

Saberes ancestrales, tecnologías emergentes y gestión sostenible del agua: revisión sistemática de la literatura para orientar una herramienta digital en la comunidad indígena Kisgó

Ancestral knowledge, emerging technologies, and sustainable water management: A systematic literature review to guide a digital tool for the Kisgó indigenous community

(1) Vanessa Agredo-Delgado [0000-0003-0870-6895], (2) Cesar A. Collazos [0000-0002-7099-8131], (3) Diana Mendoza [0009-0001-3904-7477]

(1) Universidad del Cauca, vanessaagredo@unicauca.edu.co

(2) Universidad del Cauca, ccolazo@unicauca.edu.co

(3) ESRI Colombia, dmendozaco@gmail.com

Resumen. La gestión sostenible del agua en comunidades indígenas constituye un desafío ambiental, social y cultural que requiere enfoques capaces de articular conocimiento local, participación comunitaria y tecnologías digitales. En la comunidad indígena Kisgó, ubicada en Silvia, Cauca, Colombia, el agua cumple un papel central en las prácticas territoriales, productivas y culturales; sin embargo, la variabilidad climática, la transformación territorial y el debilitamiento de la transmisión intergeneracional de saberes plantean retos para su gestión. Este artículo presenta una revisión sistemática de la literatura orientada a fundamentar el diseño futuro de una herramienta digital intercultural para apoyar la gestión sostenible del agua en dicha comunidad. La revisión siguió la guía PRISMA 2020 e identificó enfoques metodológicos, tecnologías emergentes y principios de Interacción Humano-Computador aplicados en contextos rurales, comunitarios e indígenas. Los hallazgos evidencian la relevancia de metodologías participativas, co-diseño, monitoreo comunitario, tecnologías IoT de bajo costo, apropiación tecnológica y gobernanza ética de datos y saberes. Como resultado, se propone un modelo conceptual preliminar que organiza dimensiones sociotécnicas para orientar etapas posteriores de co-diseño, implementación y evaluación participativa.

Palabras clave: Gestión del agua, Comunidad indígena, Internet de las Cosas (IoT), Diseño participativo, Interacción Humano-Computador, Saberes ancestrales.

Abstract. Sustainable water management in Indigenous communities is an environmental, social, and cultural challenge that requires approaches capable of articulating local knowledge, community participation, and digital technologies. In the Kisgó Indigenous community, located in Silvia, Cauca, Colombia, water plays a central role in territorial, productive, and cultural practices; however, climate variability, territorial transformation, and the weakening of intergenerational knowledge transmission pose challenges for its management. This article presents a systematic literature review aimed at informing the future design of an intercultural digital tool to support sustainable water management in this community. The review followed the PRISMA 2020 guidelines and identified methodological approaches, emerging technologies, and Human-Computer Interaction principles applied in rural, community-based, and Indigenous contexts. The findings highlight the relevance of participatory methodologies, co-design, community-based monitoring, low-cost IoT technologies, technological appropriation, and ethical governance of data and knowledge. As a result, a preliminary conceptual model is proposed to organize sociotechnical dimensions that may guide subsequent stages of participatory co-design, implementation, and evaluation.

Keywords: Water management, Indigenous communities, Internet of Things (IoT), Participatory design, Human-computer interaction, Ancestral knowledge.

1. INTRODUCCIÓN

La gestión sostenible del agua en comunidades indígenas constituye un desafío ambiental, social, cultural y tecnológico que requiere enfoques capaces de reconocer la relación profunda entre territorio, conocimiento local, prácticas comunitarias y transformación climática (Berkes, 2018). Los pueblos indígenas han desarrollado sistemas de conocimiento basados en la observación prolongada de los ecosistemas, la transmisión intergeneracional y la gestión colectiva de los recursos naturales, los cuales resultan relevantes para la adaptación climática y la sostenibilidad territorial (Dorji et al., 2024). Sin embargo, estos conocimientos continúan siendo insuficientemente integrados en los enfoques técnico-científicos convencionales, especialmente cuando las soluciones para la gestión del agua se diseñan desde perspectivas externas o únicamente técnicas (Whyte, 2013).

