

Research Article

Evaluación de Indicadores para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas Hidrográficas

Evaluation of Indicators for Integrated Water Resources Management in Watersheds

Moran-Gonzalez, Miguel Ramon¹<https://orcid.org/0000-0002-6072-3599>miguel.moran@unesum.edu.ec

Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador, Manabí,

Mieles-Giler, Jorge Washington³<https://orcid.org/0009-0003-4739-8968>jorge.mieles@unesum.edu.ec

Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador, Manabí,

Guerrero-Calero, Juan Manuel²<https://orcid.org/0000-0002-1356-0475>juan.guerrero@unesum.edu.ec

Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador, Manabí,

Cabrera-Verdesoto, Cesar Alberto⁴<https://orcid.org/0000-0001-5101-3520>cesar.cabrera@unesum.edu.ec

Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador, Manabí,

Autor de correspondencia¹DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n4/129>

Resumen: El documento presenta una evaluación detallada de los indicadores utilizados en la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) en cuencas hidrográficas. **Introducción:** La GIRH es fundamental en un contexto donde el cambio climático y la creciente demanda de agua complican la gestión sostenible de los recursos hídricos. Sin embargo, la falta de indicadores robustos y ampliamente aceptados limita la efectividad de esta gestión. **Objetivo:** Se busca realizar una revisión exhaustiva de la literatura científica para identificar fortalezas y debilidades de los enfoques existentes y proponer un marco conceptual que guíe futuras investigaciones. **Metodología:** Se realizó una revisión bibliográfica en Scopus, analizando estudios de los últimos dos años. Además, se utilizó VOSviewer para identificar patrones y tendencias en la investigación. **Resultados:** Se destacan los indicadores relacionados con la sostenibilidad, la calidad del agua y los aspectos socioeconómicos como los más relevantes. Sin embargo, se observa una limitada adopción de indicadores ecológicos. **Discusión:** Las principales limitaciones incluyen la falta de estandarización de indicadores y la complejidad en la integración de variables socioeconómicas y ecológicas. **Conclusión:** Es crucial desarrollar y estandarizar indicadores que integren dimensiones hidrológicas, ecológicas y socioeconómicas, apoyados por tecnologías avanzadas, para mejorar la gestión hídrica.

Palabras clave: Gestión Integrada de Recursos Hídricos, Indicadores, Sostenibilidad, Calidad del agua, Cambio climático.

Check for
updates**Received:** 14/Ago/2024**Accepted:** 02/Sep/2024**Published:** 31/Oct/2024

Cita: Moran-Gonzalez, M. R., Guerrero-Calero, J. M., Mieles-Giler, J. W., & Cabrera-Verdesoto, C. A. (2024). Evaluación de Indicadores para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas Hidrográficas. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(4), 25–38. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n4/129>

Journal of Economic and Social Science Research (JESSR)

<https://economicsocialresearch.com>info@editoriagrupo-aea.com

Nota del editor: Editorial Grupo AEA se mantiene neutral con respecto a las reclamaciones legales resultantes de contenido publicado. La responsabilidad de información publicada recae enteramente en los autores.

© 2024. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons. Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.**



Abstract:

The paper presents a detailed evaluation of indicators used in Integrated Water Resources Management (IWRM) in river basins. Introduction: IWRM is critical in a context where climate change and increasing water demand complicate the sustainable management of water resources. However, the lack of robust and widely accepted indicators limits the effectiveness of this management. Objective: We sought to conduct a comprehensive review of the scientific literature to identify strengths and weaknesses of existing approaches and propose a conceptual framework to guide future research. Methodology: A literature review was conducted in Scopus, analyzing studies from the last two years. In addition, VOSviewer was used to identify patterns and trends in research. Results: Indicators related to sustainability, water quality and socioeconomic aspects stand out as the most relevant. However, limited adoption of ecological indicators is observed. Discussion: The main limitations include the lack of standardization of indicators and the complexity in integrating socioeconomic and ecological variables. Conclusion: It is crucial to develop and standardize indicators that integrate hydrological, ecological and socioeconomic dimensions, supported by advanced technologies, to improve water management.

Keywords: Integrated Water Resources Management, Indicators, Sustainability, Water quality, Climate change.

1. Introducción

La gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) se ha convertido en un enfoque central para el manejo sostenible de los recursos hídricos a nivel global. En un contexto donde la demanda de agua sigue aumentando debido al crecimiento poblacional, la urbanización y la intensificación de las actividades agrícolas e industriales, la necesidad de implementar estrategias de gestión eficientes es más urgente que nunca (Pahl-Wostl et al., 2018). Las cuencas hidrográficas, como unidades naturales de gestión, representan un desafío complejo debido a la interacción de múltiples factores socioeconómicos, ambientales y políticos que influyen en la disponibilidad y calidad del agua. Sin embargo, la falta de indicadores robustos y ampliamente aceptados que puedan guiar y evaluar la GIRH en cuencas hidrográficas dificulta la implementación de políticas efectivas y la toma de decisiones informadas (Grigg, 2016).

