

## La significación práctica de la Ecohidrología: un análisis de su potencial para el estudio de cuencas hidrográficas

*The practical significance of Ecohydrology: an analysis of its potential for the study of hydrographic basins*

**Alina de la Caridad Morell Bayard**

Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO)

Santiago de Cuba, Cuba

morellalina3@gmail.com, alina@bioeco.cu

 ORCID: 0000-0002-5263-0341

**Liliana Gómez Luna**

Universidad de Oriente

Santiago de Cuba, Cuba

lilianag@uo.edu.cu

 ORCID: 0000-0002-1282-3392

### Información del artículo

**Recibido:** 16/05/2022

**Revisado:** 23/08/2023

**Aceptado:** 14/09/2023

**ISSN** 2340-8472

**ISSNe** 2340-7743

**DOI** 10.17561/at.24.7127

 CC-BY

© Universidad de Jaén (España).  
Seminario Permanente Agua, Territorio y Medio Ambiente (CSIC)

### RESUMEN

La Ecohidrología ha abierto un amplio espectro en las investigaciones y soluciones para complejos problemas ambientales en ecosistemas acuáticos. Este artículo analiza principales avances, tendencias e interacciones con el componente social, haciendo énfasis en las aplicaciones prácticas para dar soluciones funcionales a problemáticas de los recursos hídricos. Se realiza una revisión crítico-analítica de 1.592 artículos publicados entre 1997 y 2019, compilados con el software Harzing's Publish or Perish 5. Se identifica una tendencia hacia las investigaciones sobre gestión del agua, Ecohidrología fluvial, en sistemas áridos y semiáridos; servicios ecosistémicos en cuencas hidrográficas y Ecohidrología y vegetación. El análisis permitió identificar posibles soluciones aplicables a la cuenca San Juan, Santiago de Cuba, como el empleo de fito y faunotecnologías, y el mantenimiento del caudal ambiental.

**PALABRAS CLAVE:** Cuencas Hidrográficas, Cuenca San Juan, Ecohidrología, Ecosistemas Acuáticos, Hidroecología.

### ABSTRACT

Ecohydrology has opened up a wide spectrum for research and solutions to complex environmental problems in aquatic ecosystems. This article analyzes the main advances, trends and interactions with the social component, emphasizing practical applications to provide functional solutions to water resources problems. A critical-analytical review of 1.592 articles published between 1997 and 2019, compiled with Harzing's Publish or Perish 5 software, was carried out. A trend towards research on water management, fluvial Ecohydrology in arid and semi-arid systems, ecosystem services in watersheds, and Ecohydrology and vegetation is identified. The analysis allowed the identification of possible solutions applicable to the San Juan basin, in Santiago de Cuba, such as the use of phyto and faunotechnologies and the maintenance of the environmental flow.

**KEYWORDS:** Hydrographic Basins, San Juan Basin, Ecohydrology, Aquatic Ecosystems, Hydroecology.

## ***O significado práctico da Ecohidrologia: uma análise do seu potencial para o estudo de bacias hidrográficas***

### **RESUMO**

A ecohidrologia abriu um amplo espectro de pesquisas e soluções para problemas ambientais complexos em ecossistemas aquáticos. Este artigo analisa os principais avanços, tendências e interações com o componente social, enfatizando aplicações práticas para fornecer soluções funcionais para problemas de recursos hídricos. É realizada uma revisão crítico-analítica de 1.592 artigos publicados entre 1997 e 2019, compilados com o software Harzing's Publish or Perish 5. Identifica-se uma tendência de pesquisa sobre gestão da água, Ecohidrologia fluvial, em sistemas áridos e semiáridos; serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas e, Ecohidrologia e vegetação. A análise permitiu identificar possíveis soluções aplicáveis na bacia de San Juan, Santiago de Cuba com o uso de fito e faunotecnologias, y la manutenção do fluxo ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bacias Hidrográficas, Bacia de San Juan, Ecohidrologia, Ecossistemas Aquáticos, Hidroecologia.

## ***L'importance pratique de l'écohydrologie : une analyse de son potentiel pour l'étude des bassins versants***

### **RÉSUMÉ**

L'écohydrologie a ouvert un large spectre de recherche et de solutions aux problèmes environnementaux complexes des écosystèmes aquatiques. Cet article analyse les principales avancées, tendances et interactions avec la composante sociale, en mettant l'accent sur les applications pratiques pour apporter des solutions fonctionnelles aux problèmes de ressources en eau. Une revue critique-analytique de 1.592 articles publiés entre 1997 et 2019, compilés avec

les logiciels Publish ou Perish 5 de Harzing, est réalisée. Une tendance vers la recherche sur la gestion de l'eau, l'écohydrologie fluviale, dans les systèmes arides et semi-arides est identifiée; les services écosystémiques dans les bassins versants et, écohydrologie et végétation. L'analyse a permis d'identifier des solutions possibles applicables dans le bassin de San Juan, Santiago de Cuba comme l'utilisation de phyto et faune-technologies technologies, et le maintien du flux environnemental.

**MOTS CLÉ:** Bassins Hydrographiques, Bassin de San Juan, Écohydrologie, Écosystèmes Aquatiques, Hydroécologie.

## ***Il significato pratico dell'Ecoidrologia: un'analisi del suo potenziale per lo studio dei bacini fluviali***

### **RIASUNTO**

L'ecoidrologia ha aperto un ampio spettro nella ricerca e soluzioni per problemi ambientali complessi negli ecosistemi acquatici. Questo articolo analizza i principali progressi, tendenze e interazioni con la componente sociale, sottolineando le applicazioni pratiche per fornire soluzioni funzionali ai problemi delle risorse idriche. Viene effettuata una revisione critico-analitica di 1.592 articoli pubblicati tra il 1997 e il 2019, compilata con il software Harzing's Publish or Perish 5. Viene individuata una tendenza verso la ricerca sulla gestione dell'acqua, l'ecoidrologia fluviale, nei sistemi aridi e semiaridi; servizi ecosistemici nei bacini idrografici e, Ecoidrologia e vegetazione. L'analisi ha permesso di identificare possibili soluzioni applicabili nel bacino di San Juan, Santiago de Cuba come l'uso di fitotecnologie, fauno-tecnologie e il mantenimento del flusso ambientale.

**PAROLE CHIAVE:** Bacini Idrografici, Bacino di San Juan, Ecoidrologia, Ecosistemi Acquatici, Idroecologia.

## Introducción

El desarrollo de grandes obras de tecnología e ingeniería utilizadas para aprovechar el potencial de servicio del agua ha derivado tanto en resultados positivos como negativos. Algunas prácticas de manejo y utilización de recursos hídricos han causado consecuencias negativas, como es el represamiento del agua proveniente de los ríos para la producción de energía eléctrica, el riego, actividades de turismo acuático, entre otros usos que, lamentablemente, provocan al mismo tiempo la afectación de procesos ecológicos y del movimiento de nutrientes a lo largo de los caudales. En algunos casos, se afectan incluso de forma irreversible los ciclos de vida y reproductivos de algunas especies acuáticas, o bien se favorece la contaminación, con su consiguiente eutrofización de las aguas<sup>1</sup>.

El crecimiento exponencial de la población, asociado a la contaminación, es una de las causas de la afectación de la salud de los ecosistemas acuáticos, a lo que se suman los pronósticos poco alentadores del efecto del cambio climático, lo que exige a la comunidad científica, y tomadores de decisión, la búsqueda de soluciones ante las limitaciones de agua, tanto por su cantidad como por la calidad. Ante esta preocupación emergen términos como Hidroecología y Ecohidrología, que implican el desarrollo de investigaciones en la interfase entre las ciencias hidrológicas y la Ecología, para dar soluciones funcionales y creativas a las complejas problemáticas ambientales de los ecosistemas acuáticos, en función de su conservación y la del recurso agua<sup>2</sup>.

Cualquiera de estas definiciones considera, en última instancia, los campos de acción de ambas disciplinas científicas, y su impacto en las investigaciones sobre los ecosistemas acuáticos, aun cuando el uso de ambos términos se realice de forma indistinta, y en la práctica tenga diferente significación<sup>3</sup>.

Desde el punto de vista etimológico los prefijos “eco” e “hidro” modifican las palabras hidrología o ecología, respectivamente, indicando que la disciplina debe ser más sobre Hidrología en el primer caso y sobre Ecología en el segundo; sin embargo, en la práctica, los ecólogos hacen referencia mayormente a la Ecohidrología, mientras que los hidrólogos a la Hidroecología<sup>4</sup>. Otro aspecto influyente es el idioma, por el matiz que puede añadir

a este dilema, ya que, por ejemplo, en francés “Hydro-ecologie” se traduce como ecología acuática, que incluye el estudio de ecosistemas dulceacuícolas, salobres, y marino-costeros<sup>5</sup>, demostrando que aún existen vacíos al definir las interacciones entre ambas disciplinas.

El marco del Programa Hidrológico Internacional IHP-V estructura la definición de Ecohidrología<sup>6</sup> con gran aceptación por su alcance y aplicabilidad, proponiéndose esta como la ciencia que emerge a partir de técnicas ancestrales, y estudia las complejas interrelaciones funcionales entre la hidrología y la biota a escala de cuenca, considerando el aporte de todas las disciplinas involucradas. Sin embargo, la definición fue adoptada en el contexto del manejo del recurso agua y su conservación biológica, particularmente en términos de evaluación de las respuestas de los ecosistemas acuáticos al estrés hídrico por causas antrópicas o naturales.

En 2002 Zalewski la redefine como la tercera fase del desarrollo de la Ecología, desde la historia natural descriptiva de Linneo, pasando por el entendimiento de los procesos e interacciones, hasta el control y manipulación de los procesos ecológicos en función de mejorar la calidad de los bienes y servicios ecosistémicos. Emerge entonces la necesidad de asumir un enfoque cualitativamente superior<sup>7</sup>, en el que los límites de las disciplinas individuales no se visualicen al abordar desde una perspectiva integrada el objeto a investigar, para dar soluciones definitivas y perdurables a los complejos problemas que se enfrentan, lo que va más allá de la discusión teórica, pues implica transformaciones en la manera de actuar.

Los primeros estudios ecohidrológicos se relacionaron con los humedales y los factores hidrológicos que determinan su desarrollo natural<sup>8</sup>, identificándose como limitación la unidireccionalidad y limitado campo de acción, al centrar los estudios en las relaciones planta-agua en ecosistemas terrestres y/o acuáticos<sup>9</sup>. A partir de 1999, se desarrollan estudios que relacionan las interacciones ecohidrológicas en zonas áridas, semiáridas, bosques, ríos, arroyos y sistemas lacustres, evidenciándose la no inclusión de los ecosistemas marinos, ni del importante papel que juegan los estudios hidrológicos en las poblaciones tanto de plantas como de animales, denotándose una evolución, a pesar de los vacíos temáticos.

Los problemas ambientales de los ecosistemas acuáticos son complejos, siendo agravados por el

<sup>1</sup> Albarracín *et al.*, 2018, 24.

<sup>2</sup> Guswa *et al.*, 2020. UNESCO, 2022.

<sup>3</sup> Zalewski Maciej, 2011.

<sup>4</sup> Dunbar; Acreman, 2001.

<sup>5</sup> Hannah; Wood; Sadler, 2004.

<sup>6</sup> UNESCO, 1997.

<sup>7</sup> Zalewski, 2002.

<sup>8</sup> Albarracín *et al.*, 2018.