En estos contextos, el agua no puede comprenderse únicamente como un recurso físico, sino como un elemento articulador de la vida comunitaria, la identidad territorial, la espiritualidad, la producción agrícola y la gobernanza local. La literatura sobre gobernanza indígena del agua destaca que las formas de relación con este recurso están asociadas con derechos colectivos, responsabilidades territoriales, prácticas culturales y mecanismos propios de toma de decisiones (Arsenault et al., 2018; Diver et al., 2022). Por ello, cualquier iniciativa orientada a la gestión sostenible del agua en comunidades indígenas debe considerar no solo variables ambientales o técnicas, sino también dimensiones culturales, sociales, éticas y participativas (Wilson et al., 2018).

De manera paralela, las tecnologías emergentes han abierto nuevas posibilidades para apoyar la gestión del agua mediante sistemas de monitoreo, análisis de datos y apoyo a la toma de decisiones. Por su parte, el Internet de las Cosas permite capturar variables relacionadas con calidad,

disponibilidad, nivel o caudal del agua mediante sensores conectados, mientras que la Inteligencia Artificial puede apoyar procesos de predicción, clasificación y análisis de patrones en sistemas hídricos (Amanatidis et al., 2026; Krishnan et al., 2022; Singh & Ahmed, 2021). Sin embargo, su incorporación en contextos rurales e indígenas no garantiza por sí misma una mejora en la gestión del recurso, especialmente cuando existen barreras de infraestructura, conectividad, alfabetización digital, apropiación tecnológica y pertinencia cultural.

Desde la Interacción Humano-Computador, esta problemática exige superar una visión centrada exclusivamente en la eficiencia técnica de las herramientas digitales. El diseño de tecnologías para contextos comunitarios e interculturales requiere comprender quiénes son los usuarios, cuáles son sus prácticas, cómo se organiza el conocimiento, qué formas de representación resultan significativas y bajo qué condiciones una tecnología puede ser apropiada por la comunidad (Norman, 2013). En este sentido, el Diseño Centrado en el Usuario y el co-diseño han mostrado la importancia de involucrar activamente a los usuarios en la definición de necesidades, requerimientos, prototipos y criterios de evaluación (Sanders & Stappers, 2008). Asimismo, las aproximaciones de diseño culturalmente sensible destacan que las tecnologías deben ser no solo usables, sino también respetuosas de los contextos culturales en los que serán incorporadas (Anderson-Coto et al., 2024).

A pesar de estos avances, persiste una brecha relevante, los estudios sobre tecnologías digitales para la gestión del agua suelen concentrarse en el monitoreo y análisis de datos, mientras que los trabajos sobre saberes indígenas y gobernanza del agua enfatizan dimensiones socioculturales, territoriales o políticas. En consecuencia, aún son limitadas las investigaciones que articulan de manera sistemática conocimiento ancestral, tecnologías emergentes e Interacción Humano-Computador para orientar el diseño de herramientas digitales culturalmente pertinentes. En este contexto, el presente artículo se enfoca en la comunidad indígena Kisgó, ubicada en Silvia, Cauca, Colombia, y desarrolla una revisión sistemática basada en PRISMA 2020 para identificar enfoques metodológicos, tecnologías emergentes y principios de diseño que fundamenten etapas posteriores de co-diseño, implementación y evaluación participativa. A partir de esta revisión, se propone un modelo conceptual preliminar que organiza las dimensiones necesarias para orientar el desarrollo futuro de soluciones digitales más participativas, éticas y culturalmente pertinentes.

2. METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló mediante una revisión sistemática de la literatura orientada a identificar enfoques metodológicos, tecnologías emergentes y principios de Interacción Humano-Computador aplicables al diseño futuro de una herramienta digital intercultural para la gestión sostenible del agua en comunidades indígenas. La revisión siguió las recomendaciones de la guía PRISMA 2020, con el propósito de garantizar transparencia en la identificación, selección y síntesis de los estudios incluidos (Page et al., 2021).