La problemática central en la gestión de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas radica en la ausencia de un marco integral de indicadores que permita no solo evaluar el estado actual de los recursos, sino también predecir tendencias futuras y orientar las intervenciones de manera eficaz. A pesar de los avances en la formulación de modelos y herramientas para la GIRH, persisten vacíos significativos en la capacidad de estos modelos para integrar de manera efectiva variables hidrológicas, ecológicas

y socioeconómicas (Gain et al., 2013). Esta deficiencia se traduce en una gestión subóptima de los recursos hídricos, exacerbando problemas como la escasez de agua, la contaminación y los conflictos por el uso del agua en diversas regiones del mundo, particularmente en áreas con alta variabilidad climática y presión demográfica creciente (Biswas, 2008).

Los factores que contribuyen a la problemática de la gestión de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas son múltiples y están interrelacionados. En primer lugar, el cambio climático ha alterado los patrones de precipitación y escorrentía, lo que agrava la incertidumbre en la disponibilidad de recursos hídricos (IPCC, 2014). En segundo lugar, la degradación ambiental, manifestada en la deforestación, la pérdida de biodiversidad y la contaminación de cuerpos de agua, ha reducido la capacidad de las cuencas para mantener su función hidrológica natural (Vörösmarty et al., 2010). Además, la gobernanza del agua sigue siendo un desafío, ya que, en muchas regiones, la fragmentación institucional y la falta de coordinación entre las partes interesadas impiden una gestión coherente y equitativa de los recursos hídricos (Molle & Wester, 2009). La dimensión social, que incluye la participación de las comunidades locales y la equidad en el acceso al agua, también es un factor crítico que a menudo se pasa por alto en la formulación de indicadores para la GIRH (Mehta et al., 2014).

La justificación para la evaluación y desarrollo de indicadores específicos para la GIRH en cuencas hidrográficas radica en la necesidad de contar con herramientas que permitan una gestión adaptativa y basada en evidencia de los recursos hídricos. Indicadores bien diseñados pueden facilitar la monitorización continua del estado de los recursos, evaluar la eficacia de las intervenciones y proporcionar información clave para la toma de decisiones (Herd & Wals, 2017). Además, estos indicadores deben ser capaces de capturar la complejidad de las cuencas hidrográficas, integrando aspectos hidrológicos, ecológicos, económicos y sociales en un marco holístico que refleje las interacciones entre estos componentes (UNESCO, 2009). En términos de viabilidad, la revisión de la literatura existente sugiere que, si bien existen numerosos indicadores propuestos para diferentes aspectos de la gestión hídrica, falta una convergencia hacia un conjunto estandarizado que pueda aplicarse de manera universal en diversas cuencas hidrográficas (Loucks & van Beek, 2017). Este vacío representa tanto un desafío como una oportunidad para avanzar en la ciencia y práctica de la GIRH.

El objetivo de este artículo es realizar una revisión exhaustiva de la literatura científica sobre los indicadores utilizados para la gestión integrada de recursos hídricos en cuencas hidrográficas, con el fin de identificar las fortalezas y debilidades de los enfoques existentes, y proponer un marco conceptual que pueda guiar futuras investigaciones y aplicaciones prácticas. Se espera que esta revisión contribuya al desarrollo de indicadores más robustos y aplicables que puedan mejorar la gestión de los recursos hídricos en contextos diversos y cambiantes. La revisión se centrará en estudios publicados en las últimas dos décadas, con un enfoque particular en aquellos

que han propuesto o evaluado indicadores en contextos de cuencas hidrográficas, considerando tanto los aspectos cuantitativos como cualitativos de la gestión hídrica.

En síntesis, la necesidad de mejorar la gestión de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas es innegable, y el desarrollo de indicadores adecuados es un paso crucial en esta dirección. A través de esta revisión, se busca no solo sintetizar el conocimiento actual, sino también identificar lagunas y oportunidades para la innovación en la gestión hídrica, contribuyendo así al bienestar social y la sostenibilidad ambiental.