<sup>9</sup> Wassen; Grootjans, 1996.

hecho de que cada red hidrográfica, como resultado de características específicas y factores morfoestructurales<sup>10</sup>, geomorfológicas, climáticas, biológicas, culturales, demográficas y las actividades económicas que se desarrollan es prácticamente única. La degradación de los ecosistemas de agua dulce y los recursos hídricos están relacionados con la contaminación, la interrupción de los ciclos del agua y el reciclaje de nutrientes, todos asociados en mayor o menor intensidad con la variabilidad climática, y la influencia de los efectos del cambio climático<sup>11</sup>. El análisis de cada proceso puede ser llevado a cabo a través del establecimiento de redes hidrológicas o de drenaje, ubicadas en diferentes puntos de una cuenca, con características hidrológicas basadas en la elevación, precipitación, evapotranspiración y caudal, que facilitan la obtención de datos para estudios del régimen hidrológico<sup>12</sup>; sin embargo, la Ecohidrología concibe un análisis integrador, de mayor alcance.

La contaminación, uno de los problemas clave de los ecosistemas acuáticos, puede ser tratada con la utilización de tecnologías apropiadas; mientras que la degradación de estos ecosistemas resulta mucho más compleja, al incluir en el análisis cómo se alteran los ciclos de nutrientes establecidos evolutivamente, la destrucción de la estructura biótica a nivel ecosistémico, tanto en el río como a nivel de la cuenca. Se hace necesario entonces un abordaje integrado de la problemática a nivel del ecosistema para mejorar la comprensión de estos procesos, sentando las bases necesarias para el entendimiento de la regulación de la dinámica de nutrientes; de la interacción de problemas que conducen a la degradación del ecosistema, sus bienes y servicios, y, en última instancia, la mejora de la resiliencia de estos ecosistemas al impacto humano.

La cuenca hidrográfica, definida como una unidad espacial ecogeográfica vulnerable a los cambios del clima, es una zona geográfica relevante para analizar los procesos ambientales, con mayor significación en términos de planificación territorial y los asuntos ambientales clave para enfrentar la pérdida de integridad de los subsistemas que componen dicha unidad, entre los que se han identificado: la deforestación, contaminación de las aguas, eutrofización, degradación de los suelos, pérdida de la diversidad biológica, crecimiento poblacional e industrial acelerado, pérdida de la vegetación y disminución

en la disponibilidad del agua<sup>13</sup>, así como afectaciones en la conectividad de los ecosistemas y el paisaje.

Es considerada entonces la cuenca hidrográfica como unidad básica para la gestión integrada de los recursos hídricos, puede estar conformada por una o varias cuencas hidrológicas, pero se enfoca más en el agua superficial. La cuenca hidrológica es reconocida como la cavidad natural, delimitada por las alturas topográficas, en la que convergen precipitaciones y escurrimientos hacia una corriente principal y, finalmente, llega a un punto común de salida; esta incluye el flujo de agua subterránea y la recarga y descarga de acuíferos<sup>14</sup>. Su gestión adecuada es esencial para garantizar disponibilidad y calidad del agua para el consumo humano, la agricultura, la industria y la conservación ambiental.

En el ámbito social, mientras mayor sean las demandas sobre los ecosistemas, en términos de la intensidad del uso de los recursos, estos resultan menos sostenibles. En las últimas décadas se ha incrementado drásticamente la escala de utilización de los recursos naturales; si bien la conciencia ambiental ha propiciado cambios discretos en función de disminuir las presiones sobre los ecosistemas<sup>15</sup>. Es importante remarcar la conectividad entre los objetivos de desarrollo en función de la sostenibilidad de los recursos. Cualquiera sea el análisis, la unidad de planificación y gestión de los recursos hídricos debe ser manejada para garantizar no solo la disponibilidad y calidad del agua para usos múltiples y sostenibles, sino la protección y sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos, sus bienes y servicios.

La Ecohidrología incluye, de manera esencial, la relación e interdependencia entre el ecosistema y el componente sociocultural (Figura 1).

Los cuatro puntos cardinales que determinan los vínculos y las interacciones entre el ser humano y su entorno permanecen inalterables a pesar de los grandes cambios que han tenido lugar en dicha relación: población, medio ambiente, organización social y tecnología. Esto constituye la base de análisis de la Ecología humana.

El objetivo de este artículo es el análisis de los principales avances y tendencias de la Ecohidrología, y su interacción con el componente social, haciendo énfasis en sus aplicaciones prácticas para la solución de las problemáticas a nivel de cuencas hidrográficas, específicamente en la cuenca San Juan, cuenca de interés para la provincia de Santiago de Cuba, donde confluyen múltiples problemas.

<sup>10</sup> García de la Vega, 2012.

<sup>11</sup> Nazari-Sharabian; Ahmad; Karakouzian, 2018. Arheimer *et al.*, 2005.

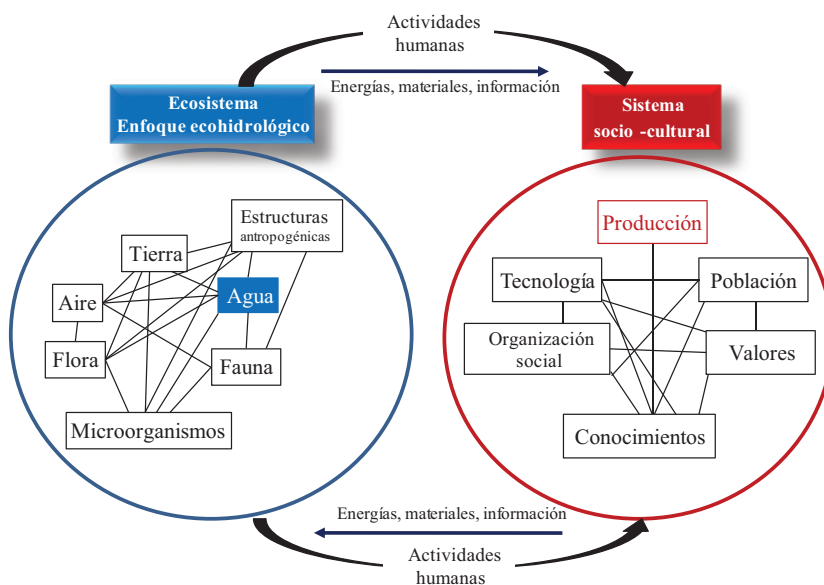
<sup>12</sup> Samaniego, 2020.

<sup>13</sup> González *et al.*, 2016.

<sup>14</sup> González *et al.*, 2016.

<sup>15</sup> Marten Gerald, 2001.

Figura 1. La Ecohidrología desde la perspectiva de la Ecología humana



Fuente: Human Ecology: Basic Concepts for Sustainable Development (Gerald Marten, 2001).

## Materiales y métodos

La metodología utilizada para el tratamiento de los datos en función del análisis bibliométrico y exploratorio fue seleccionada a partir de una compilación de las revisiones de varios autores<sup>16</sup>. Para identificar la literatura primaria sobre Ecohidrología como tema principal, y sus tendencias, se realizó una búsqueda sistemática utilizando el software Harzing's Publish or Perish 5. El diagrama con la estrategia metodológica para el desarrollo de la revisión crítico-analítica se presenta en la Figura 2.

Se realizaron búsquedas de artículos científicos entre 1997 y 2019, utilizando Google Scholar y Crossref. El total de artículos compilados fue de 1974, seleccionando de estos 1.592, a partir de criterios de inclusión preestablecidos y la eliminación de duplicados o trabajos con referencias incompletas. Fueron seleccionados artículos escritos en idioma español, francés, inglés y/o portugués.

Se procedió a la lectura de los títulos y el análisis de los resúmenes para realizar la clasificación por temáticas.

Se consideraron los siguientes indicadores para el análisis de los artículos seleccionados:

- Indicadores bibliométricos
  - Total de artículos y distribución por año
  - Distribución de documentos por países
  - Distribución de artículos por temas

Artículos, autores y países más citados

Distribución de artículos por revistas

- Indicadores de contenido: temas (principales y en tendencia)
- Indicadores de contenido específico: *análisis de la investigación ecohidrológica centrada en cuencas hidrográficas. Definición del término Principales resultados*

Para el desarrollo de contenidos específicos se realizaron de forma complementaria viajes exploratorios por la cuenca San Juan, para confirmar las problemáticas existentes y la evaluación de parámetros físico-químicos. Se realizó un diagrama de Ishikawa para determinar el problema fundamental, sus causas e impactos.

## Resultados, análisis y discusión

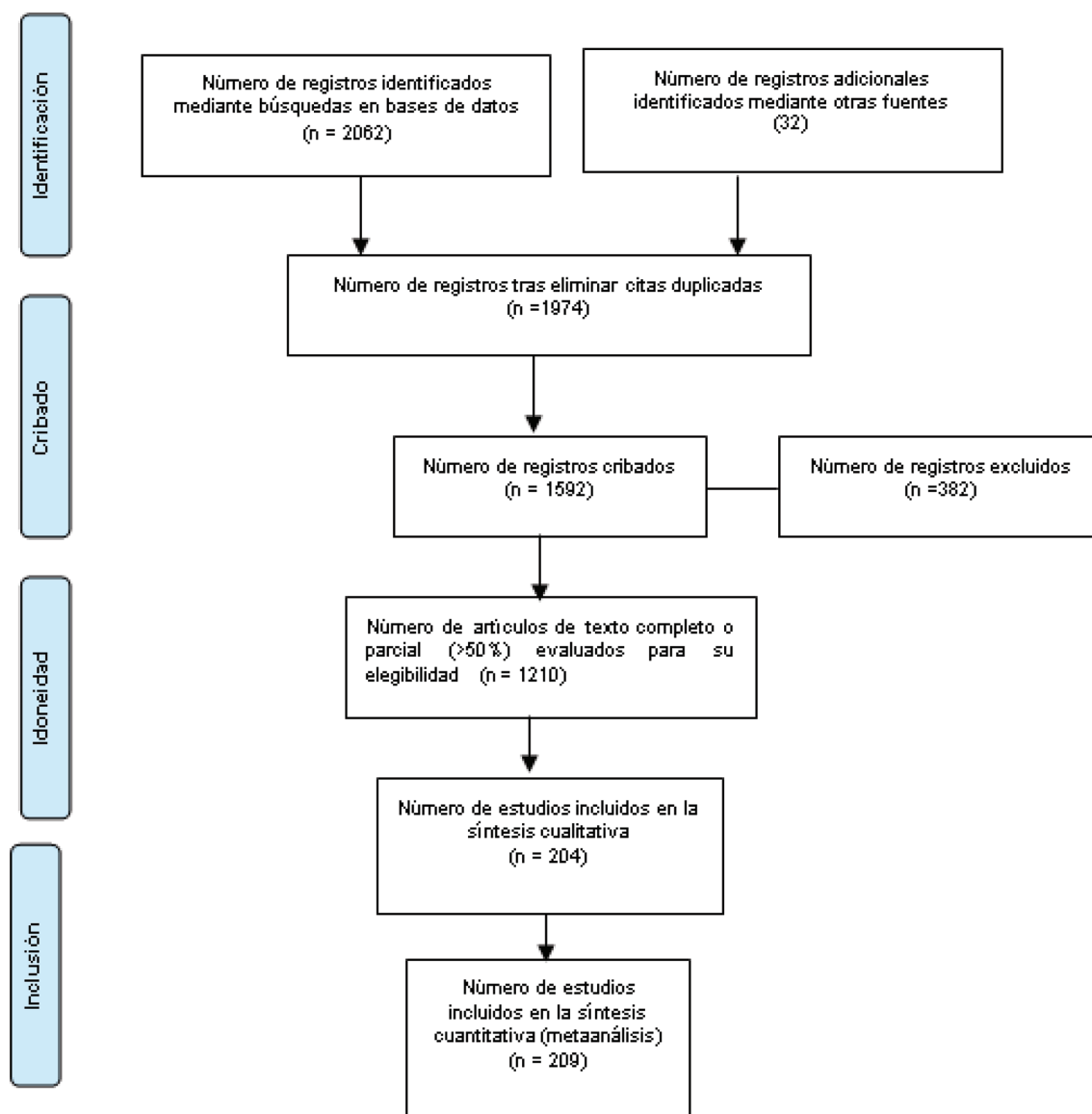
### Resultados del análisis bibliométrico

La evaluación del número de publicaciones por año permitió identificar una tendencia incremental con crecimiento exponencial. Un análisis tendencial más detallado de las publicaciones seleccionadas ( $n=1.592$ ) se observa al analizar este total distribuido en cuatro períodos (Figura 3), siendo el período 2015-2019 el de mayor producción científica con 1.258 artículos (63.7 %). Durante todo el tiempo se manifiesta una tendencia creciente en las investigaciones sobre Ecohidrología, quedando conformada la base de datos con 1.592 docu-

<sup>16</sup> Marín-Martínez; Sánchez-Meca, 2009. Sánchez-Meca; Marín-Martínez; López-López, 2011.