2.1. Diseño de la revisión

La revisión se estructuró a partir de cuatro preguntas de investigación orientadas a identificar: i) enfoques metodológicos para integrar saberes ancestrales y tecnologías digitales en contextos comunitarios; ii) tecnologías emergentes aplicadas a la gestión del agua en entornos rurales, indígenas o comunitarios; iii) principios de Interacción Humano-Computador que favorezcan la

apropiación tecnológica; y iv) limitaciones técnicas, metodológicas, culturales y éticas reportadas en la literatura. Estas preguntas permitieron organizar el análisis en torno a conocimiento ancestral, gestión sostenible del agua, tecnologías digitales y diseño participativo.

2.2. Estrategia de búsqueda y fuentes de información

La búsqueda se realizó en Scopus, Web of Science, IEEE Xplore y Google Scholar. Las tres primeras bases fueron seleccionadas por su cobertura de literatura científica indexada en ingeniería, tecnologías digitales, ciencias ambientales, sostenibilidad e Interacción Humano-Computador. Google Scholar se utilizó como fuente complementaria para identificar literatura académica adicional, verificar referencias relevantes y apoyar procesos de búsqueda hacia atrás y hacia adelante; sin embargo, la inclusión final priorizó documentos académicos revisados por pares y fuentes institucionales de alta pertinencia.

La cadena general de búsqueda se construyó mediante la combinación de términos asociados con conocimiento ancestral, gestión del agua y tecnologías digitales. La cadena base fue la siguiente:

("indigenous knowledge" OR "ancestral knowledge" OR "traditional ecological knowledge" OR "local knowledge") AND ("water management" OR "water governance" OR "water conservation" OR "water resource management") AND ("Internet of Things" OR IoT OR "artificial intelligence" OR "machine learning" OR "human-computer interaction" OR HCI OR "participatory design" OR "co-design" OR "user-centered design")

Esta cadena fue adaptada de acuerdo con la sintaxis de cada base de datos, manteniendo la equivalencia semántica entre los términos de búsqueda. Para ampliar la recuperación de estudios relevantes, también se realizaron búsquedas complementarias combinando pares de dimensiones, especialmente cuando la cadena completa resultaba demasiado restrictiva. Por ejemplo, se emplearon combinaciones entre conocimiento ancestral y gobernanza del agua, tecnologías digitales y gestión hídrica, o diseño participativo y comunidades indígenas.

La búsqueda se realizó durante el primer semestre de 2025 y se limitó a publicaciones comprendidas entre 2015 y 2025.

2.3. Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron publicaciones entre 2015 y 2025, escritas en inglés o español, que abordaran al menos una de las relaciones centrales del estudio: saberes ancestrales y gestión del agua, tecnologías digitales aplicadas a la gestión hídrica, diseño participativo en comunidades rurales o indígenas, o apropiación tecnológica en contextos comunitarios. También se incluyeron estudios relacionados con Interacción Humano-Computador, co-diseño, diseño centrado en el usuario o diseño culturalmente sensible, siempre que aportaran elementos aplicables al futuro diseño de herramientas digitales interculturales.

Se excluyeron estudios exclusivamente técnicos sin relación con usuarios, comunidades o contexto sociocultural; documentos sin acceso a texto completo; trabajos sin claridad metodológica; publicaciones duplicadas; textos de divulgación, prensa, blogs o fuentes no académicas; y estudios que no presentaran relación directa con gestión del agua, conocimiento local, tecnologías digitales o

diseño participativo. Esta decisión respondió a la necesidad de fortalecer la calidad académica de la revisión y reducir la dependencia de fuentes grises o no verificables.

2.4. Selección de estudios y extracción de información

El proceso de selección siguió cuatro etapas: identificación, eliminación de duplicados, cribado y elegibilidad. En la fase de identificación se recuperaron 312 registros iniciales. Luego de eliminar duplicados, se conservaron 268 documentos únicos. Posteriormente, se revisaron títulos y resúmenes, aplicando los criterios de inclusión y exclusión, lo que permitió seleccionar 124 estudios potencialmente relevantes. En la etapa de elegibilidad se realizó la lectura completa de los documentos, reduciendo el conjunto a 52 estudios. Finalmente, se incluyeron 28 estudios para la síntesis cualitativa.