2. Materiales y métodos

2.1. Diseño del estudio

Este estudio se enmarca en una investigación cualitativa de tipo revisión bibliográfica, cuyo objetivo es analizar y sintetizar el conocimiento existente sobre la evaluación de indicadores en la gestión de recursos hídricos. Para lograr este objetivo, se realizó una búsqueda exhaustiva en la base de datos Scopus, utilizando una combinación de palabras clave específica que permitió identificar los artículos más relevantes publicados en los últimos años.

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo exclusivamente en la base de datos Scopus, seleccionada por su amplio alcance y prestigio en la indexación de publicaciones científicas. Se definieron las siguientes palabras clave para la búsqueda: "evaluation", "water and resources", e "indicators". Estas palabras clave se aplicaron para filtrar los artículos publicados entre los años 2022 y 2024, con el fin de obtener la literatura más reciente y relevante en el área de estudio. La búsqueda inicial arrojó un total de 921 documentos.

2.2. Criterios de inclusión y exclusión

Para asegurar la pertinencia y calidad de los estudios incluidos en la revisión, se establecieron criterios de inclusión específicos. Solo se consideraron artículos que estuvieran indexados en Scopus, publicados en revistas revisadas por pares y que se centraran en el desarrollo, aplicación o evaluación de indicadores en el contexto de la gestión de recursos hídricos. Se excluyeron artículos que no estuvieran directamente relacionados con el tema central del estudio, así como aquellos que presentaran una metodología cuantitativa sin un análisis cualitativo profundo, o que estuvieran fuera del rango de tiempo establecido (2022-2024).

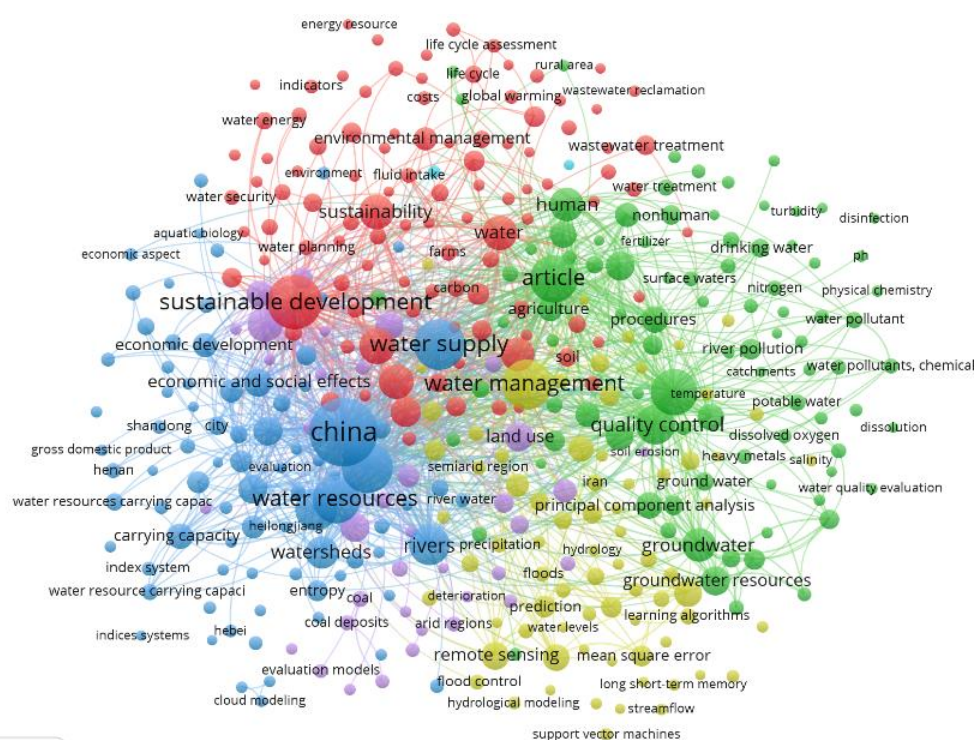
2.3. Análisis de correlaciones

Una vez seleccionados los artículos pertinentes, se realizó un análisis de correlaciones utilizando la herramienta VOSviewer. Este software permite visualizar y analizar las relaciones entre términos y conceptos clave presentes en los documentos seleccionados. Para ello, se generó un mapa de co-ocurrencias de términos basado

en los títulos, resúmenes y palabras clave de los artículos. La imagen obtenida de este análisis muestra las conexiones y agrupamientos entre los términos más relevantes, lo que facilita la identificación de temas centrales y tendencias en la investigación sobre la evaluación de indicadores en la gestión de recursos hídricos.

El análisis en VOSviewer permitió identificar clusters o agrupaciones de términos, que reflejan los principales enfoques y áreas de interés dentro de la literatura revisada. Estos clusters están representados por diferentes colores en el mapa, indicando las relaciones temáticas entre los artículos y proporcionando una visión global de las líneas de investigación más relevantes en el campo.

