuales, con el fin de ampliar su utilización de manera masiva.

Referencias Bibliográficas

- Adham, S., Hussain, A., Matar, J. M., Does, R., y Janson, A. (2013). Application of Membrane Distillation for desalting brines from thermal desalination plants. *Desalination*, 314, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.01.003>
- Aguado-López, E., Rogel-Salazar, R., Garduño-Oropeza, G., Becerril-García, A., Zúñiga-Roca, M. F., Velázquez-Álvarez, A. (2009). Patrones de colaboración científica a partir de redes de coautoría Convergenia. *Revista de Ciencias Sociales*, 16, 225-258. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/105/10512244010.pdf>
- Ahmed, F. E., Hashaikeh, R., y Hilal, N. (2020). Hybrid technologies: The future of energy efficient desalination – A review. *Desalination*, 495, 114659. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114659>
- Aria, M., y Cuccurullo, C. (2021). Bibliometrix R Package. Recuperado de <https://www.bibliometrix.org/>
- Alkaisi, A., Mossad, R., & Sharifian-Barforoush, A. (2017). A Review of the Water Desalination Systems Integrated with Renewable Energy. In *Energy Procedia*, 110, 268–274. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.138>
- Chandrashekara, M., y Yadav, A. (2017). Water desalination system using solar heat: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 1308-1330. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.058>
- Elsevier B.V. (2021). Scopus preview -Scopus- Welcome to Scopus. Recuperado de <https://www.scopus.com/home.uri>
- Ellegaard, O., y Wallin, J. A. (2015). The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? *Scientometrics*, 105(3), 1809–1831. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1645-z>
- Esmailion, F. (2020). Hybrid renewable energy systems for desalination. *Applied Water Science*, 10(3), 1-47. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-1168-5>
- Feria-Díaz, J. J., López-Méndez, M. C., Rodríguez-Miranda, J. P., Sandoval-Herazo, L. C., y Correa-Mahecha, F. (2021a). Commercial thermal technologies for desalination of water from renewable energies: A state of the art review. *Processes*, 9, 262. <https://doi.org/10.3390/pr9020262>
- Feria-Díaz, J. J., Correa-Mahecha, F., López-Méndez, M. C., Rodríguez-Miranda, J. P., Barrera-Rojas, J. (2021b). Recent Desalination Technologies by Hybridization and Integration with Reverse Osmosis: A Review. *Water*, 13, 1369. <https://doi.org/10.3390/w13101369>
- Goh, P. S., Matsuura, T., Ismail, A. F., y Hilal, N. (2016). Recent trends in membranes and membrane processes for desalination. *Desalination*, 391, 43–60. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.12.016>
- Goh, P. S., Matsuura, T., Ismail, A. F., y Ng, B. C. (2017). The Water–Energy Nexus: Solutions towards Energy-Efficient Desalination. *Energy Technology*, 5(8), 1136-1155. <https://doi.org/10.1002/ente.201600703>
- Goh, P. S., Kang, H. S., Ismail, A. F., y Hilal, N. (2021). The hybridization of thermally-driven desalination processes: The state-of-the-art and opportunities. *Desalination*, 506, 115002. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115002>
- González, D., Amigo, J., & Suárez, F. (2017). Membrane distillation: Perspectives for sustainable and improved desalination. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 238-259. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.078>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, M. del P., y Baptista Lucio, P.

- (2014). *Metodología de la Investigación* (6a Ed.). Ciudad de México, México: McGraw-Hill.
- IOC/UNESCO, IMO, FAO, y UNDP. (2011). *A Blueprint for Ocean and Coastal Sustainability. United Nations Conference on Sustainable Development (Rio+20)* (p. 42). Paris. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24081670>
- Kahil, T., Albiac, J., Fischer, G., Stokol, M., Tramberend, S., Greve, P., ... Wada, Y. (2019). A nexus modeling framework for assessing water scarcity solutions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 40, 72-80. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.09.009>
- Kesieme, U. K., Milne, N., Aral, H., Cheng, C. Y., y Duke, M. (2013). Economic analysis of desalination technologies in the context of carbon pricing, and opportunities for membrane distillation. *Desalination*, 323, 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.03.033>
- Khoshgoftar Manesh, M. H., Ghalami, H., Amidpour, M., y Hamed, M. H. (2013). Optimal coupling of site utility steam network with MED-RO desalination through total site analysis and exergoeconomic optimization. *Desalination*, 316, 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.01.022>
- Latour, B. (1992). *Ciencia en acción. Cómo seguir a los científicos e ingenieros a través de la sociedad*, Madrid, España: Labor.
- Lee, G., Kim, H.-W., Boo, C., Beak, Y., Kwak, R., ... Jeong, S. (2021). Bibliometric analysis of twenty-year research trend in desalination technologies during 2000-2020. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, 35(1), 39–52. <https://doi.org/10.11001/jksww.2021.35.1.039>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., ... Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: Explanation and elaboration. *PLoS Medicine*, 6(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>
- Luukkonen, T., Tijssen, R. J. W., Persson, O., y Sivertsen, G. (1993). The measurement of international scientific collaboration. *Scientometrics*, 28(1), 15–36. <https://doi.org/10.1007/BF02016282>
- Melero, P. R. (2005). Acceso abierto a las publicaciones científicas: definición, recursos, copyright e impacto. *El Profesional de La Información*, 14(4), 255–266. <https://doi.org/10.3145/epi.2005.jul.03>
- Mendeley Ltd. (2021). Mendeley Reference Manager, Mendeley. Recuperado de <https://www.mendeley.com/reference-management/reference-manager/>
- Mendoza, S., & Paravic Klijn, T. (2006). Origen, clasificación y desafíos de las revistas científicas. *Investigación y Postgrado*, 21(1), 49–76.
- Microsoft. (2021). Software de hojas de cálculo Microsoft Excel, Microsoft 365. Recuperado de <https://www.microsoft.com/es-co/microsoft-365/excel?rtc=1>
- Misdan, N., Lau, W. J., y Ismail, A. F. (2012). Seawater Reverse Osmosis (SWRO) desalination by thin-film composite membrane-Current development, challenges and future prospects. *Desalination*, 287, 228–237. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.11.001>
- Nassrullah, H., Anis, S. F., Hashaikeh, R., y Hilal, N. (2020). Energy for desalination: A state-of-the-art review. *Desalination*, 491, 114569. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114569>
- Nayar, K. G., Sharqawy, M. H., Banchik, L. D., y Lienhard, J. H. (2016). Thermophysical properties of seawater: A review and new correlations that include pressure dependence. *Desalination*, 390, 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.02.024>

