



Universidad Internacional de La Rioja
Facultad de Derecho

Máster Universitario en Derecho Ambiental

Análisis DOFA de las Políticas de Gestión
Hídrica en España y Colombia: Tecnologías
emergentes, Innovación y Sostenibilidad
en el Uso del Recurso Hídrico.

Trabajo fin de estudio presentado por:	Linda Lucia Quintero Vásquez
Tipo de trabajo:	
Director/a:	Ana Escamilla Moreno
Fecha:	19-feb.-25

Resumen

El presente trabajo analiza las políticas de gestión hídrica en España y Colombia mediante un enfoque basado en el análisis DOFA, considerando tecnologías emergentes, innovación y sostenibilidad en el uso del recurso hídrico. A través de una evaluación de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, se identifican las principales dinámicas que afectan la gestión del agua en ambos países. El estudio destaca el potencial de las tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial, para optimizar procesos de monitoreo, predicción y distribución hídrica. Asimismo, se examinaron los retos derivados del cambio climático, la fragmentación normativa, la presión demográfica y las limitaciones institucionales. Finalmente, se propone un marco normativo para integrar estas tecnologías en la gestión del recurso, promoviendo su sostenibilidad y uso eficiente. Este trabajo invita a reflexionar sobre la necesidad de fortalecer la cooperación internacional y desarrollar políticas innovadoras frente a los desafíos hídricos contemporáneos.

Palabras clave: Gestión hídrica, sostenibilidad, tecnologías emergentes, análisis DOFA, inteligencia artificial.

Abstract

This work analyzes water management policies in Spain and Colombia through an approach based on SWOT analysis, considering emerging technologies, innovation and sustainability in the use of water resources. Through an evaluation of strengths, opportunities, weaknesses and threats, the main dynamics that affect water management in both countries are identified. The study highlights the potential of advanced technologies, such as artificial intelligence, to optimize water monitoring, prediction and distribution processes. Likewise, the challenges derived from climate change, regulatory fragmentation, demographic pressure and institutional limitations were examined. Finally, a regulatory framework is proposed to integrate these technologies in the management of the resource, promoting its sustainability and efficient use. This work invites us to reflect on the need to strengthen international cooperation and develop innovative policies in the face of contemporary water challenges.

Keywords: Water management, sustainability, emerging technologies, SWOT analysis, artificial intelligence.

Índice de contenidos

1.	Introducción	6
1.1	Justificación del tema elegido	7
1.2	Problema y finalidad del trabajo	8
1.3	Objetivos	10
1.3.1	General.	10
1.3.2	Específicos.	10
2.	Marco teórico y desarrollo	11
2.1	Fortalezas y debilidades de las políticas actuales de gestión hídrica en Colombia y España	11
2.1.1	Fortalezas	11
2.1.2	Debilidades	13
2.2	Oportunidades y amenazas derivadas del contexto socioeconómico y ambiental que impactan la sostenibilidad del recurso hídrico.	15
2.2.1	Oportunidades	16
2.2.2	Amenazas	17
2.2.3	Matriz Estratégica DOFA de España	20
2.2.4	Matriz Estratégica DOFA de Colombia	24
2.3	Iniciativas de innovación tecnológica aplicadas en la gestión del agua en España y Colombia	28
2.3.1	Iniciativas en España	28
2.3.2	Iniciativas en Colombia	29
2.3.3	Políticas públicas y normativas como marco para las iniciativas tecnológicas en la gestión hídrica	31

2.3.4 Ejemplos de proyectos tecnológicos exitosos en la gestión hídrica de España y Colombia	33
2.4 Propuesta de marco normativo de regulación del uso de la inteligencia artificial como tecnología emergente aplicada en la gestión hídrica en España y Colombia.	35
2.4.1. Principios para un marco normativo eficaz.	36
2.4.2 Propuesta específica para España	40
2.4.3 Propuesta específica para Colombia	43
2.4.4 Regulación transfronteriza y colaboración internacional	45
3. Conclusiones	49
Referencias bibliográficas	52