Figura 1:
Gráfico de Correlaciones



Nota: VosViwer 2024

2.4. Síntesis y análisis cualitativo

Tras el análisis de correlaciones, se procedió a una síntesis cualitativa de los hallazgos. Este proceso implicó la revisión detallada de los artículos seleccionados, con el fin de extraer y organizar la información relevante sobre los indicadores utilizados para la gestión de recursos hídricos. Se prestó especial atención a las metodologías empleadas, los contextos de aplicación, y los resultados obtenidos, con el objetivo de identificar patrones, vacíos y oportunidades de investigación futura. La información se estructuró en torno a los temas y clusters identificados en el análisis de correlaciones, lo que permitió una organización coherente y un análisis profundo de la literatura existente.

2.5. Limitaciones

Es importante señalar que, aunque la revisión se centró en artículos indexados en Scopus y utilizó herramientas avanzadas como VOSviewer para el análisis de correlaciones, existen algunas limitaciones inherentes a este enfoque. La búsqueda de artículos estuvo limitada a un rango de tiempo específico (2022-2024), lo que podría excluir estudios relevantes publicados fuera de este periodo. Además, el enfoque cualitativo implica una interpretación subjetiva de los datos, lo que puede influir en la síntesis final de la información.

Este proceso metodológico proporciona una base sólida para el análisis de la literatura sobre la evaluación de indicadores en la gestión de recursos hídricos, contribuyendo a una mejor comprensión de los avances recientes y las áreas que requieren mayor atención en futuras investigaciones.

3. Resultados

3.1. Identificación de Indicadores Clave en la Gestión de Recursos Hídricos

La identificación y uso de indicadores en la gestión de recursos hídricos es fundamental para abordar los desafíos contemporáneos relacionados con la sostenibilidad y el desarrollo económico. En este sentido, los indicadores vinculados a la sostenibilidad y al desarrollo económico han demostrado ser predominantes, debido a su capacidad para reflejar tanto la eficiencia en el uso del agua como su impacto en el crecimiento económico de las regiones (Grigg, 2016). Estos indicadores no solo permiten monitorear el equilibrio entre la demanda y la oferta de recursos hídricos, sino también evaluar cómo la gestión del agua influye en el desarrollo socioeconómico, especialmente en áreas con limitaciones hídricas.

Un aspecto crítico dentro de la gestión integral de los recursos hídricos es la calidad del agua, la cual ha emergido como un indicador clave. La calidad del agua no solo afecta directamente a la salud pública, sino que también tiene implicaciones significativas para la agricultura, la industria y la biodiversidad acuática. Según Vörösmarty et al. (2010), los indicadores de calidad del agua permiten evaluar la efectividad de las políticas de gestión hídrica, especialmente en contextos donde la contaminación y la degradación de las fuentes de agua son problemas apremiantes. Además, estos indicadores son esenciales para garantizar el cumplimiento de normativas ambientales y para promover la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos.

El uso de indicadores socioeconómicos se ha vuelto frecuente en la evaluación del impacto de la gestión hídrica, dado que estos indicadores proporcionan una visión holística de cómo las políticas de gestión afectan a las comunidades y a las economías locales. Tal como señalan Mehta et al. (2014), los indicadores socioeconómicos son cruciales para medir la equidad en el acceso al agua, el impacto de las políticas de

gestión en los medios de vida, y la resiliencia de las comunidades frente a eventos climáticos extremos. Estos indicadores, al integrar dimensiones sociales y económicas, permiten a los gestores del agua tomar decisiones más informadas y equitativas.

Finalmente, la necesidad de integrar indicadores ecológicos en los modelos de gestión hídrica es cada vez más reconocida en la literatura científica. Los indicadores ecológicos, que incluyen aspectos como la salud de los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad, son esenciales para asegurar que las prácticas de gestión hídrica no comprometan la integridad ecológica de las cuencas hidrográficas (Gain et al., 2013). Sin embargo, la integración de estos indicadores ha sido limitada, en parte debido a la complejidad en su medición y a la falta de datos consistentes. A medida que la ciencia de la gestión del agua avanza, es crucial desarrollar enfoques que incorporen de manera efectiva estos indicadores, garantizando una gestión hídrica verdaderamente sostenible.