- Nchinda, T. C. (2002). Research capacity strengthening in the South. *Social Science and Medicine*, 54(11), 1699–1711. [https://doi.org/10.1016/S0277-9536\(01\)00338-0](https://doi.org/10.1016/S0277-9536(01)00338-0)
- Ophir, A., y Lokiec, F. (2005). Advanced MED process for most economical sea water desalination. *Desalination*, 182(1–3), 187–198. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.02.026>
- RStudio, P. (2021). About RStudio - RStudio. Recuperado de <https://www.rstudio.com/about/>
- Salgado, J. F., y Páez, D. (2007). La productividad científica y el índice H de Hirchs de la psicología social española: convergencia entre indicadores de productividad y comparación con otras áreas. *Psicothema*, 19(2), 179-189. Recuperado de <https://reunido.uniovi.es/index.php/PST/article/view/8564/8428>.
- Shaffer, D. L., Arias Chavez, L. H., Ben-Sasson, M., Romero-Vargas Castrillón, S., Yip, N. Y., y Elimelech, M. (2013). Desalination and reuse of high-salinity shale gas produced water: Drivers, technologies, and future directions. *Environmental Science and Technology*, 43, 9569-9583. <https://doi.org/10.1021/es401966e>
- Shahzad, M. W., Ng, K. C., Thu, K., Saha, B. B., y Chun, W. G. (2014). Multi effect desalination and adsorption desalination (MEDAD): A hybrid desalination method. *Applied Thermal Engineering*, 72(2), 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.03.064>
- Shahzad, M. W., Burhan, M., Ang, L., y Ng, K. C. (2017). Energy-water-environment nexus underpinning future desalination sustainability. *Desalination*, 413, 52-64. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.03.009>
- Shahzad, M. W., Burhan, M., Ybyraiymkul, D., y Ng, K. C. (2019). Desalination processes' efficiency and future roadmap. *Entropy*, 21, 84. <https://doi.org/10.3390/e21010084>
- Susanto, H. (2011). Towards practical implementations of membrane distillation, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50(2), 139-150. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2010.12.008>.
- Tamayo y Tamayo, M. (2011). *El proceso de la investigación científica* (5a Ed.). Ciudad de México, Mexico: Limusa.
- UN-Water. (2021). *Summary Progress Update 2021 – SDG 6 – water and sanitation for all*. Version: July 2021. Geneva, Switzerland. Recuperado de <https://www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-for-all/>
- Urrutia, G., y Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistematicas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507–511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Universidad de Huelva. (2021). Índice H -Evaluación de la Investigación-. Recuperado de <https://guiasbuh.uhu.es/c.php?g=655120&p=4605523>
- Web of Science. (2021). Web of Science Master Journal List - WoS MJL by Clarivate. Recuperado de <https://mjl.clarivate.com/home>
- Wu, X., Robson, M. E., Phelps, J. L., Tan, J. S., Shao, B., Owens, G., y Xu, H. (2019). A flexible photothermal cotton-CuS nanocage-agarose aerogel towards portable solar steam generation. *Nano Energy*, 56, 708–715. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2018.12.008>
- Xiao-jun, W., Jian-yun, Z., Shahid, S., Xing-hui, X., Rui-min, H., y Man-ting, S. (2014). Catastrophe theory to assess water security and adaptation strategy in the context of environmental change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(4), 463–477. <https://doi.org/10.1007/s11027-012-9443-x>

- Yang, L., Guo, H., Chen, H., He, L., y Sun, T. (2018). A bibliometric analysis of desalination research during 1997-2012. *Water Conservation and Management*, 2(1), 18-23. <https://doi.org/10.26480/wcm.01.2018.18.23>
- Zapata-Sierra, A., Cascajares, M., Alcayde, A., y Manzano-Agugliaro, F. (2022). Worldwide research trends on desalination. *Desalination*, 519, 115305. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115305>
- Zhao, K., Heinzl, W., Wenzel, M., Büttner, S., Bollen, F., Lange, G., ... Sarda, N. (2013). Experimental study of the memsys vacuum-multi-effect-membrane-distillation (V-MEMD) module. *Desalination*, 323, 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.12.003>
- Zheng, Y., Caceres Gonzalez, R. A., Hatzell, K. B., y Hatzell, M. C. (2021). Large-scale solar-thermal desalination. *Joule*, 5(8), 1971-1986. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.07.005>
- Zyoud, S. H., y Fuchs-Hanusch, D. (2015). Estimates of Arab world research productivity associated with desalination: a bibliometric analysis. *IDA Journal of Desalination and Water Reuse*, 7(1–4), 3–16. <https://doi.org/10.1179/2051645215y.0000000001>