Figura 2. Diagrama estratégico con los principales pasos desde la compilación hasta el análisis



Fuente: elaboración propia.

mentos con los que se trabaja de forma más detallada para elaborar la revisión.

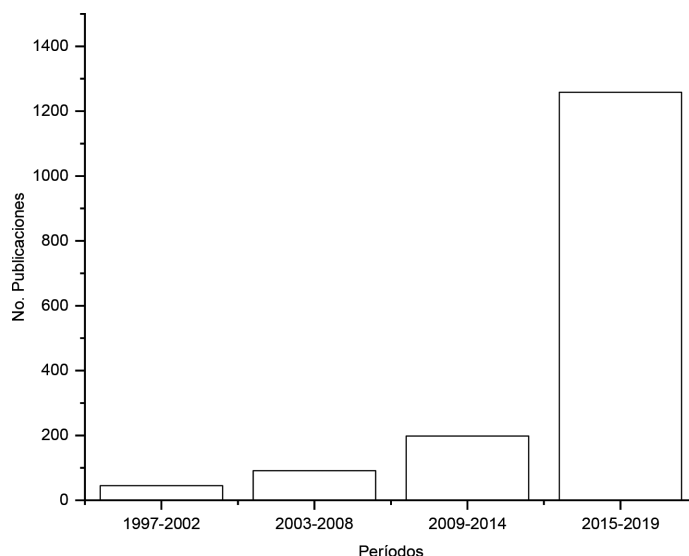
Diverso fue el origen de las publicaciones en cuanto al país de procedencia. Se identifican un total de 35 países, siendo Estados Unidos el país con mayor cantidad de publicaciones (79,1 %), seguido por China (3,8 %), Australia (3,1 %), Reino Unido (2,8 %) y Canadá (2,0 %), países que concentran el 90 % de la producción científica en la temática, dentro de los datos revisados (Tabla 1). En este análisis aparece Cuba solo con 2 artículos que corresponden a los autores Martínez; Villalejo, ambos en el último período de análisis, denotando limitaciones en la aplicación de este enfoque en contexto.

El análisis de las temáticas de los trabajos publicados sobre Ecohidrología constituye un aspecto relevante

para el desarrollo y argumentación de futuras investigaciones, con la intención de buscar respuestas a desafíos locales. Se identifican ocho grandes temas de investigación (Tabla 2), siendo significativamente mayor la cantidad de artículos publicados en relación con el manejo de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos (33,3 %), seguido por la Ecohidrología fluvial: régimen de flujo hídrico y dinámica de procesos fluviales (21,5 %), Ecohidrología en sistemas áridos y semiáridos (10,2 %), servicios ecosistémicos en cuencas hidrográficas (9,3 %), Ecohidrología y vegetación (8,4 %).

Una valoración general demostró que las publicaciones referidas al surgimiento de la Ecohidrología como ciencia y sus principios fueron el punto de partida de muchos de los trabajos revisados, derivando sus

Figura 3. Variación del número de artículos publicados entre 1997 y 2019 por períodos (n=1.592)



Fuente: elaboración propia.

resultados en el vínculo de acciones, propuestas estratégicas y asuntos concernientes a la gestión, aplicados su mayoría en cuencas hidrográficas.

Tabla 1. Distribución de artículos publicados en Ecohidrología por países

Países	Cantidad de artículos publicados
Estados Unidos	1260
China	60
Australia	50
Reino Unido	45
Canadá	30
Japón	25
México	20
Alemania	14
Argentina	13
España, Brasil	7
Austria, Polonia	6
Tanzania, Eslovaquia, Nueva Zelanda	5
Suiza	4
Francia	3
Bélgica, Gana, Corea, Cuba, Ecuador	2
Indonesia, Honduras, Grecia, Etiopía, Irán, Portugal, Chile, Venezuela, Suecia, Dinamarca, Holanda, Perú	1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Temáticas de investigación en relación con la Ecohidrología y patrón de distribución de artículos (n=1.592)

N.º	Temáticas principales	N.º de artículos
1.	Manejo de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos	530
2.	Ecohidrología fluvial: régimen de flujo hídrico y dinámica de procesos fluviales	342
3.	Ecohidrología en sistemas áridos y semiáridos	163
4.	Servicios ecosistémicos en cuencas hidrográficas	149
5.	Ecohidrología y vegetación	133
6.	Dinámica de nutrientes y sedimentos en ecosistemas acuáticos	103
7.	Ecohidrología en humedales y estuarios	88
8.	Ecohidrología y cambio climático	84
<b>Total</b>		<b>1.592</b>

Fuente: elaboración propia.

Entre 1997 y 2005 se publican al menos doce artículos cuyo propósito fue dar a conocer la existencia de la Ecohidrología como ciencia, su definición y premisas<sup>17</sup>, se introduce la explicación de la dinámica de la vegetación en relación con los recursos hídricos<sup>18</sup>, y se explica la influencia de la variabilidad climática sobre la estabilidad y conservación de los recursos hídricos

<sup>17</sup> Zalewski, 2005.

<sup>18</sup> Gómez, 2003. Bailey, 1999.

con sistemas de modelación para los ecosistemas fluviales<sup>19</sup>.

Entre 2006 y 2019 se diversifican las temáticas de investigación; se observa un mayor intercambio de los resultados científicos, visualizados a través del desarrollo de talleres, programas y eventos<sup>20</sup>. Son definidas en diversos ecosistemas áreas de trabajo demostrativas en diferentes partes del mundo (cuencas hidrográficas, humedales, lagos, estuarios) poniéndose en práctica la aplicación de instrumentos ecohidrológicos al estudio de caudales ecológicos, dinámica de nutrientes, influencia de los cambios climáticos, dinámica de la vegetación, resiliencia, biodiversidad, importancia de las riberas y el balance hídrico<sup>21</sup>.

Se muestran además propuestas de soluciones tecnológicas a las problemáticas encontradas y análisis de estas, sustentando el desarrollo de la Ecohidrología como ciencia encargada de la sostenibilidad y gestión de los recursos hídricos<sup>22</sup>. Un análisis de las publicaciones en los últimos 5 años (n=1.258; 2015-2019), permite definir las tendencias y el patrón de distribución de artículos (Tabla 3).

El manejo de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos fue el tema con mayor número de publicaciones (33 %) seguido por la Ecohidrología fluvial: régimen de

flujo hídrico y dinámica de procesos fluviales (21 %), la Ecohidrología de ecosistemas áridos y semiáridos (10 %), el estudio y valoración de los servicios ecosistémicos en cuencas hidrográficas (9 %), Ecohidrología y vegetación (8 %).

La selección de autores más citados se realizó teniendo en cuenta los 1.592 artículos revisados, considerando que el número de citas fuera superior a 200 (Tabla 4). El país de origen fue vinculado con la filiación del autor principal, resultando 10 trabajos representados por 5 países (Polonia, Italia, Reino Unido, Canadá y Estados Unidos).

Si bien el trabajo más citado en este campo es el libro de Eric Wolanski con 411 citas, que se inscribe en el área temática Ecohidrología en humedales y estuarios, probablemente el tema con más historia en esta disciplina lo aborda Zalewski, precursor del concepto de Ecohidrología como ciencia; el artículo más citado (253 citas) es de su autoría en 2002. Este artículo se inscribe en el tema: manejo de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos.

Zalewski es director del Centro Regional Europeo de Ecohidrología de la Academia de Ciencias de Polonia y presidente del Comité Directivo del Programa de Ecohidrología de la UNESCO. En la Tabla 5 se muestra su índice Hirsh (h) y el de los autores principales de los artículos con más de 200 citas. D'Odorico participa en 5 de los artículos más citados, y A. Porporato en 3. El índice Hirsh es una métrica que considera la productividad y el impacto de las publicaciones; un índice h de 50 representa que al menos 50 artículos han sido citados 50 veces<sup>23</sup>.

Para el análisis de la distribución por revistas se seleccionó una muestra de 872 artículos haciendo énfasis en los temas más relevantes por el número de publicaciones, privilegiando los últimos cinco años. Estos artículos aparecen publicados en 49 revistas, entre las que se incluyen las 14 de los 33 artículos más citados.

Las revistas y la cantidad de artículos publicados se muestran en la Tabla 6. Según su relevancia por cantidad de publicaciones, destaca Ecohydrology con 330 artículos, 10 de ellos con más de 100 citas. Al momento del análisis y en actualizaciones posteriores hasta el primer trimestre de 2023, el 68 % de los artículos (n=592) se publicó en revistas de alto impacto, lo que evidencia su visibilidad.

**Tabla 3. Temáticas de investigación en el último quinquenio en relación con la Ecohidrología y distribución de la cantidad de artículos por temática**

N.º	Temáticas principales	N.º de artículos
1.	Manejo de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos	420
2.	Ecohidrología fluvial: régimen de flujo hídrico y dinámica de procesos fluviales	269
3.	Ecohidrología en sistemas áridos y semiáridos	128
4.	Servicios ecosistémicos en cuencas hidrográficas	118
5.	Ecohidrología y vegetación	104
6.	Dinámica de nutrientes y sedimentos en ecosistemas acuáticos	84
7.	Ecohidrología en humedales y estuarios	69
8.	Ecohidrología y cambio climático	66
<b>Total</b>		<b>1.258</b>

Fuente: elaboración propia.

<sup>19</sup> Arduino, 2017b. Peteán, J., 2008. Quintero; Mejía, 2004.

<sup>20</sup> Gaviño, 2014. Saldaña, 2013.

<sup>21</sup> Allan; Castillo; Capps, 2007. Bernal; Donado, 2010. Garrido *et al.*, 2010. Wolanski, 2007.

<sup>22</sup> Azuara *et al.*, 2018.

<sup>23</sup> Gisbert; Panés, 2009.