Para cada estudio incluido se registró información bibliográfica, objetivo, contexto de aplicación, enfoque metodológico, tecnología utilizada, tipo de participación comunitaria, principios de diseño, principales resultados y limitaciones reportadas. La extracción de información permitió construir una síntesis cualitativa orientada a identificar patrones, relaciones y vacíos en la literatura. Específicamente, el análisis buscó establecer cómo se relacionan las dimensiones de conocimiento ancestral, gestión del agua, tecnologías emergentes, apropiación tecnológica y diseño participativo.

2.5. Síntesis y análisis

La síntesis se realizó mediante análisis temático. Los hallazgos se agruparon en cuatro categorías: enfoques participativos, tecnologías emergentes aplicadas a la gestión del agua, principios de Interacción Humano-Computador para la apropiación tecnológica y limitaciones de implementación en contextos indígenas o comunitarios. Esta organización permitió conectar los resultados de la revisión con el propósito del artículo y sirvió como base para proponer un modelo conceptual preliminar, entendido como una organización inicial de dimensiones para orientar etapas posteriores de co-diseño, implementación y evaluación.

3. RESULTADOS DE LA REVISIÓN

La revisión permitió identificar que la integración entre saberes ancestrales, tecnologías emergentes y gestión sostenible del agua no se configura como una relación lineal, sino como un proceso sociotécnico en el que intervienen dimensiones metodológicas, tecnológicas, culturales, éticas y de interacción. A partir del análisis de los estudios incluidos, los hallazgos se organizaron en cuatro categorías: enfoques participativos, tecnologías emergentes para la gestión del agua, principios de Interacción Humano-Computador y limitaciones para la implementación en contextos indígenas o comunitarios.

3.1. Enfoques participativos para articular conocimiento local y gestión del agua

Los estudios revisados muestran que las iniciativas más pertinentes en contextos indígenas y comunitarios son aquellas que reconocen a la comunidad como actor activo en la producción de conocimiento, y no únicamente como usuaria final de una tecnología. En este sentido, el monitoreo

comunitario, la investigación participativa y el co-diseño se presentan como enfoques relevantes para integrar conocimiento local, observación territorial y toma de decisiones sobre el agua.

Wilson et al. (2018) evidencian que el monitoreo comunitario de la calidad del agua puede funcionar como una práctica de gobernanza indígena, en la medida en que fortalece la capacidad local para generar datos, interpretar cambios ambientales y participar en decisiones relacionadas con el territorio. De manera complementaria, Arsenault et al. (2018) sostienen que las metodologías de investigación indígena permiten replantear los marcos convencionales de gobernanza del agua, al reconocer epistemologías propias, relaciones territoriales y formas colectivas de responsabilidad sobre el recurso hídrico. Estas aproximaciones sugieren que la participación comunitaria no debe limitarse a la validación final de una solución, sino incorporarse desde la definición del problema, la selección de variables, la interpretación de datos y la toma de decisiones.

3.2. Tecnologías emergentes para la gestión sostenible del agua

En relación con las tecnologías emergentes, los estudios analizados muestran un interés creciente por el uso de Internet de las Cosas, Inteligencia Artificial, computación en el borde y analítica de datos para apoyar la gestión del agua. Estas tecnologías permiten capturar, procesar y analizar información relacionada con variables como calidad del agua, disponibilidad, caudal, nivel, consumo o condiciones ambientales.

Amanatidis et al. (2026) destacan que la combinación de sensores IoT, redes de comunicación de bajo consumo, inteligencia artificial y análisis de datos puede contribuir a sistemas de gestión hídrica más eficientes, resilientes y sostenibles. Sin embargo, los estudios revisados advierten que la efectividad de estas tecnologías depende de su adecuación al contexto de uso. En comunidades rurales o indígenas, los criterios de bajo costo, mantenimiento local, conectividad limitada, facilidad de interpretación y apropiación comunitaria son tan importantes como la precisión técnica del sistema.