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Fortalezas de las políticas actuales de gestión hídrica en España.	13
Ilustración 2. Fortalezas de las políticas actuales de gestión hídrica en Colombia	14
Ilustración 3. Debilidades de las políticas actuales de gestión hídrica en España	15
Ilustración 4. Debilidades de las políticas actuales de gestión hídrica en Colombia	16
Ilustración 5. Oportunidades de las políticas actuales de gestión hídrica en España	17
Ilustración 6. Oportunidades de las políticas actuales de gestión hídrica en Colombia	18
Ilustración 7. Amenazas de las políticas actuales de gestión hídrica en España	19
Ilustración 8. Amenazas de las políticas actuales de gestión hídrica en Colombia	20
Ilustración 9. Matriz DOFA España	21
Ilustración 10. Matriz DOFA Colombia	25

1. Introducción

La gestión hídrica es un tema fundamental para el desarrollo sostenible, especialmente en un contexto global marcado por los efectos del cambio climático y el crecimiento demográfico. Tanto en España como en Colombia, las políticas de gestión del recurso hídrico han evolucionado significativamente, con marcos normativos que intentan equilibrar la demanda de agua con la preservación de los ecosistemas. Sin embargo, estos marcos enfrentan diversos desafíos que requieren ser abordados con urgencia. La inteligencia artificial (IA), como tecnología emergente, ofrece nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia en la gestión del agua, optimizando el consumo y fortaleciendo la sostenibilidad del recurso.

Este trabajo de fin de máster (TFM) propone un análisis detallado de las políticas de gestión hídrica en España y Colombia desde una perspectiva DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas), con un enfoque especial en las tecnologías emergentes y su impacto en la sostenibilidad del uso del recurso hídrico. La incorporación de la IA en este ámbito representa un avance disruptivo que promete no solo mejorar la precisión en la toma de decisiones, sino también contribuir a una gestión más eficiente y transparente del recurso. No obstante, la falta de un marco normativo claro que regule el uso de esta tecnología en la gestión hídrica representa un vacío legal que debe ser abordado para garantizar su implementación efectiva y ética.

El objetivo de este estudio es ofrecer una visión comparativa entre las políticas de ambos países, resaltando las mejores prácticas y los vacíos existentes, para luego proponer soluciones normativas que permitan la adecuada incorporación de la inteligencia artificial en la gestión del agua. Este análisis es particularmente relevante en un contexto donde los recursos hídricos son cada vez más escasos y donde los avances tecnológicos deben ir acompañados de un marco legal que asegure su uso responsable y sostenible.

En los capítulos posteriores, se abordarán las fortalezas y debilidades de las políticas hídricas actuales, así como las oportunidades que la IA puede ofrecer en términos de predicción de sequías, optimización del consumo y gestión de infraestructuras. Asimismo, se identificará cómo la falta de regulación específica en el uso de la IA en relación con el manejo de

Análisis DOFA de las Políticas de Gestión Hídrica en España y Colombia: Tecnologías emergentes, Innovación y Sostenibilidad en el Uso del Recurso Hídrico

recursos hídricos constituye una amenaza para la sostenibilidad a largo plazo, especialmente en un contexto de cambio climático.

El análisis DOFA permitirá una evaluación integral de la situación actual en ambos países, con el fin de presentar propuestas innovadoras que llenen los vacíos normativos y fomenten una gestión hídrica más eficaz. Así, este TFM busca no solo contribuir al debate académico y profesional sobre la sostenibilidad hídrica, sino también proponer soluciones que puedan tener un impacto directo en las políticas públicas tanto en España como en Colombia.