Tabla 4. Autores y trabajos más citados por países, años y revistas o editorial

N.º de citas	Autor	Título de la publicación	País	Año	Revista/ Editorial
253	M. Zalewski	Ecohydrology: The use of ecological and hydrological processes for sustainable management of water	Polonia	2002	<i>Hydrological Sciences</i>
249	F. Borgogno, P. D'Odorico, F. Laio	Mathematical models of vegetation pattern formation in Ecohydrology	Italia	2009	<i>Geophysics</i>
242	A. Porporato, P. D'odorico, F. Laio, L. Ridolfi	Ecohydrology of water-controlled ecosystems	Italia	2002	<i>Water Resources Research</i>
231	A.J. Guswa, M.A. Celia	Models of soil moisture dynamics in Ecohydrology: A comparative study	Estados Unidos	2002	<i>Water Resources Research</i>
229	S.P. Good, D. Noone, G. Bowen	Hydrologic connectivity constrains partitioning of global terrestrial water fluxes	Estados Unidos	2015	<i>Water Resources Research</i>
222	D'Odorico, G.S. Okin, B.T. Bestelmeyer	A synthetic review of feedback and drivers of shrub encroachment in arid grasslands	Estados Unidos	2012	<i>Ecohydrology</i>
216	L. Turnbull, J. Wainwright	A conceptual framework for understanding semi-arid land degradation: Ecohydrological interactions across multiple-space and time scales	Reino Unido	2008	<i>Ecohydrology</i>
212	Krause, S., Hannah, D., Fleckenstein, J., Heppell, C., Kaeser, D., Pickup, R., Pinay, G., Robertson, A. Inter-disciplinary perspectives on processes in the hyporheic zone		Reino Unido	2011	<i>Ecohydrology</i>
209	Adams, H., Luce, C., Breshears, D., Allen, C., Weiler, M., Hale, V., Smith, A., Huxman, T.	Ecohydrological consequences of drought-and infestation-triggered tree die-off: insights and hypotheses	Estados Unidos	2012	<i>Ecohydrology</i>
202	Waddington, J., Morris, P., Kettridge, N., Granath, G., Thompson, D., Moore, P.	Hydrological feedback in northern peatlands	Canadá	2015	<i>Ecohydrology</i>

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Índice Hirsch del primer autor de los artículos con más de 200 citas, según Citas Google Base de Datos SCOPUS (19/07/2023)

N.º	Nombre del autor principal	Índice-Hirsh
1.	H. Adams	435
2.	P. D'Odorico	312
3.	M. Zalewski	186
4.	S. Krause	180
5.	J. Waddington	168
6.	A. Porporato	64
7.	L. Turnbull	45
8.	S.P. Good	27
9.	A.J. Guswa	21
10.	F. Borgogno	10

Fuente: elaboración propia.

El 75 % (442) en 14 revistas del cuartil 1 (Q1), el 5 % (29) en dos revistas en el cuartil 2 (Q2), el 15 % (89) en cuatro revistas del cuartil 3 (Q3) y el 5 % (32) en revistas del cuartil 4 (Q4) de esta área del conocimiento y/o afines.

La distribución por cuartiles es un proceso continuo y dinámico, que se actualiza regularmente, y garantiza estándares de calidad en las publicaciones científicas. Esta se realiza por áreas de conocimiento, estableciendo un ordenamiento de las revistas. Diferentes bases de datos pueden ordenar las revistas por cuartiles con diferentes resultados, lo que depende de los algoritmos e indicadores que consideren; además, pueden ordenar estas por factor de impacto, promedio de citas por año, entre otros. En este caso se consideraron los cuartiles establecidos por SCOPUS, que utiliza la metodología del promedio de citas por año; en estos momentos se encuentra en actualización<sup>24</sup>.

La existencia de revistas temáticas que publican trabajos relacionados con la Ecohidrología da una medida del interés en esta área del conocimiento científico, destacando la presencia de tres revistas que usan el término desde su propia concepción: *Ecohydrology*, *Ecohydrology and Hydrobiology* y *Dryland Ecohydrology*.

<sup>24</sup> SCOPUS, 2023.

Tabla 6. Distribución de los 872 artículos seleccionados por revistas

Revistas	Artículos publicados
Ecohydrology	330
Ecohydrology y Hydrobiology	50
Hydrological Processes	42
Water Resources Management	40
Water Resources Research	32
Dryland Ecohydrology	30
Journal of Hydrology	27
Freshwater Science	25
Soil and Water Research	24
Plant Ecology y Diversity	21
Journal of Water Resource and Protection	20
EGU General Assembly, Hydrology and Water Resource	18
American Geophysical Union, Hydrology Research	15
Springer Series on Environmental Management, Technical Report	12
Environmental Science y Technology, Journal of Hydraulic Research	10
Environmental Science, River research and Applications	8
Hydrology and Earth System Sciences, Limnology and oceanography: Methods	7
Journal of Glaciology and Geocryology	6
Tree Physiology, Geophysical Research, AoB Plants, Science of The Total Environment, Biología, Quaternary Science Reviews, Geomorpho-logy, Journal of Applied Sciences, Limnologica, Nature Climate Change, New Phytologist	5
Engineering and Ecohydrology, Asia-Pacific Journal of Earth Sciences, International Journal of Sustainable Lighting, Biodiversity in Ecosystem, Journal of Environmental Quality, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Earth-Science Reviews, Developments in Earth Surface Processes, Coasts and Estuaries, Continental Shelf Research, Journal Sumberdaya Lahan, Geophysics, Irish Geographay, Natio-nal Science Review	3

Fuente: elaboración propia.

Análisis de la investigación ecohidrológica centrada en cuencas hidrográficas

Una de las primeras referencias sobre Ecohidrología fue definida por la UNESCO en 1999 como una nueva aproximación a la restauración y gestión sostenible de los recursos hídricos, explicando que la misma provee una herramienta para la administración de la degradación ecológica del agua y los procesos en la superficie. La Ecohidrología fue considerada un nuevo paradigma, al permitir un análisis integrado de dos aspectos clave para los ecosistemas acuáticos, fusión que no es solo terminológica, sino conceptual. En los sistemas acuáticos, esta ciencia busca entender la regulación dual entre los procesos hidrológicos y ecológicos, con la integración de conocimientos en función de soluciones innovadoras;

este tema ha sido mentado en 190 de los artículos revisados<sup>25</sup>.

En el “Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos: soluciones basadas en la naturaleza (SbN) para la gestión del agua”, de 2018, la Ecohidrología fue considerada como una ciencia dentro de los conceptos compatibles con esta definición, explicando que debe regirse por tres principios básicos<sup>26</sup>:

- a) Integrar y comprender las interrelaciones agua-biota a escala de cuenca.
- b) Entender que evolutivamente se ha establecido una resistencia de los organismos vivos al estrés, sobre

25 Zalewski; Robarts, 2003.

26 Unesco, 2018.

- todo hídrico y climático, a partir de la cual pierden su capacidad de resiliencia.
- c) Entender la necesidad del uso de las propiedades de los ecosistemas como instrumentos de gestión (medición de eficacia de la diversidad biológica, calidad y cantidad del agua, entre otros).

En 2017 la UNESCO reconocía que la Ecohidrología presentaba un enfoque innovador en el ámbito de las ciencias ambientales debido a que los estudios de esta interrelación permitirán mantener la capacidad de los procesos evolutivos de circulación de agua, nutrientes y flujos energéticos a escala de cuencas, mediante la ordenación integrada de los procesos biológicos, biogeoquímicos e hidrológicos<sup>27</sup>.

El enfoque ecohidrológico está en total sintonía con los nuevos marcos normativos para la gestión de los recursos hídricos a nivel global, como son: la Directiva 2000/60/CE de política de aguas; la Directiva 2007/60/CE de evaluación y gestión de los riesgos de inundación, y la Directiva 2006/118/CE contra la contaminación<sup>28</sup>, siendo estas herramientas que sirven de vínculo directo entre el papel de los servicios ecosistémicos y los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) para el 2030<sup>29</sup>. En el contexto en el que se realiza la investigación, es importante señalar la relevancia de la nueva Ley 150 de 2022 del Sistema de los Recursos Naturales y del medioambiente para Cuba<sup>30</sup>, las proyecciones de la Tarea Vida, la nueva Estrategia Ambiental 2023-2030, así como la Ley 124 de 2017 de las Aguas Terrestres<sup>31</sup>.

Diversos son los ejemplos demostrativos que han contribuido al establecimiento de la Ecohidrología como ciencia. El Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO<sup>32</sup> expone los resultados de 23 sitios demostrativos distribuidos en 18 países de América Latina, África, Europa, Asia y Oceanía, de los cuales el 56 % es en cuencas hidrográficas, los ríos representan el 18 %, y los humedales y estuarios el 13 %, respectivamente. Diferentes son las soluciones ecohidrológicas aplicadas en cada sitio demostrativo, dependiendo de la problemática presente en cada uno<sup>33</sup>, destacando:

- el empleo de las fitotecnologías como solución ecohidrológica, que se han utilizado en el 65 % de los sitios.

El mantenimiento del caudal ambiental para la preservación de las condiciones ecológicas y mejoramiento de la calidad del agua representa el 48 % de las soluciones aplicadas en Francia, entendiéndose como caudal ambiental la cantidad de agua necesaria para restablecer el río y rehabilitar el ecosistema hasta un estado o condición requerida<sup>34</sup>, mientras que el ecológico es aquel que mantiene el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial en condiciones naturales, preservando valores ecológicos, como el hábitat natural, y funciones ambientales como purificación de aguas, amortiguación de extremos hidrológicos mínimos, recreación y pesca<sup>35</sup>.

- Los cambios en la infraestructura ecohidrológica de los sistemas fluviales, que constituyen el 43 %, vinculados estos con la construcción de sistemas de filtración para absorber contaminantes.
- La faunotecnología aplicada en un 22 % de las soluciones, a través de la construcción de zanjas reactivas y estanques de retención con distribución de diferentes especies, lo que permite la renaturalización de tramos fluviales y humedales ribereños.

Cada uno de los sitios demostrativos tiene como objetivo mostrar una aplicación de la Ecohidrología para tratar problemas tales como concentraciones de nutrientes, floraciones de cianobacterias, purificación de agua en diversos hábitats acuáticos, con el objetivo de encontrar soluciones a largo plazo, integrando el componente social. Estas soluciones han estado enfocadas en mejorar el potencial ecosistémico en función de su sostenibilidad y, de esta forma, incidir en la mejora de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) en áreas específicas. De acuerdo con los principios ecohidrológicos, cinco son los elementos necesarios para lograr estos objetivos en ecosistemas acuáticos, y son, por sus siglas en inglés: WBSRC (W-agua, B-biodiversidad, S-servicios ecosistémicos, R-resiliencia y C-patrimonio cultural)<sup>36</sup>.

<sup>27</sup> Zalewski, 2015.

<sup>28</sup> UNESCO, 2010.

<sup>29</sup> Martínez; Villalejo, 2018.

<sup>30</sup> GOC, 2022.

<sup>31</sup> GOC, 2017.

<sup>32</sup> UNESCO, 2017.

<sup>33</sup> Arduino, 2017b. UNESCO, 2021.

<sup>34</sup> Martínez; Villalejo, 2020.

<sup>35</sup> Martínez; Villalejo, 2018.

<sup>36</sup> UNESCO, 2023.

En 2019, la UNESCO presentó un informe sobre la evaluación del recurso agua a nivel mundial, planteando que su uso ha venido aumentando en 1 % anual, esperando para el 2050 un incremento entre el 20 y el 30 %. Se plantea, además, que un gran número de personas no tiene acceso al agua potable, ni a algún tipo de saneamiento, aspecto considerado dentro de los derechos humanos<sup>37</sup>.