3.3. Principios de Interacción Humano-Computador y apropiación tecnológica

Los hallazgos de la revisión evidencian que la apropiación tecnológica en contextos indígenas no depende únicamente de la disponibilidad de dispositivos o conectividad, sino de la relación entre la tecnología, las prácticas culturales, los modelos mentales de los usuarios y las formas locales de organización del conocimiento. Desde esta perspectiva, la Interacción Humano-Computador aporta elementos clave para orientar el diseño de herramientas digitales culturalmente pertinentes.

El Diseño Centrado en el Usuario permite comprender necesidades, capacidades, limitaciones y expectativas de los usuarios antes de definir funcionalidades o interfaces (Norman, 2013). No obstante, en contextos indígenas este enfoque debe ampliarse hacia perspectivas participativas y culturalmente sensibles, donde la comunidad no solo evalúe la usabilidad de una herramienta, sino que participe en la construcción de sus contenidos, representaciones y criterios de uso. Anderson-Coto et al. (2024) resaltan la importancia de centrar las voces de la comunidad en procesos de diseño participativo, especialmente cuando se busca que las tecnologías sean culturalmente sostenibles y no reproduzcan enfoques externos.

3.4. Limitaciones técnicas, culturales y éticas identificadas

Los estudios revisados evidencian limitaciones recurrentes en la implementación de soluciones digitales en contextos comunitarios. Estas se relacionan principalmente con barreras técnicas (infraestructura, conectividad, disponibilidad de dispositivos y mantenimiento), limitaciones metodológicas asociadas con diseños externos poco participativos, y desafíos éticos vinculados con la protección del conocimiento ancestral y los datos generados por la comunidad. En este último aspecto, los principios CARE para la gobernanza de datos indígenas resaltan la importancia del beneficio colectivo, la autoridad para controlar los datos, la responsabilidad y la ética en el manejo de información vinculada con pueblos indígenas (Carroll et al., 2020; Carroll et al., 2021). Por tanto, una futura herramienta digital debe contemplar mecanismos de consentimiento, autorización comunitaria, control de acceso, resguardo de saberes sensibles y devolución de resultados. La Tabla 1 sintetiza las dimensiones derivadas de la revisión y sus implicaciones para orientar el diseño futuro de una herramienta digital intercultural.

Tabla 1. Dimensiones derivadas de la revisión para orientar el diseño futuro de una herramienta digital intercultural

Dimensión	Base identificada en la revisión	Implicación para el diseño futuro
Conocimiento ancestral y territorio	El conocimiento indígena aporta formas situadas de observar, interpretar y gestionar el territorio y el agua (Berkes, 2018; Whyte, 2013; Dorji et al., 2024).	Definir con la comunidad qué saberes pueden representarse digitalmente y cuáles deben mantenerse restringidos.
Participación comunitaria	La gobernanza del agua involucra responsabilidades territoriales, roles comunitarios y toma de decisiones colectivas (Arsenault et al., 2018; Wilson et al., 2018).	Incorporar a la comunidad en definición del problema, variables, contenidos, roles y criterios de evaluación.
Tecnologías emergentes	IoT e IA pueden apoyar monitoreo y análisis, pero requieren adaptación contextual (Amanatidis et al., 2026; Krishnan et al., 2022).	Priorizar tecnologías de bajo costo, mantenibles, comprensibles y viables en condiciones rurales.
Interacción y apropiación tecnológica	El co-diseño y el diseño centrado en el usuario favorecen la apropiación al integrar necesidades y prácticas reales de uso (Norman, 2013; Sanders & Stappers, 2008; Anderson-Coto et al., 2024).	Diseñar interfaces con lenguaje claro, representaciones culturalmente significativas y mecanismos de retroalimentación.
Gobernanza ética de datos y saberes	Los principios CARE enfatizan beneficio colectivo, autoridad para controlar datos, responsabilidad y ética (Carroll et al., 2020; Carroll et al., 2021).	Establecer consentimiento, control de acceso, resguardo de saberes sensibles y devolución de resultados.