3.2. Tendencias en la Aplicación de Indicadores según el Análisis de Correlaciones

El análisis de correlaciones realizado mediante la herramienta VOSviewer ha revelado patrones significativos en la literatura reciente sobre la gestión de recursos hídricos, destacando la interrelación entre el manejo del agua y la sostenibilidad. Los agrupamientos temáticos identificados indican que la sostenibilidad se ha consolidado como un eje central en los estudios sobre gestión hídrica, reflejando una creciente conciencia sobre la necesidad de integrar prácticas sostenibles en la administración de los recursos naturales (Herd & Wals, 2017). Este enfoque se manifiesta en la prevalencia de indicadores que no solo evalúan la eficiencia en el uso del agua, sino que también consideran el impacto ambiental y social de las prácticas de gestión.

Una tendencia notable que surge del análisis de correlaciones es la fuerte asociación entre los términos "China" y "desarrollo sostenible". En la última década, China ha intensificado sus esfuerzos para implementar estrategias de desarrollo que equilibran el crecimiento económico con la preservación ambiental, lo que se refleja en un aumento significativo de la producción académica en este ámbito (Yang & Zhang, 2020). Esta correlación sugiere que China, enfrentando desafíos como la escasez de agua y la contaminación, ha emergido como un caso de estudio crucial en la investigación sobre sostenibilidad y gestión de recursos hídricos. Los estudios recientes se han centrado en cómo las políticas de gestión del agua en China están alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), destacando tanto los logros como las áreas de mejora necesarias.

El análisis también ha revelado conexiones significativas entre los indicadores de calidad del agua y las prácticas de tratamiento de aguas residuales. Esta relación indica que los estudios han enfatizado la importancia de monitorear la calidad del agua como un componente esencial de la gestión de aguas residuales, con el fin de proteger la salud pública y los ecosistemas acuáticos (Vörösmarty et al., 2010). Los indicadores

relacionados con la calidad del agua permiten evaluar la efectividad de las tecnologías y prácticas de tratamiento de aguas residuales, lo que a su vez contribuye a la sostenibilidad de las fuentes hídricas. Esta tendencia subraya la necesidad de continuar desarrollando y perfeccionando los métodos de evaluación para asegurar que las prácticas de tratamiento no solo cumplan con los estándares regulatorios, sino que también contribuyan a la mejora continua de la calidad del agua.

Por último, el análisis de correlaciones ha permitido identificar nuevas áreas emergentes en la investigación sobre gestión de recursos hídricos, como el uso de tecnologías de teledetección. Estas tecnologías han ganado relevancia debido a su capacidad para proporcionar datos precisos y en tiempo real sobre diversas variables hídricas, lo que es crucial para la gestión adaptativa y la toma de decisiones informadas (Elmi et al., 2023). La teledetección se ha utilizado para monitorear el uso del suelo, la evapotranspiración y la disponibilidad de agua, entre otros factores, permitiendo a los gestores del agua anticipar problemas y optimizar el uso de los recursos. Esta tendencia emergente representa una oportunidad para innovar en la evaluación de recursos hídricos, integrando enfoques tecnológicos avanzados que pueden mejorar significativamente la eficiencia y sostenibilidad de la gestión hídrica.

3.3. Limitaciones y Desafíos en la Implementación de Indicadores

La implementación de indicadores en la gestión de recursos hídricos enfrenta múltiples limitaciones y desafíos que pueden comprometer su efectividad y aplicabilidad en diferentes contextos. Uno de los principales obstáculos es la falta de estandarización en los indicadores utilizados a nivel global. Esta carencia de uniformidad dificulta la comparación y la integración de datos entre regiones y países, lo que resulta en una fragmentación del conocimiento y en una gestión menos eficaz de los recursos hídricos (Hering et al., 2010). Sin una estandarización adecuada, los indicadores pueden variar significativamente en función de factores locales, lo que impide el desarrollo de estrategias coherentes y comparables a nivel internacional.

Otro desafío significativo es la medición precisa de variables socioeconómicas y su integración en la gestión hídrica. Las variables socioeconómicas, como la equidad en el acceso al agua y el impacto económico de la gestión hídrica, son fundamentales para comprender el verdadero alcance de las políticas de gestión. Sin embargo, estas variables suelen ser difíciles de cuantificar debido a su naturaleza multidimensional y a la variabilidad de los contextos sociales y económicos (Pahl-Wostl et al., 2018). La integración efectiva de estos indicadores en los modelos de gestión hídrica requiere metodologías avanzadas y adaptativas que aún están en desarrollo, lo que representa un desafío tanto técnico como metodológico para los gestores del agua.

Además, la adopción limitada de indicadores ecológicos sigue siendo un problema crítico, a pesar de su importancia para asegurar la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos. La complejidad inherente en la medición y análisis de los indicadores ecológicos, que incluyen aspectos como la biodiversidad y la integridad ecológica, ha impedido su inclusión generalizada en los marcos de gestión hídrica (Grizzetti et al.,

2012). Estos indicadores requieren datos detallados y continuos que no siempre están disponibles o son difíciles de obtener, especialmente en regiones con recursos limitados para la investigación ambiental. La falta de adopción de estos indicadores puede conducir a una subestimación del impacto ecológico de las políticas de gestión, comprometiendo así la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos.