La Ecohidrología se desarrolla paulatinamente, y para los años venideros entre sus funciones se registra la de revertir la degradación de recursos hídricos y detener la disminución de la biodiversidad, identificando cinco áreas focales fundamentales de trabajo<sup>38</sup>:

- Dimensión hidrológica de una cuenca: identificación de amenazas y oportunidades potenciales para un desarrollo sostenible.
- Conformación de la estructura ecológica de la cuenca para la mejora potencial del ecosistema (productividad biológica y biodiversidad).
- Solución del sistema ecohidrológico e ingeniería ecológica para la mejora de la resiliencia del agua, los ecosistemas y sus servicios.
- Ecohidrología urbana: purificación y retención de aguas pluviales en el paisaje de la ciudad, potencial de mejora de la salud y calidad de vida.
- Regulación ecohidrológica para sustentar y restaurar la conectividad continental costera y el funcionamiento del ecosistema.

La cuenca hidrográfica es el escenario físico ideal para el análisis de la concepción científica de Ecohidrología para la planificación hídrica, se encuentre en estado natural, antropizado o francamente degradado<sup>39</sup>; sin embargo, la dimensión hidrológica es relevante.

Por otra parte, la seguridad hídrica está sustentada en la protección de las cuencas hidrográficas, y es definida como la capacidad de una determinada población para salvaguardar el acceso a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable, que permita proteger tanto la salud humana como la del ecosistema<sup>40</sup>, de aquí la necesidad de tener en cuenta la creciente inestabilidad climática, el crecimiento demográfico, las migraciones humanas y el surgimiento de nuevos centros geopolíticos que afectarán a la economía

internacional, siendo necesario de manera urgente hacer retroceder la degradación de los recursos hídricos y detener el avance de la pérdida de biodiversidad, dentro de las medidas de protección de los ecosistemas acuáticos. Esto solo será posible si la sociedad es capaz de apreciar y optimizar los servicios brindados por los ecosistemas, junto con el mejoramiento de la resiliencia de las cuencas ante el grado de presión climática y antropogénica.

Para América Latina y el Caribe se ha presentado el Programa Regional de Ecohidrología, que establece el Plan Estratégico PHI-VIII 2014-2021: “Seguridad hídrica: respuestas a los desafíos locales, regionales, y mundiales”, que incluye el tema 5 “Ecohidrología: creación de armonía para un mundo sostenible, con cinco áreas focales, dos de ellas referidas al trabajo en cuencas hidrográficas”<sup>41</sup>, pero necesita una aplicación sistemática y su actualización.

Los indicadores ecohidrológicos relacionados específicamente con la gestión integrada de recursos hídricos y trabajados a escala de microcuenca se vinculan con la cobertura boscosa, el uso del suelo, la protección de la vegetación ribereña y la calidad del agua<sup>42</sup>, que deben incluirse en cualquier análisis con enfoque ecohidrológico.

El análisis realizado ha integrado indicadores bibliométricos y cualitativos, a partir de una revisión crítica de la literatura en un período de 22 años, lo que ha permitido no solo explicar la relevancia de la Ecohidrología y su evolución, desde su primera definición en 1997, sino el interés sostenido en este enfoque reflejado en las investigaciones publicadas, con una tendencia hacia temáticas clave como la gestión del agua, tema fundacional; la Ecohidrología fluvial, por la relevancia de las aguas superficiales; la de sistemas áridos y semiáridos, aspecto que cobra fuerza considerando la necesidad de entender la dinámica de estos ecosistemas; los servicios ecosistémicos en cuencas hidrográficas y la relación de la Ecohidrología con la vegetación; todos enfocados a la integración de disciplinas y la búsqueda de soluciones basadas en la naturaleza.

Este análisis ha permitido focalizar en contexto la situación de una cuenca, precisando posibles soluciones para su degradación, con implicaciones en la calidad de sus bienes y servicios.

<sup>37</sup> UNESCO, 2019.

<sup>38</sup> Martínez; Villalejo, 2019

<sup>39</sup> González; Hernandez; Romero, 2013. Zalewski, 2000.

<sup>40</sup> Martínez; Villalejo, 2020.

<sup>41</sup> Bowleg; Gaviño, 2018.

<sup>42</sup> Caballero *et al.*, 2019.



## Un análisis en contexto: la situación de la cuenca San Juan en Santiago de Cuba

En Cuba, la gestión integrada de cuencas hidrográficas (GICH) se ha institucionalizado gradualmente como resultado de los cambios sustanciales ocurridos en las últimas cinco décadas<sup>43</sup>. El Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas de la República de Cuba, creado en abril de 1997, considera la cuenca hidrográfica como principal unidad de gestión ambiental del territorio; unidad básica de estudio, de planificación y desarrollo, utilizándose esta como ámbito de aplicación de los programas y planes de manejo integral de los recursos naturales, en su vínculo con el desarrollo económico y social<sup>44</sup>; sin embargo, hay que hacer énfasis en la necesaria inclusión de la dimensión hidrológica.

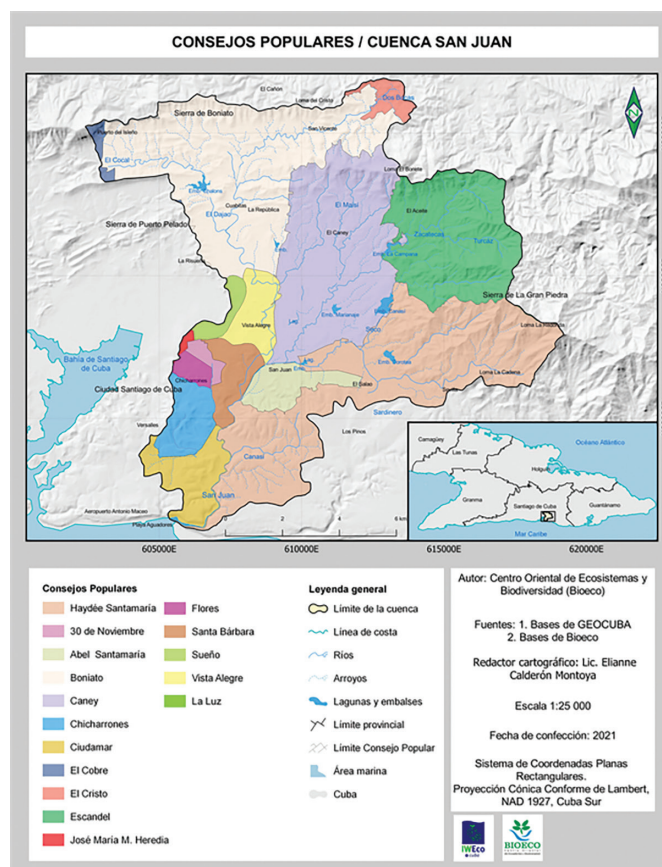
Como ejemplo de acciones concretas vinculadas a la GICH se pueden mencionar las siguientes:

- Creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) en abril de 1994.
- Aprobación de la Estrategia Ambiental Nacional (1996), en la cual se definen los principales problemas ambientales del país, y se identifican las acciones para su solución o mitigación y sus subsiguientes actualizaciones hasta la fecha (Estrategia Ambiental Nacional 2023-2030).
- Aprobación de la Ley 81 “Del Medio Ambiente”, aprobada en 1997 en sustitución a la Ley 33. En sus artículos 110 y 111 se definen los objetivos del manejo integrado en las cuencas hidrográficas y se formula la creación de un Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (CNCH), considerando “la cuenca hidrográfica como la unidad básica para la gestión ambiental”, en función del desarrollo sostenible.
- Aprobación reciente de la nueva Ley 150: 2022 encaminada a ordenar y fortalecer la institucionalidad y el marco jurídico para la implementación de la Estrategia Ambiental Nacional, incluyendo el fomento de la educación, la conciencia, cultura ambiental, y la sostenibilidad económica-financiera del país.
- Elaboración del Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo, como adecuación cubana a la Agenda 21.
- Elaboración del Decreto 280: 2007 con el acuerdo 6055 y la Resolución 52: 2007 que establece el reglamento de los Consejos de Cuenca.

La creación del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (CNCH) permitió promover un nuevo estilo de trabajo, donde se integran el análisis de los recursos naturales, la estructura económica y de servicios, con un enfoque sostenible. En una primera etapa de esta estructura se definen primeramente ocho cuencas de máxima prioridad nacional, de acuerdo con su complejidad económica, social y ambiental, el grado de afectación a sus recursos naturales y sus características generales<sup>45</sup>. Posteriormente se identifican 10 cuencas de interés nacional, además de 51 cuencas de interés provincial<sup>46</sup>.

En la región oriental de Cuba, específicamente en el municipio de Santiago de Cuba, la cuenca San Juan (Mapa 1) es identificada como un ecosistema de interés provincial bajo protección, pues abastece al 33 % de la población del municipio. Por diversas causas los planes

Mapa 1. Cuenca hidrográfica del río San Juan y sus consejos populares



Fuente: Conservación y uso sostenible de la biodiversidad desde el enfoque de manejo integrado de cuencas y áreas costeras. Manuscrito no publicado. Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad. (Bioeco, 2022). Santiago de Cuba.

<sup>43</sup> Urquiza; Gutiérrez, 2014.

<sup>44</sup> González, 2011.

<sup>45</sup> CAP, 2004.

<sup>46</sup> Castro, 2009.



de acción aplicados para la gestión de la cuenca para mitigar o erradicar las principales problemáticas identificadas aún resultan insuficientes<sup>47</sup>.

Las problemáticas son condicionantes del nivel de degradación del ecosistema. El diagrama de Ishikawa para identificar las principales problemáticas, causas y efectos en la cuenca se presenta en la Figura 4.

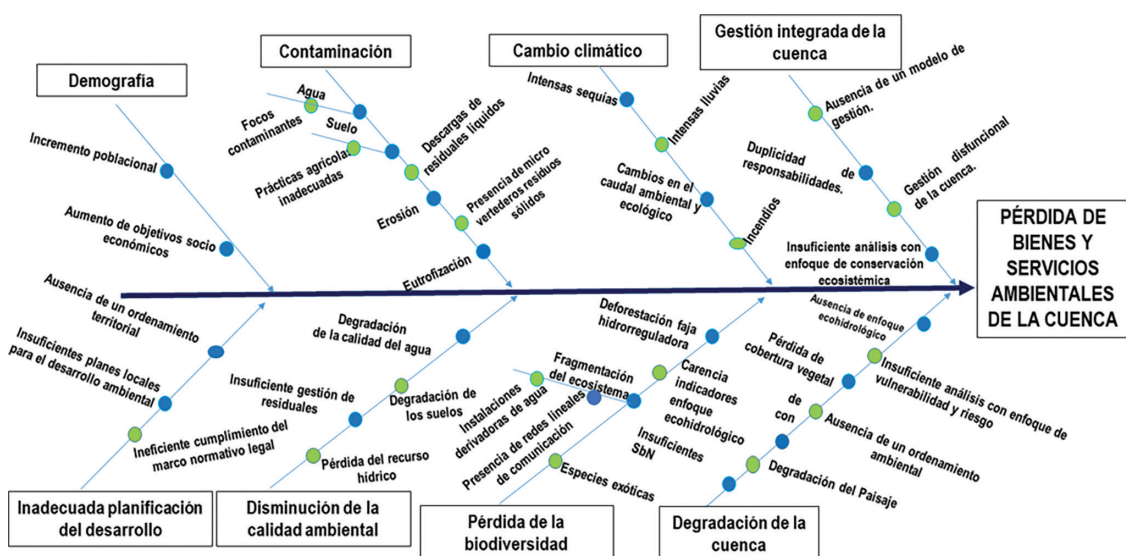
Las principales problemáticas han influido en la pérdida de servicios ambientales y de la calidad de los bienes o recursos de la cuenca; estas se listan a continuación:

- Problemas demográficos: relacionados con el aumento progresivo de la población. Para el 2020 en la cuenca se identifican 253.051 habitantes<sup>48</sup> observando un incremento en 1.160 habitantes con respecto al 2016, lo que representa un incremento de un 0,5 %, distribuidos en 11 consejos populares y 23 asentamientos. Siendo los consejos más poblados Haydee Santamaría, Boniato, Caney, Flores y 30 de Noviembre.
- Problemas asociados a la planificación del desarrollo: existe un aumento de los objetivos socioeconómicos con un total de 871 en la cuenca, influyendo, además, el incremento de trabajadores por cuenta propia, con pequeñas empresas que contribuyen a la contaminación puntual.