Considerando los resultados, se evidencia que el diseño futuro de una herramienta digital para la gestión sostenible del agua en la comunidad Kísgó no debería partir únicamente de la selección de tecnologías, sino de la articulación entre conocimiento ancestral, participación comunitaria, diseño centrado en las personas, gobernanza de datos y sostenibilidad técnica. Esta síntesis constituye la base para el modelo conceptual preliminar que se presenta en la siguiente sección.

4. MODELO CONCEPTUAL PRELIMINAR DERIVADO DE LA REVISIÓN

A partir de los hallazgos sintetizados en la Tabla 1, se propone un modelo conceptual preliminar para orientar el diseño futuro de una herramienta digital intercultural de apoyo a la gestión sostenible del agua en la comunidad indígena Kísgó. Este modelo no constituye una arquitectura tecnológica implementada ni una solución validada con usuarios; corresponde a una síntesis analítica derivada de la revisión, cuyo propósito es organizar las dimensiones que deberían considerarse en fases posteriores de co-diseño, implementación y evaluación participativa.

El modelo se estructura en cinco dimensiones interrelacionadas: conocimiento ancestral y territorio, participación comunitaria, tecnologías emergentes, interacción y apropiación tecnológica, y

gobernanza ética de datos y saberes. Como se muestra en la Figura 1, estas dimensiones no operan de forma aislada, sino como componentes de un sistema sociotécnico orientado a que las decisiones sobre contenidos, variables de monitoreo, visualización, roles de usuario, acceso a la información y criterios de evaluación sean construidas progresivamente con la comunidad.

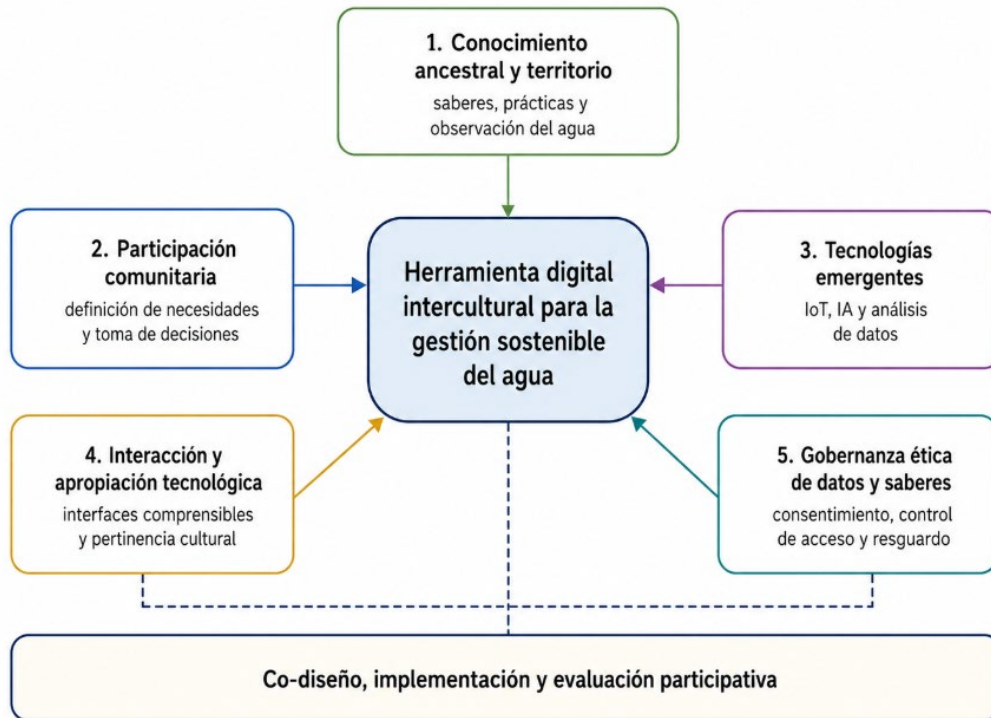


Figura 1. Modelo conceptual preliminar para orientar el diseño futuro de una herramienta digital intercultural para la gestión sostenible del agua.