1.1 Justificación del tema elegido

La gestión eficiente de los recursos hídricos es una prioridad tanto a nivel global como local, debido a su rol fundamental en el desarrollo sostenible y el bienestar social, por lo tanto, la presente investigación se justifica en la necesidad de analizar la normativa vigente en ambos países y evaluar cómo las tecnologías emergentes, específicamente la inteligencia artificial (IA), pueden contribuir a llenar vacíos legales y optimizar la gestión del recurso hídrico, garantizando su uso sostenible a largo plazo.

En un contexto global marcado por la escasez del recurso hídrico, el cambio climático y el crecimiento poblacional, tanto España como Colombia enfrentan desafíos significativos para asegurar un acceso equitativo y sostenible al agua. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el 40% de la población mundial se ve afectada por la escasez de agua, y se prevé que la demanda mundial de agua aumente en un 55% para el año 2050 (ONU, 2018).

En este sentido, la implementación de la inteligencia artificial en la gestión hídrica se presenta como una herramienta potencialmente transformadora, capaz de optimizar el uso del recurso, predecir eventos climáticos extremos y mejorar la eficiencia en la administración de infraestructuras hídricas (FERNÁNDEZ, 2020). No obstante, el uso de estas tecnologías conlleva riesgos y desafíos éticos, que deben ser considerados en un marco regulatorio adecuado para evitar la concentración de poder en manos de pocos actores o el uso indebido de los datos (GÓMEZ, 2021). En este punto, el vacío legal en la regulación del uso de IA en la gestión hídrica representa un problema latente tanto en España como en Colombia, donde la normativa vigente no contempla de manera específica el uso de estas herramientas tecnológicas (RIVAS, 2019).

En España, por ejemplo, la Ley de Aguas (RDL 1/2001) establece un marco de regulación sólido, pero carece de especificidad en cuanto al uso de tecnologías emergentes para la optimización del recurso hídrico. Por otro lado, en Colombia, a pesar de contar con normativas como el Decreto 1076 de 2015, que regula la gestión integrada del agua, se enfrentan desafíos significativos en su implementación, especialmente en áreas rurales donde la infraestructura y los recursos son limitados (González & Ramírez, 2021).

Resulta relevante porque busca llenar dicho vacío, proponiendo un marco normativo que aborde la implementación de la IA de forma segura, transparente y eficiente en la gestión del agua. La importancia de esta investigación radica no solo en su carácter innovador, sino también en su aplicabilidad práctica en el diseño de políticas públicas y en la adaptación de normativas que promuevan un uso sostenible del recurso hídrico. A nivel académico, contribuirá a ampliar el conocimiento existente sobre la relación entre las tecnologías emergentes y la sostenibilidad hídrica, ofreciendo un enfoque comparativo entre dos contextos jurídicos y geográficos diferentes.

En cuanto a la disponibilidad de información, se ha identificado una amplia gama de estudios y artículos recientes que abordan tanto la gestión hídrica como la aplicación de la IA en este campo, lo cual facilita la construcción del marco teórico y la argumentación de las propuestas. Sin embargo, la principal limitación radica en la falta de investigaciones que conecten directamente la inteligencia artificial con la gestión del agua en términos normativos, lo que hace que esta investigación sea particularmente valiosa para futuras referencias.

Por último, el tiempo disponible para la realización de este trabajo ha sido cuidadosamente planificado, asegurando la inclusión de un análisis profundo y la validación de propuestas que respondan a los desafíos actuales en ambos países. De esta forma, se espera que este TFM no solo contribuya a la comunidad académica, sino también a los formuladores de políticas y profesionales del derecho ambiental que buscan soluciones sostenibles y basadas en la innovación tecnológica.