Finalmente, la implementación de indicadores a largo plazo para la evaluación continua del impacto presenta un desafío significativo. La evaluación a largo plazo es esencial para entender las tendencias y los efectos acumulativos de las políticas de gestión hídrica, pero a menudo se ve obstaculizada por la falta de recursos, la inestabilidad política, y la priorización de resultados a corto plazo (Loucks & van Beek, 2017). Esta dificultad se agrava por la necesidad de mantener la consistencia en la recolección y análisis de datos a lo largo del tiempo, lo que requiere un compromiso institucional que muchas veces es difícil de asegurar. Sin una implementación sostenida de indicadores a largo plazo, es difícil evaluar de manera precisa y exhaustiva el impacto real de las políticas de gestión hídrica, lo que puede llevar a decisiones subóptimas y a la perpetuación de prácticas insostenibles.

En síntesis, la implementación de indicadores en la gestión de recursos hídricos enfrenta una serie de desafíos que van desde la falta de estandarización y la complejidad en la medición de variables clave, hasta la limitada adopción de indicadores ecológicos y las dificultades para mantener evaluaciones a largo plazo. Superar estas barreras es esencial para desarrollar un marco de gestión hídrica más eficaz y sostenible que pueda responder adecuadamente a los desafíos contemporáneos.

3.4. Propuestas para el Desarrollo Futuro de Indicadores en la GIRH

El futuro de la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) depende en gran medida de la evolución y perfeccionamiento de los indicadores utilizados para evaluar y guiar las políticas hídricas. Una propuesta esencial es el desarrollo de un marco unificado que integre de manera holística indicadores hidrológicos, ecológicos y socioeconómicos. Este marco permitiría capturar de forma más precisa y completa la complejidad de las cuencas hidrográficas, facilitando una gestión más efectiva y sostenible (Loucks & van Beek, 2017). La integración de estos tres tipos de indicadores es crucial para entender no solo los aspectos físicos del agua, sino también su impacto en los ecosistemas y las comunidades humanas, proporcionando así una visión comprensiva y equilibrada de la realidad hídrica.

En paralelo, la promoción del uso de tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial (IA), se presenta como una oportunidad significativa para mejorar la precisión y la utilidad de los indicadores en la GIRH. La IA, junto con técnicas de aprendizaje automático, puede procesar grandes volúmenes de datos y detectar patrones complejos que escapan a los métodos tradicionales de análisis (Feng et al., 2020). Estas tecnologías permiten una predicción más precisa de eventos hidrológicos, la optimización en tiempo real de la gestión de recursos y la creación de modelos

adaptativos que respondan a las condiciones cambiantes del entorno. La incorporación de IA en la GIRH no solo mejora la calidad de los indicadores, sino que también potencia la capacidad de los gestores del agua para tomar decisiones informadas y oportunas.

El fomento de la cooperación internacional para la estandarización y aplicación global de indicadores de GIRH es otra propuesta crítica para avanzar en la gestión hídrica. La creación de estándares globales facilitaría la comparación y la integración de datos a nivel internacional, promoviendo un enfoque más coordinado y efectivo en la gestión de los recursos hídricos (Hering et al., 2010). Esta cooperación es especialmente importante en un contexto global donde los desafíos relacionados con el agua, como la escasez y la contaminación, trascienden fronteras nacionales. Organismos internacionales, gobiernos, y entidades académicas deben trabajar en conjunto para desarrollar y adoptar indicadores que sean aplicables en diferentes contextos, respetando las particularidades locales, pero asegurando al mismo tiempo la coherencia y la comparabilidad de los datos a nivel global.

Finalmente, es imperativo desarrollar indicadores específicos para abordar los desafíos emergentes del cambio climático y la variabilidad hídrica. El cambio climático está alterando los patrones de precipitación, aumentando la frecuencia y severidad de eventos extremos como sequías e inundaciones, lo que exige nuevos enfoques para la evaluación y gestión de los recursos hídricos (IPCC, 2021). Los indicadores actuales a menudo no son suficientes para capturar la magnitud y las implicaciones de estos cambios. Es necesario diseñar indicadores que no solo reflejen las condiciones presentes, sino que también anticipen las tendencias futuras y permitan a los gestores del agua implementar medidas preventivas y adaptativas. Estos nuevos indicadores deben ser capaces de integrar datos climáticos, hidrológicos y socioeconómicos, proporcionando una herramienta robusta para enfrentar los desafíos que plantea el cambio climático en la gestión de los recursos hídricos.