Desde la perspectiva de Interacción Humano-Computador, el modelo sitúa la apropiación tecnológica y la pertinencia cultural como condiciones centrales del diseño. Por ello, la tecnología se concibe como un medio de apoyo para fortalecer la gestión local del agua y no como un sustituto del conocimiento ancestral. Considerando esto, la futura herramienta deberá definirse mediante procesos iterativos de co-diseño que permitan establecer qué saberes pueden ser representados digitalmente, qué información debe mantenerse restringida, qué variables hídricas son relevantes para la comunidad y bajo qué mecanismos se garantizará la gobernanza ética de los datos y saberes.

5. DISCUSIÓN, LIMITACIONES Y TRABAJO FUTURO

Los resultados de la revisión evidencian que el diseño de herramientas digitales para la gestión sostenible del agua en comunidades indígenas no puede abordarse únicamente desde la incorporación de tecnologías emergentes. La contribución principal al campo de la Interacción Persona Ordenador se sitúa en la formulación de un modelo conceptual preliminar que orienta procesos de diseño capaces de articular conocimiento ancestral, participación comunitaria, apropiación tecnológica y pertinencia cultural. En este sentido, el modelo conceptual preliminar propuesto permite organizar las dimensiones que deberían considerarse antes de avanzar hacia el desarrollo de una herramienta digital, evitando enfoques tecnocéntricos y promoviendo una aproximación situada, participativa y ética.

Asimismo, la revisión muestra que IoT e IA pueden aportar al monitoreo y análisis del recurso hídrico, pero su uso debe depender de decisiones construidas con la comunidad. Esto implica definir colectivamente qué variables son relevantes, cómo se interpretarán los datos, quién tendrá acceso a la información y qué tipo de saberes pueden ser registrados o digitalizados. Por tanto, la operacionalización del modelo requiere futuras actividades de co-diseño, caracterización comunitaria, definición de requerimientos, prototipado progresivo y evaluación de usabilidad, utilidad y pertinencia cultural.

El estudio presenta limitaciones. En la dimensión metodológica, la revisión se restringió a las bases de datos seleccionadas y a publicaciones entre 2015 y 2025, por lo que podrían existir estudios relevantes fuera del corpus analizado. En la dimensión empírica, el modelo conceptual aún no ha sido validado con la comunidad Kisgó ni con usuarios finales. En la dimensión tecnológica, no se presenta una arquitectura implementada ni pruebas con sensores, modelos de IA o prototipos funcionales. En la dimensión ética y cultural, se requiere definir con las autoridades y participantes comunitarios los mecanismos de consentimiento, gobernanza de datos, protección de saberes sensibles y devolución de resultados. Como trabajo futuro, se plantea desarrollar procesos participativos con la comunidad para validar y ajustar el modelo, definir requerimientos de la herramienta, construir prototipos y evaluar su apropiación en el contexto territorial.

6. CONCLUSIONES

Este artículo presentó una revisión sistemática de la literatura orientada a fundamentar el diseño futuro de una herramienta digital intercultural para apoyar la gestión sostenible del agua en la comunidad indígena Kisgó. Los hallazgos muestran que las iniciativas más pertinentes combinan metodologías participativas, reconocimiento del conocimiento ancestral, tecnologías emergentes adaptadas al contexto y principios de Interacción Humano-Computador centrados en apropiación, usabilidad y pertinencia cultural.

Como resultado de la revisión, se propuso un modelo conceptual preliminar que organiza cinco dimensiones clave: conocimiento ancestral y territorio, participación comunitaria, tecnologías emergentes, interacción y apropiación tecnológica, y gobernanza ética de datos y saberes. Este modelo no constituye una solución implementada ni validada, sino una base analítica para orientar fases posteriores de co-diseño, implementación y evaluación participativa.