- Contaminación del agua y los suelos: diversos han sido los estudios que demuestran la prevalencia en la contaminación de las aguas del río San Juan. Investigaciones realizadas entre 2013 y 2015 y durante el período 2020-2021 por el Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (Bioeco)<sup>49</sup> evidencian el deterioro sostenido de las aguas superficiales (Mapa 2), al sobrepasar los límites establecidos por la norma cubana NC/25:1999<sup>50</sup> en parámetros como: Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica (DBO), Demanda Química (DQO) del agua, fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). Además, se identifica la presencia de 11 focos contaminantes con vertimiento libre al ecosistema fluvial, así como microvertederos cercanos a las márgenes del río<sup>51</sup>, confirmados durante viajes exploratorios realizados durante el desarrollo de la presente investigación.

Entre las principales deficiencias que persisten en la cuenca, en relación con la contaminación del agua y suelos destacan, además: insuficiencias o ausencia de sistemas de tratamiento, aplicación de prácticas agrícolas inadecuadas con impacto en la calidad del agua, insuficiente gestión de residuales sólidos, descargas de residuales líquidos por diferentes instituciones, industrias y asentamientos, disposición inadecuada de residuos sólidos (microvertederos) y

Figura 4. Diagrama de Ishikawa con las principales problemáticas de la cuenca



Fuente: elaboración propia.

<sup>47</sup> Perrands, 2008. Morell-Bayard et al., 2020.

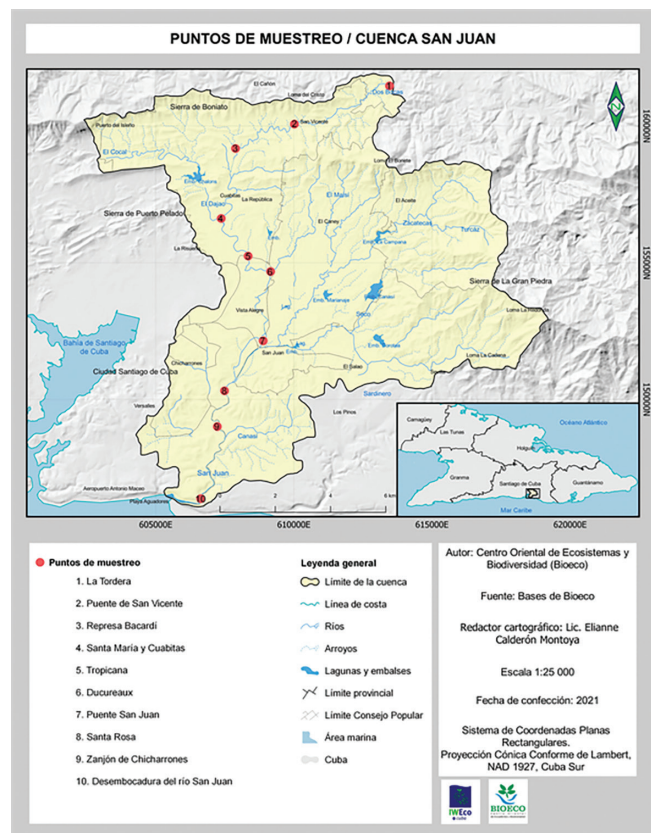
<sup>48</sup> ONEI, 2020.

<sup>49</sup> Bioeco, 2022.

<sup>50</sup> NC/25, 1999.

<sup>51</sup> Calderín et al., 2018.

Mapa 2. Ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca, durante el período 2019-2021



Fuente: Conservación y uso sostenible de la biodiversidad desde el enfoque de manejo integrado de cuencas y áreas costeras. Manuscrito no publicado. Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad. (Bioeco, 2022). Santiago de Cuba.

recurrentes floraciones de cianobacterias y microalgas bentónicas.

- d) Disminución de la calidad ambiental: se asocian a esta problemática las fuertes presiones antrópicas sobre el ecosistema, la existencia de focos con vertimiento libre a las aguas superficiales, procesos erosivos, insuficiente gestión de residuales tanto sólidos como líquidos, degradación del paisaje, lo que ha condicionado altos niveles de contaminación, degradación de la calidad del agua y los suelos, evidenciando el necesario desarrollo de un ordenamiento ambiental y adecuada gestión sostenible de la cuenca.
- e) Pérdida de la biodiversidad: el deterioro del hábitat es una de las causas fundamentales de esta problemática, asociada con los cambios en el uso del suelo, ya sea por la rápida transformación de estos en cultivos agrícolas, expansión urbana, vegetación de ribera inadecuada, deforestación, presencia de especies exóticas, fragmentación de hábitats causado por la presencia de redes lineales de comunicación (carreteras, autopistas, terraplenes), presas, micropresas, pozos y

- estanques, los que alteran el flujo hidrológico y provocan cambios en la línea natural de drenaje del terreno.
- f) Efectos del cambio climático: se incluyen variables como intensas sequías, que conllevan cambios en el caudal ambiental y ecológico con afectaciones a especies intolerantes a condiciones extremas, incrementos de temperatura, períodos de grandes avenidas, así como la ocurrencia de incendios forestales.
- g) Degradación de la cuenca: vinculada con la insuficiente gestión integrada y disfuncional de la cuenca, escasa visión de riesgo, desconociéndose las principales vulnerabilidades y amenazas a los ecosistemas, degradación del paisaje, bajo nivel de respuesta para implementar medidas de mitigación, carencia de investigaciones con enfoque ecohidrológico que permitan aplicar soluciones basadas en la naturaleza (SbN) cuyo propósito es aumentar la capacidad de resiliencia de los ecosistemas e incrementar su capacidad de gestión sostenible.

Es necesario reconocer los factores sociales, económicos, políticos y territoriales que inciden en el desarrollo, y reflexionar sobre las actividades cotidianas y su impacto en la naturaleza, ello permitirá tomar decisiones y acciones para una adecuada gestión. Otros aspectos relacionados con la problemática que aún persisten son: inexistencia de un modelo de gestión integrada funcional a nivel de cuenca, carencia de investigaciones con enfoque integrador de disciplinas y multisectoriales enfocadas a la gestión de ecosistemas y recursos, limitados estudios sobre los efectos del cambio climático; problemas de institucionalidad, relacionados con la existencia de responsabilidades compartidas o comunes, fortalecimiento de gobernanza local, que limitan un control efectivo e insuficiente saneamiento.

En 2017 es aprobada la Ley 124 de las Aguas Terrestres para el territorio cubano, la misma tiene por objetivo la gestión integrada y sostenible de este recurso. En los artículos 5.1 y 5.2 se hace referencia a la integración de acciones que fortalezcan la Política Ambiental Nacional (PAN), a través del potenciamiento de la ciencia y la tecnología actualizada para elevar el rigor científico de la gestión integrada y sostenible de las aguas terrestres<sup>52</sup>; se reafirma el reconocimiento de las cuencas hidrográficas como unidades para aplicar los instrumentos de gestión.

Dentro de la PAN no se identifica a la Ecohidrología como un instrumento científico aplicable para el estudio

<sup>52</sup> GOC, 2017.

de ecosistemas acuáticos y sus soluciones ecológicas; sin embargo, existe potencial para utilizar cada una de las soluciones ecohidrológicas aplicadas en los sitios demostrativos<sup>53</sup>. Este es un aspecto que limita en la cuenca San Juan la gestión, haciéndola disfuncional. Realizar una evaluación ecohidrológica conllevaría no solo un análisis integrador de las condiciones ecológicas actuales de dicha cuenca, sino que incluiría las acciones necesarias para su conservación, protección y/o recuperación.

Atendiendo a las problemáticas identificadas, en la Tabla 7 se presentan algunas soluciones potenciales que deben ser consideradas en un modelo de gestión integrado con enfoque ecohidrológico para dar respuesta a las problemáticas con mayor impacto en la cuenca. Considerando como premisas las soluciones basadas en la naturaleza y/o en ecosistemas, tal como lo concibe

la Ecohidrología, además de la conectividad del paisaje, en los enfoques de soluciones y la implementación del Programa Relacionado con la Directiva Marco de Agua, surgido como respuesta a la necesidad de unificar las actuaciones en materia de gestión de agua en el contexto europeo<sup>54</sup>, pero adaptable al contexto de análisis.

El grado de alteración ecohidrológica en los ecosistemas acuáticos debe evaluarse mediante el uso de indicadores diseñados de acuerdo con la necesidad de cada ecosistema<sup>55</sup>. Se necesitan investigaciones con enfoque ecohidrológico para la recuperación de la cuenca San Juan. Es necesario el reconocimiento de las principales vulnerabilidades, la capacidad de resiliencia del ecosistema y el patrimonio cultural del mismo, permitiendo de esta forma mejorar el potencial de sostenibilidad o capacidad de carga, cumpliendo con los principios

**Tabla 7. Propuesta de soluciones ecohidrológicas para la cuenca San Juan, Santiago de Cuba**

Problemas	Soluciones propuestas	Objetivo
a) Contaminación del agua (existe un deterioro de la calidad del agua en toda la cuenca) y el suelo	Humedales (fitotecnologías) a partir del reconocimiento previo de las fuentes contaminantes en áreas seleccionadas asociadas con las soluciones basadas en la naturaleza  Lagunas de oxidación combinadas con la construcción de humedales	Restauración de la calidad del agua en la cuenca baja, priorizando los sitios de descarga directa de residuales (Ej. el canal proveniente de los residuales del poblado de 30 de Noviembre, la prisión de Boniato entre otros, zanjones)  Restauración de la calidad del agua en la cuenca alta y media, priorizando los sitios de descarga directa de residuales
b) Pérdida de la biodiversidad	Empleo de la fauno-tecnología (zanjas reactivas y estanques de retención con distribución de especies propias del ecosistema) Control de especies exóticas Control de elementos que fragmentan hábitats Desarrollo de un modelo para la gestión integrada de la cuenca Implementación de estrategias de conservación para especies clave	Restauración desde la cuenca alta realizando de forma paralela estudios de distribución Transferencia de conocimientos y su implementación con el fin de que los cuerpos de agua sean ecológicamente sanos Conservación y protección de la biodiversidad Fortalecimiento de la gobernanza en fusión de la conservación con participación ciudadana
c) Degradación de la cuenca	Reforestación con especies de bosques de galería  Reforestación con especies de bosques de galería Desarrollar programas de biomonitoreo y evaluación del estado ecohidrológico de la cuenca. Realizar levantamiento de vulnerabilidades y riesgos	Preservación de condiciones ecológicas y mejoramiento de la calidad del agua en toda la cuenca, cuenca media y baja Mantenimiento del caudal ambiental  Perfeccionamiento del ordenamiento ambiental Inserción de la gestión de riesgo y los estudios ecohidrológicos en la gestión de la cuenca
d) Limitada gestión integrada de la cuenca	Implementar programas de ciencia e innovación Participación de la sociedad en el monitoreo, y la gestión, de las empresas de agua. Adopción de estándares internacionales Cumplimiento de las normativas legales Articulación de la gestión sostenible con la visión ecosistémica para la conservación de bienes y servicios	Perfeccionamiento de políticas de gestión de ciencia e innovación a favor de la gestión integrada de la cuenca Perfeccionamiento del ordenamiento ambiental Inserción la gestión de riesgo y los estudios ecohidrológicos en la gestión de la cuenca Fomentar la concienciación del potencial de las SbN para mejorar la seguridad hídrica y el conocimiento sobre la efectividad de sus beneficios
e) Cambio climático	<ul style="list-style-type: none"> <li>Restauración de hábitats</li> <li>Gestión de los recursos hídricos</li> <li>Reducción del riesgo ante desastres</li> <li>Desarrollo de infraestructuras verdes para abordar problemas sociales</li> <li>Incentivar la economía agraria con el uso de biomasas</li> </ul>	El desarrollo de acciones que lleve a la protección, restauración y gestión de manera sostenible los ecosistemas, para aumentar su resiliencia y capacidad para abordar los actuales y futuros desafíos sociales y, al mismo tiempo, salvaguardar la biodiversidad y mejorar el bienestar humano

<sup>53</sup> Arduino, 2017a.