En resumen, el desarrollo futuro de indicadores en la GIRH debe centrarse en la creación de un marco integrado y globalmente estandarizado, que aproveche las tecnologías avanzadas y esté preparado para enfrentar los desafíos emergentes del cambio climático. Solo a través de un enfoque multidimensional, tecnológico y colaborativo será posible garantizar una gestión hídrica sostenible y equitativa en las próximas décadas.

4. Discusión

La gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) se ha consolidado como un enfoque esencial para enfrentar los desafíos contemporáneos en la administración de recursos hídricos, especialmente en un contexto marcado por el cambio climático, la creciente demanda de agua, y la necesidad de sostenibilidad ambiental y equidad social. A lo largo de esta revisión, se ha evidenciado que, aunque se han realizado importantes

avances en la identificación y aplicación de indicadores, persisten limitaciones significativas que impiden una implementación totalmente efectiva y globalmente coherente de la GIRH.

En primer lugar, la falta de estandarización de los indicadores utilizados en diferentes regiones y contextos emerge como un obstáculo crítico. Esta carencia dificulta la comparabilidad de datos y la integración de estrategias a nivel internacional, lo que resulta en enfoques fragmentados y, en muchos casos, ineficaces para la gestión hídrica (Hering et al., 2010). A pesar de los esfuerzos realizados por diversos organismos internacionales para establecer marcos comunes, la diversidad de contextos ambientales, sociales y económicos hace que la estandarización sea un desafío complejo. Sin embargo, esta misma diversidad subraya la necesidad urgente de desarrollar indicadores flexibles y adaptables, que puedan ser ajustados a las particularidades de cada región sin perder la coherencia global necesaria para la colaboración internacional.

La medición e integración de variables socioeconómicas en la GIRH es otro desafío destacado en esta revisión. Estas variables son fundamentales para evaluar el impacto de las políticas de gestión hídrica sobre las comunidades, especialmente en términos de equidad en el acceso al agua y resiliencia frente a eventos climáticos extremos (Pahl-Wostl et al., 2018). No obstante, su naturaleza multidimensional y la variabilidad en los contextos socioeconómicos hacen que su cuantificación e integración sean complicadas. Esta dificultad, si no se aborda adecuadamente, podría llevar a una subestimación del impacto real de las políticas de gestión hídrica, perpetuando inequidades y prácticas insostenibles.

A lo largo del análisis, también se ha observado una adopción limitada de indicadores ecológicos, a pesar de su importancia crítica para la sostenibilidad a largo plazo de los ecosistemas acuáticos. La complejidad en la medición y análisis de estos indicadores ha sido un factor determinante en su escasa implementación, lo que representa una grave omisión en la mayoría de los marcos de GIRH actuales (Grizzetti et al., 2012). Dada la creciente evidencia de que la salud de los ecosistemas es un componente integral del ciclo del agua y, por ende, de la disponibilidad de recursos hídricos, es imperativo que los futuros esfuerzos de investigación y gestión se centren en superar estos obstáculos técnicos y metodológicos.

Un aspecto emergente en la literatura revisada es el potencial de las tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial (IA), para mejorar la precisión y la aplicabilidad de los indicadores en la GIRH. La IA y el aprendizaje automático ofrecen oportunidades sin precedentes para procesar grandes volúmenes de datos, identificar patrones complejos y proporcionar modelos predictivos que pueden optimizar la gestión de los recursos hídricos en tiempo real (Feng et al., 2020). Sin embargo, la implementación de estas tecnologías también plantea desafíos relacionados con la accesibilidad, la capacitación técnica y la integración en sistemas de gestión ya existentes. A medida que estas tecnologías se desarrollan y se vuelven más

accesibles, es crucial que se promueva su adopción en la GIRH, asegurando que los beneficios potenciales se distribuyan equitativamente entre todas las regiones y sectores.

Finalmente, la necesidad de desarrollar indicadores específicos para abordar los desafíos del cambio climático y la variabilidad hídrica se destaca como una prioridad ineludible. El cambio climático está modificando radicalmente los patrones de precipitación y escorrentía, lo que exige la creación de nuevos indicadores que puedan anticipar y mitigar los impactos de estos cambios en los recursos hídricos (IPCC, 2021). La gestión hídrica adaptativa, apoyada por indicadores robustos y específicos, es esencial para asegurar la disponibilidad de agua en el futuro y para proteger tanto a las comunidades humanas como a los ecosistemas que dependen de este recurso vital.