En síntesis, el trabajo aporta una aproximación inicial para evitar desarrollos tecnocéntricos y promover soluciones digitales más respetuosas de los contextos indígenas. Su principal valor radica en articular evidencia científica, principios de IHC y consideraciones éticas para orientar el diseño futuro de tecnologías que fortalezcan, y no sustituyan, los saberes ancestrales en la gestión sostenible del agua.

7. REFERENCIAS

Amanatidis, P., Lyratzis, E., Angelopoulos, V., Kouloumpris, E., Skaperdas, E., Bassiliades, N., Vlahavas, I., Maris, F., Emmanouloudis, D., & Karampatzakis, D. (2026). Intelligent water management through edge-enabled IoT, AI, and big data technologies. *IoT*, 7(1), 5. <https://doi.org/10.3390/iot7010005>

- Anderson-Coto, M. J., Salazar, J., Lopez, J. L.-S., Sedas, R. M., Campos, F., Bustamante, A. S., & Ahn, J. (2024). Towards culturally sustaining design: Centering community's voices for learning through participatory design. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 39, 100621. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2023.100621>
- Arsenault, R., Diver, S., McGregor, D., Witham, A., & Bourassa, C. (2018). Shifting the framework of Canadian water governance through Indigenous research methods: Acknowledging the past with an eye on the future. *Water*, 10(1), 49. <https://doi.org/10.3390/w10010049>
- Berkes, F. (2018). *Sacred ecology* (4th ed.). Routledge.
- Carroll, S. R., Garba, I., Figueroa-Rodríguez, O. L., Holbrook, J., Lovett, R., Materechera, S., Parsons, M., Raseroka, K., Rodriguez-Lonebear, D., Rowe, R., Sara, R., Walker, J. D., Anderson, J., & Hudson, M. (2020). The CARE Principles for Indigenous Data Governance. *Data Science Journal*, 19, 43. <https://doi.org/10.5334/dsj-2020-043>
- Carroll, S. R., Herczog, E., Hudson, M., Russell, K., & Stall, S. (2021). Operationalizing the CARE and FAIR Principles for Indigenous data futures. *Scientific Data*, 8, 108. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00892-0>
- Diver, S., Eitzel, M. V., Brown, M., Hazel, A., Reed, R., & Fricke, S. (2022). Indigenous nations at the confluence: Water governance networks and system transformation in the Klamath Basin. *Ecology and Society*, 27(4), 4. <https://doi.org/10.5751/ES-12942-270404>
- Dorji, T., Brozović, N., & Zilberman, D. (2024). Understanding how Indigenous Knowledge contributes to climate change adaptation and resilience: A systematic literature review. *Environmental Management*, 74, 891–913. <https://doi.org/10.1007/s00267-024-02032-x>
- Krishnan, S. R., Nallakaruppan, M. K., Chengoden, R., Koppu, S., Iyapparaja, M., Sadhasivam, J., Sethuraman, S., & Ramu, S. P. (2022). Smart water resource management using artificial intelligence—A review. *Sustainability*, 14(20), 13384. <https://doi.org/10.3390/su142013384>
- Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things* (Revised and expanded ed.). Basic Books.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Sanders, E. B.-N., & Stappers, P. J. (2008). Co-creation and the new landscapes of design. *CoDesign*, 4(1), 5–18. <https://doi.org/10.1080/15710880701875068>
- Singh, M., & Ahmed, S. (2021). IoT based smart water management systems: A systematic review. *Materials Today: Proceedings*, 46, 5211–5218. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.588>
- Whyte, K. P. (2013). On the role of traditional ecological knowledge as a collaborative concept: A philosophical study. *Ecological Processes*, 2, 7. <https://doi.org/10.1186/2192-1709-2-7>
- Wilson, N. J., Mutter, E., Inkster, J., & Satterfield, T. (2018). Community-Based Monitoring as the practice of Indigenous governance: A case study of Indigenous-led water quality monitoring in the Yukon River Basin. *Journal of Environmental Management*, 210, 290–298. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.020>