<sup>54</sup> UE, 2000.

<sup>55</sup> Garrido et al., 2010.

ecohidrológicos ABSerPc (agua, biodiversidad, servicios ecosistémicos, resiliencia y patrimonio cultural).

El Programa de Ecohidrología desarrollado por la UNESCO tiene más de 25 años dedicados a la promoción de direcciones estratégicas, desarrollo de nuevas dimensiones científicas, promoción de actividades, ejecución de programas, y la comunicación de los avances científicos y lecciones aprendidas. Se reconoce que la COVID-19 tuvo un impacto negativo al incidir en la no ejecución de eventos internacionales y cancelación de actividades, pero, a pesar de esto, se buscaron alternativas para el desarrollo de actividades como los cursos abiertos en línea. Sin embargo, siguen existiendo regiones poco beneficiadas con este enfoque en las investigaciones.

El empleo de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) es considerado como una opción accesible y asequible para hacer frente a problemas como la contaminación. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) define estas técnicas como medidas para proteger, gestionar de forma sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados que aborden los retos sociales de forma eficaz y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad<sup>56</sup>.

Un ejemplo de SbN son las creaciones de infraestructuras verdes, que revolucionan la planificación y el diseño urbano a través de la construcción de humedales, espacios verdes en los barrios, jardines infiltrantes, jardines en los tejados, biofiltración, con la incorporación de barriles y cisternas para lluvia, así como pavimento permeable para absorber, almacenar y reutilizar la corriente de agua pluvial. Las iniciativas deben tener identidad y estar adaptadas al contexto donde se aplican.

En el caso de la cuenca San Juan solo se presentan algunas iniciativas que podrían implementarse a corto plazo, lo que dependerá de varios factores, siendo clave el entendimiento del valor de la Ecohidrología, en la teoría y la práctica.

## Conclusiones

La Ecohidrología es una disciplina crítica que permite comprender la interacción entre los ecosistemas y los procesos hidrológicos. Su aplicación práctica es fundamental para garantizar un futuro socioambiental sostenible. A nivel global existe una tendencia al incremento de investigaciones relacionadas con la Ecohidrología

fluvial, la Ecohidrología de sistemas áridos y semiáridos, el análisis de los servicios ecosistémicos de cuencas hidrográficas, y la Ecohidrología y vegetación, aportando instrumentos para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la conservación de los ecosistemas acuáticos.

El fomento de prácticas ecohidrológicas en la gestión de recursos hídricos requiere de un enfoque integral que incluya la educación y capacitación, la investigación aplicada, el desarrollo de herramientas y tecnologías innovadoras, la colaboración interdisciplinaria y la incentivación de prácticas sostenibles.

De acuerdo con las problemáticas identificadas en la cuenca San Juan, resulta relevante la aplicación de SbN tales como: el empleo de las fitotecnologías, técnicas fitorremediadoras, construcción de humedales, reutilización de agua residual, mantenimiento del caudal ambiental y ecológico, el empleo de la faunotecnología (conservación de especies acuáticas), además de incluir instrumentos ecohidrológicos como la evaluación del grado de alteración ecohidrológico y medidas para la adaptación al cambio climático.

## Bibliografía

- Albarracín, M.; Gaona, J.; Chícharo, L.; Zalewski, M. 2018: *Ecohidrología y su implementación en Ecuador*. Quito (Ecuador), Corporación Naturaleza y Cultura Internacional, GAD Municipal de Paltas, Universidad Técnica Particular de Loja e INGERALEZA, S.A.
- Allan, J.D.; Castillo, M. 2007: *Stream ecology: structure and functions of running waters*. Dordrecht (The Netherlands), Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61286-3>
- Arduino, G. 2017a: "Sitios Demostrativos de Ecohidrología: Laboratorios de vida orientados a soluciones para la implementación de Ecohidrología, desde escala molecular a escala de cuenca". *Programa Hidrológico Internacional, UNESCO*. <https://riomagdalenaorg.files.wordpress.com/2019/04/los-sitios-demostrativos-del-programa-de-ecohidrologc2b0a>. Consulta realizada el 3 de mayo de 2022.
- Arduino, G. 2017b: "Ecohydrology: Engineering harmony for a Sustainable World. Theme 5 of the Intergovernmental Hydrological Programme (IHP) Phase VIII (2014-2021)". *Ecohydrology & Hydrobiology*, 21(3), 380-386. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.08.009>
- Arheimer, B.; Andréasson, J.; Fogelberg, S.; Johnsson, H.; Pers, C. B.; Persson, K. 2005: "Climate change impact on water quality: model results from Southern Sweden". *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 34(7), 559-566. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-34.7.559>

<sup>56</sup> UICN, 2023



- Azuara, G.; Palacios, E.; Montesinos, M.P.; García-Ferrer, A.** 2018: "Modelación para integrar la evaluación hídrica en la asignación óptima de usos de suelo". *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXIX(3), 82-96. <https://doi.org/10.16924/revinge.48.13>
- Bailey, R.** 1999: "Moss, B. 1998, Ecology of freshwater. Man and medium, past to future". *Journal of Ecology*, 87, 176-177.
- Baird, A.; Wilby, R. (Eds.).** 1999: *Eco-hydrology. Plants and water in terrestrial and aquatic environments*. USA, Routledge Physical Environment Series. 462. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00526-2>
- Bernal, J.; Donado, L.** 2010: "Avances Investigativos en Ecohidrología de flujos locales - Caso de Estudio Humedal Laguna De Sonso-Valle Del Cauca. Colombia". *Comunicación presentada al X Congreso de Aguas Subterráneas y Desarrollo Sostenible*. Venezuela. <https://doi.org/10.13140/2.1.4734.7525>.
- Bioeco.** 2022: "Conservación y uso sostenible de la biodiversidad desde el enfoque de manejo integrado de cuencas y áreas costeras". *Informe del Proyecto GEF-PNUD*. Cuba, Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad. Santiago de Cuba.
- Bowleg, J.; Gaviño, M. (Coords.).** 2018: "Programa Regional de Ecohidrología para América Latina y El Caribe". *Programa Regional, UNESCO*. 1-7. [https://zh.unesco.org/sites/default/files/phi-lac\\_2021\\_rpxiv\\_8.11\\_ecohidrologia.pdf](https://zh.unesco.org/sites/default/files/phi-lac_2021_rpxiv_8.11_ecohidrologia.pdf). Consulta realizada el 16 de marzo de 2020.
- Caballero-Contrera, T.** 2019: *Análisis de la situación Ecohidrológica: contribución al diseño de estrategias de manejo y gestión integral del recurso hídrico en la microcuenca del río Bonyic, Panamá*. Tesis de Maestría. Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Calderín, C.; Salas, A.; Ramírez, G., Durand, T.; Infante, Y.; Muñiz, A.; Bastic, M.** 2018: "Propuesta de un plan de acción preliminar para la preservación del lecho acuífero: cuenca hidrográfica San Juan". *Informe Técnico*. Cuba, Delegación de Recursos Hidráulicos Santiago de Cuba, 1-50.
- Castro Enjamio, V.** 2009: "Institucionalidad y marco legal de los Órganos de Cuencas en Cuba". *Primer Encuentro de Organismos de Cuencas de América Latina y el Caribe*. La Habana (Cuba). 1-25. <https://pdfslide.tips/documents/republica-de-cuba-instituto-nacional-de-recursos-hidra-institucionalidad>
- Consejo de la Administración Provincial de Ciudad Habana (CAP).** 2004: "Gestión ambiental en las cuencas hidrográficas". *Comunicación presentada al VI Asamblea General Mundial de RIOB*. Martinica. [https://www.riob.org/sites/default/files/IMG/pdf/gestion\\_ambiental\\_cuencas\\_Habana.pdf](https://www.riob.org/sites/default/files/IMG/pdf/gestion_ambiental_cuencas_Habana.pdf). Consulta realizada el 2 de febrero de 2019.
- Dunbar, M.; Acreman, M. (Eds.).** 2001: "Applied hydro-ecological science for the twenty-first century". En *Hydroecology: linking hydrology and aquatic ecology*, M.C., Acreman (Editor). IAHS Publisher, 1-18. [https://www.researchgate.net/publication/240311175\\_Applied\\_hydroecological\\_science\\_for\\_the\\_twenty-first\\_century](https://www.researchgate.net/publication/240311175_Applied_hydroecological_science_for_the_twenty-first_century)
- Gaceta Oficial Cubana (GOC).** 2017: *Ley de aguas terrestres, Ley No. 124/14*. (GOC-2017-715-EX51) Cuba, Ministerio de Justicia. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/acuerdo-viii-80-de-2017-de-asamblea-nacional-del-poder-popular>. Consulta realizada el 16 de junio del 2020.
- Gaceta Oficial Cubana (GOC).** 2022: *Ley del Sistema de los Recursos Naturales y el Medioambiente*. La Habana. (Cuba), Asamblea Nacional del Poder Popular. ISSN 1682-7511. <http://www.citmapri.gob.cu/wp-content/uploads/2023/03/Ley-SNRMA-19.10-la-questa-por-aprobar.pdf>. Consulta realizada el 16 de junio del 2023.
- García de la Vega, A.** 2012: "Los factores morfoestructurales en la definición y evolución de la red hidrográfica en el sector oriental del Sistema Central". *Publicaciones de la Asociación Portuguesa de Geomorfólogos*. 7, 101-112. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1dp0vn9.25>
- Garrido, A.; Cuevas, M.L.; Cotler, H.; González, D.; Tharme, R.** 2010: "Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México". *Investigación ambiental, Ciencia y Política Pública*, 2(1), 25-46. <https://doi.org/10.22201/fm.24484865e.2019.62.1.02>
- Gaviño, M.** 2014: "La gestión integrada de cuencas y los instrumentos de la eco-hidrología". *Seminario Internacional Calidad y Gestión del Agua a Nivel de Cuenca*. 18-11-2014. Argentina. <https://docplayer.es/74900513-La-gestion-integrada-de-cuencas-y-los-instrumentos-de-la-eco-hidrologia.html>.
- Gisbert, J.; Panés, J.** 2009: "Índice h de Hirsch: una nueva herramienta para medir la producción científica". *Rev. Cirugía Española. ELSEVIER*, 86 (4) 193-195. <https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2009.05.007>
- Gómez, R.** 2003: "Modelos conceptuales de funcionamiento de ríos y arroyos". <http://columbares.org/proyectofartet/documentos/1341567480.pdf>. 1-26. Consulta realizada el 22 de febrero de 2019.
- González, M.; Retamoza, J.; Albores, R.; Guerrero de León, A.** 2016: "Gestión integral de cuencas hidrográficas: una alternativa a la sustentabilidad de los recursos hídricos en México". *LACANDONIA*, 10 (1), 91-98. <https://doi.org/10.2307/j.ctvj2wjd.14>
- González, N.; Hernandez, M.; Romero, C.** 2013: "La planificación hídrica en el contexto de la Ecohidrología". *Derecho y Ciencias Sociales*, (9), 15-23. <https://doi.org/10.35537/10915/53576>
- González Piedra, J.I.** 2011: "El Manejo de Cuencas en Cuba: un instrumento de Planificación Territorial". *Revista Proyección* 10. V, 90-100. <https://doi.org/10.32457/riem.vi8.394>
- Guswa, A.; Tetzlaff, D.; Selker, J.; Carlyle-Moses, D.; Boyer, E.; Bruen, M.; Cayuela, C.; Levia, D.** 2020: "Advancing Ecohydrology in the 21st century: A convergence of opportunities". *Ecohydrology*, 13, 1-14. <https://doi.org/10.1002/eco.2208>
- Hannah, D.; Wood, P.; Sadler, J.** 2004: "Ecohydrology and hydroecology: A new paradigm". *Hydrological Processes*, 18, 3439-3445. <https://doi.org/10.1002/hyp.5761>