5. Conclusiones

A través de esta revisión bibliográfica, se ha evidenciado que la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) es un enfoque indispensable para enfrentar los desafíos contemporáneos asociados con la escasez de agua, la degradación ambiental y la presión demográfica. Sin embargo, la implementación efectiva de la GIRH enfrenta numerosas limitaciones y desafíos que deben ser abordados para maximizar su eficacia.

Uno de los principales retos identificados es la falta de estandarización en los indicadores utilizados a nivel global. Esta carencia impide la comparabilidad de los datos y dificulta la coordinación internacional en la gestión hídrica, lo que subraya la necesidad urgente de desarrollar un marco unificado de indicadores que sea adaptable a diversos contextos sin perder coherencia. Además, la integración de variables socioeconómicas sigue siendo un desafío complejo, pero crucial para evaluar el impacto de las políticas de gestión hídrica sobre las comunidades y garantizar la equidad en el acceso al agua.

La revisión también ha puesto de manifiesto la adopción limitada de indicadores ecológicos, lo que constituye una omisión significativa dada la importancia de la salud de los ecosistemas acuáticos para la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos. Superar las dificultades asociadas con la medición y análisis de estos indicadores es esencial para una gestión hídrica que realmente proteja el medio ambiente. En este contexto, las tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial, presentan un gran potencial para mejorar la precisión y la aplicabilidad de los indicadores, aunque su adopción generalizada dependerá de superar barreras relacionadas con la accesibilidad y la capacitación técnica.

Finalmente, el cambio climático y la variabilidad hídrica emergen como factores que exigen la creación de nuevos indicadores específicos que permitan anticipar y mitigar sus impactos. La capacidad de la GIRH para adaptarse a estos desafíos será determinante para asegurar la disponibilidad y calidad del agua en el futuro.

En conclusión, para avanzar hacia una gestión hídrica más efectiva y sostenible, es imprescindible desarrollar y estandarizar indicadores que integren dimensiones hidrológicas, ecológicas y socioeconómicas, apoyados por tecnologías avanzadas y diseñados para enfrentar los desafíos del cambio climático. La colaboración internacional y un enfoque multidisciplinario serán claves para superar los obstáculos identificados y garantizar una gestión hídrica equitativa y sostenible en las próximas décadas.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Referencias Bibliográficas

- Biswas, A. K. (2008). Integrated water resources management: Is it working? *International Journal of Water Resources Development*, 24(1), 5-22.
- Elmi, A., Melesse, A. M., & Abtew, W. (2023). Advances in remote sensing applications for water resources management. *Water*, 15(3), 1-14.
- Feng, M., Liu, P., Wang, L., & Zhang, X. (2020). Integrating deep learning and optimization to provide decision support for water resource management. *Environmental Modelling & Software*, 124, 104588.
- Gain, A. K., Schwab, M., Mannel, S., & Giupponi, C. (2013). Water resources management in the Lower Mekong Basin: A review of the literature. *Sustainability Science*, 8(4), 553-574.
- Grigg, N. S. (2016). Integrated water resources management: Unified process or debate forum? *International Journal of Water Resources Development*, 32(5), 673-685.
- Grizzetti, B., Bouraoui, F., & Aloe, A. (2012). Changes of nitrogen and phosphorus loads to European seas. *Global Change Biology*, 18(2), 769-782.
- Herd, A., & Wals, A. E. J. (2017). Capacity building for water quality monitoring: A review of global and regional networks. *Environmental Education Research*, 23(5), 593-617.
- Hering, D., Borja, A., Carstensen, J., Carvalho, L., Elliott, M., Feld, C. K., ... & Solheim, A. L. (2010). The European Water Framework Directive at the age of 10: A

- critical review of the achievements with recommendations for the future. *Science of the Total Environment*, 408(19), 4007-4019.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- Loucks, D. P., & van Beek, E. (2017). *Water Resource Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models, and Applications*. Springer.
- Mehta, L., Allouche, J., Nicol, A., & Walnycki, A. (2014). Global environmental justice and the right to water: The case of peri-urban Cochabamba and Delhi. *Geoforum*, 54, 158-166.
- Molle, F., & Wester, P. (2009). River basin trajectories: Societies, environments, and development. *CAB International*.
- Pahl-Wostl, C., Gupta, J., & Petry, D. (2018). Governance and the global water system: A theoretical exploration. *Global Water System Project*. Springer.
- UNESCO. (2009). *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. UNESCO Publishing.
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., & Davies, P. M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555-561.
- Yang, H., & Zhang, J. (2020). China's water resource management challenges and opportunities in the new era. *Sustainability*, 12(1), 56-72.