- Marín Martínez, F.; Sánchez- Meca, J.; López López, J.A.** 2009: "El metaanálisis en el ámbito de las Ciencias de la Salud: una metodología imprescindible para la eficiente acumulación del conocimiento". *Fisioterapia*, 31(3), 107-111. <https://doi:10.1016/j.ft.2009.02.002>
- Marten, G.** 2001: *Human Ecology: Basic Concepts for Sustainable Development*. London (England), Earthscan. <https://doi:10.1017/s1466046604270156>
- Martínez, Y.; Villalejo, V.M.** 2018: "La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos". *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXIX(1), 58-72. <https://doi:10.21855/ecociencia.62.164>
- Martínez, Y.; Villalejo, V.M.** 2019: "Ecohidrología-Ecohidráulica: claves para la gestión integrada de los recursos hídricos". *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40 (2), 95-109. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v40n2/1680-0338-riha-40-02-95.pdf>.
- Martínez, Y.; Villalejo, V.M.** 2020: "Caudal ambiental: herramienta ecohidrológica en la gestión de los recursos hídricos". *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XLI(1), 56-70. <https://doi:10.29105/revig1.1-9>
- Morell-Bayard, A.; Bergues, P.; López del Castillo, P.; Castro-Almarales, A.** 2020: "Estado Ecológico del río San Juan en Santiago de Cuba: período 2013-2015". *Ciencia en su PC*, 1(3), 36-49. <https://doi.org/10.35985/9789585522701.3>
- Nazari-Sharabian, M.; Ahmad, S.; Karakouzian, M.** 2018: "Climate Change and Eutrophication: A Short Review". *Engineering, Technology & Applied Science Research* 8(6), 3668-3672. <https://doi.org/10.48084/etasr.2392>
- Norma Cubana (NC/25).** Oficina Nacional de Normalización. 1999: Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones. La Habana. (Cuba). [https://ftp.isdi.co.cu/biblioteca/BIBLIOTECA %20UNIVERSITARIA %20DEL %20ISDI/COLECCION %20DIGITAL %20DE %20NORMAS %20CUBANAS/1999/NC %2025.PDF](https://ftp.isdi.co.cu/biblioteca/BIBLIOTECA%20UNIVERSITARIA%20DEL%20ISDI/COLECCION%20DIGITAL%20DE%20NORMAS%20CUBANAS/1999/NC%2025.PDF). Consultada el 26 de julio de 2019.
- Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI)** 2020. *Población por asentamientos humanos*. La Habana (Cuba). <http://www.onei.gob.cu/node/16275>. Consulta realizada el 27 de septiembre del 2022.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).** 1997: *Ecohydrology. A new paradigm for the sustainable use of aquatic resources. Paper presented at the IHP-V. Technical documents in Hydrology No 7*. París (Francia), 1-57. International Hydrological Programme. <http://ecohydrology-ihp.org/demosites/resources/archivos/existingpublications/1997-UNESCO-> Consulta realizada el 15 de octubre de 2020
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).** 2010: *La Ecohidrología como desafío: experiencias y estudios de caso*. (Uruguay). 1-11. [http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/repositorio/\\_documentos/](http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/repositorio/_documentos/). Consulta realizada el 24 de junio de 2019.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).** 2017: *ECOHIDROLOGÍA: una Ciencia Integral desde la Escala Molecular hasta la Escala de Cuencas. Programa Hidrológico Internacional*. <https://www.studeersnel.nl/nl/document/unesco-ihe-institute-for-water-education/hydrology/unesco-ecohidrologia/27936652>. Consulta realizada el 26 de mayo de 2019
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).** 2018: *Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos*. 168. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261494>. Consulta realizada el 17 de septiembre de 2019.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).** 2019: *No dejar a nadie atrás. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*. 1-215. ISBN 978-92-3-300108-4. <https://es.unesco.org/water-security/wwwap/wwwdr>. Consulta realizada el 5 de junio de 2020.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).** 2021: *Ecohydrology Demonstration Sites - solution oriented living laboratories for the implementation of ecohydrology from molecular to basin scale. IHP-VIII 2014-2021*. [https://businessdocbox.com/Green\\_Solutions/117485384-Ecohydrology-demonstration-sites-solution-oriented-living-laboratories-for-the-implementation-of-ecohydrology-from-molecular-to-basin-scale.html](https://businessdocbox.com/Green_Solutions/117485384-Ecohydrology-demonstration-sites-solution-oriented-living-laboratories-for-the-implementation-of-ecohydrology-from-molecular-to-basin-scale.html). Consulta realizada el 22 de junio de 2022.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).** 2022: *Ecohidrología: Una breve introducción. Agua y Riesgos Hidrometeorológicos. Blog de la Cátedra UNESCO-UDLAP*. Puebla (México), Universidad de las América.. <https://doi:10.18847/1.9.1>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).** 2023: *Seminario web sobre sitios demostrativos de ecohidrología en América Latina y el Caribe* (3era Ed.). <https://blogcatedraunesco.udlap.mx/ecohidrologia-una-breve-introduccion/>
- Perrands, G.** 2008: *Propuesta de una estrategia ambiental para el manejo integrado de la cuenca San Juan, bajo un enfoque de Integración al medio marino*, Tesis de Maestría. Santiago de Cuba (Cuba), Universidad de Oriente. <https://doi.org/10.2307/j.ctvt1f-t836k.7>
- Peteán, J.** 2008: "Enfoque ecosistémico. Creación de capacidad para las estrategias nacionales de diversidad biológica; planes de acción e integración". *Comunicación presentada al Río Branco*, Acre (Brasil). 31 de marzo-4 de abril de 2008. 1-30 <https://www.cbd.int/doc/meetings/nbsap/nbsapcbw-sam-01/other/nbsapcbw-sam-01-fundacion-proteger-es.pdf>. Consulta realizada el 23 de julio de 2022.

- Quintero, I.; Mejía, R.** 2004: "De la Ingeniería Fluvial a la Ecohidrología Fluvial". *Artículo presentado al XVIII CONGRESO NACIONAL DE HIDRÁULICA*. San Luis de Potosí, (México). <https://doi.org/10.35537/10915/120176>
- Saldaña, M.P.** 2013: "Ecohidrología fluvial". *Artículo presentado en el IV Seminario Internacional de Potamología*. México, 1-32. <https://doi.org/10.24850/b-imta-2021-01>
- Samaniego, R.M.Y.** 2020: "Propuesta metodológica: optimización de la red hidrológica en el Perú", en *Estudios Hidrológicos del SENAMHI: Resúmenes Ejecutivos*, Lavado, W. (Ed.). Lima (Perú), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú., 43-50. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-15-5-2>
- Sánchez-Meca, J.; Marín-Martínez, F.; López-López, J.A.** 2011: "Meta-análisis e Intervención Psicosocial Basada en la Evidencia". *Psychosocial Intervention*, 20(1), 95-107. <https://doi.org/10.5093/in2011v20n1a8>
- SCOPUS.** 2023: Base de datos. <https://www.recursoscscientificos.fecyt.es/licencias/productos-contratados/scopus>. Consulta realizada el 22 de julio de 2023.
- Unión-Europea (UE).** 2000: *Directiva del Marco del Agua 2000/60/CE*. (DMA). Normativas Comunitarias Sobre Protección de las Aguas. *Real Decreto Legislativo 1/2001*. <https://www.boe.es/doue/2000/327/L00001-00073.pdf>. Consulta realizada el 3 de febrero de 2019.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).** 2023: *Soluciones Basadas en la Naturaleza*. <https://www.iucn.org/es>. Consulta realizada el 6 de agosto de 2023.
- Urquiza, M.N.; Gutiérrez, J.** 2014: "La cuenca hidrográfica como unidad de manejo ambiental: El caso de Cuba". *Ganadería, Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente*. <https://doi.org/10.19083/tesis/624867>
- Wassen, M.; Grootjans, A.** 1996: "Ecohydrology: an interdisciplinary approach for wetland management and restoration". *Vegetatio*. 126, 1-4. <https://doi.org/10.1007/BF00047757>
- Wolanski, E.** 2007: *Estuarine Ecohydrology*. Australia, Elsevier. ISBN: 978-0-444-53066-0.. <https://doi.org/10.1007/bf00047757>
- Zalewski, M.** 2000: "Ecohydrology: the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources". *Ecological Engineering*, 16, 1-8. [https://doi.org/10.1016/s0925-8574\(00\)00071-9](https://doi.org/10.1016/s0925-8574(00)00071-9)
- Zalewski, M.** 2002: "Ecohydrology—the use of ecological and hydrological processes for sustainable management of water resources". *Hydrological Sciences*, 47(5), 823-832. <https://doi.org/10.1080/02626660209492986>
- Zalewski, M.** 2005: "Ecohydrology the use of water and ecosystem processes for healthy urban environment". *Ecohydrology & Hydrobiology*, 5(4), 263-268. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.03.001>
- Zalewski, M.** 2011: "Hydroecology and Ecohydrology: Past, Present and Future". *Vadose Zone Journal*, 10(2), 773-777. <https://doi.org/10.2136/vzj2010.0137br>
- Zalewski, M.** 2015: "Ecohydrology and Hydrologic Engineering: Regulation of Hydrology-Biota Interactions for Sustainability". *Journal of Hydrol. Eng.* 20(1), 1-14. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000999](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000999)
- Zalewski, M.; Robarts, R.** 2003: "Ecohydrology – a new paradigm for integrated water resources management". *Sil News*, 40, 2-6. <https://doi.org/10.1201/b16591-7>