1.2 Problema y finalidad del trabajo

La gestión del agua es uno de los desafíos más críticos del siglo XXI, especialmente en contextos como el de España y Colombia, donde la presión sobre los recursos hídricos se intensifica debido al cambio climático, el crecimiento demográfico y el desarrollo urbano. A pesar de contar con marcos normativos establecidos, tanto España como Colombia enfrentan controversias significativas en la implementación efectiva de políticas de gestión hídrica que respondan a la realidad actual. Uno de los problemas centrales radica en la insuficiencia de estas normativas para integrar tecnologías emergentes, en particular la inteligencia artificial, en la gestión del recurso hídrico.

Por lo tanto, la controversia que se identifica se centra en la falta de un marco regulatorio claro y adaptado a las innovaciones tecnológicas que podría optimizar la gestión del agua. En este sentido, se observa que las políticas existentes no solo son insuficientes para abordar la complejidad de los problemas hídricos actuales, sino que también carecen de mecanismos que promuevan el uso ético y sostenible de tecnologías como la IA (GONZÁLEZ & RAMÍREZ, 2021; Ruiz et al., 2020). La ausencia de directrices claras limita la capacidad de los gobiernos para implementar soluciones innovadoras que podrían mejorar la calidad y el acceso al agua, así como la eficiencia en su uso.

Este problema es de suma relevancia, ya que la falta de regulación en torno a la inteligencia artificial aplicada a la gestión hídrica podría llevar a decisiones mal aplicadas que agraven la escasez de agua y afecten la sostenibilidad del recurso. Además, la ineficiencia en la gestión del agua puede impactar negativamente en la salud pública, la agricultura y la industria, y en última instancia, afectar el desarrollo económico y social de ambos países (Díaz et al., 2020).

La problemática la podríamos sintetizar en la siguiente pregunta: **¿Cómo pueden las políticas de gestión hídrica en España y Colombia integrar de manera efectiva la inteligencia artificial para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia en el uso del recurso hídrico?** Esta pregunta busca abordar la necesidad de un análisis profundo que permita identificar las debilidades en las normativas actuales y proponer un marco regulatorio que facilite la incorporación de tecnologías emergentes en la gestión del agua.

Delimitar este problema implica centrarse en el análisis de las políticas existentes y la identificación de vacíos legales específicos que impiden el uso efectivo de la IA. A través de

este enfoque, se pretende evaluar cómo la integración de la inteligencia artificial puede responder a los desafíos actuales y futuros en la gestión hídrica, y cómo un marco normativo adecuado podría facilitar esta integración.

La finalidad de este trabajo es, por tanto, contribuir a la discusión académica y política sobre la gestión hídrica en el contexto de las tecnologías emergentes. Se busca no solo identificar y analizar los problemas existentes, sino también proponer soluciones que fomenten un uso más eficiente y sostenible del recurso hídrico. De este modo, la presente investigación pretende ser un aporte significativo tanto para el ámbito académico como para la formulación de políticas públicas que respondan a las necesidades actuales de ambos países.

1.3 Objetivos

1.3.1 General.

Analizar las políticas de gestión hídrica en España y Colombia mediante una matriz DOFA (fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas) evaluando la incorporación de tecnologías emergentes y propuestas innovadoras para mejorar la sostenibilidad en el uso del recurso hídrico en el contexto de los retos ambientales actuales.

1.3.2 Específicos.

Los objetivos específicos de esta investigación son los siguientes:

- Examinar las fortalezas y debilidades de las políticas actuales de gestión hídrica en ambos países, considerando los avances tecnológicos.
- Identificar las oportunidades y amenazas derivadas del contexto socioeconómico y ambiental que impactan la sostenibilidad del recurso hídrico.
- Comparar las iniciativas de innovación tecnológica aplicadas en la gestión del agua en España y Colombia, destacando las mejores prácticas y posibles adaptaciones.
- Proponer la creación de un marco normativo que regule el uso de la inteligencia artificial como tecnología emergente aplicada en la gestión hídrica en España y Colombia; respecto a la implementación, monitoreo y transparencia en el uso de sistemas de IA para la optimización del consumo, la predicción de sequías, la gestión de infraestructuras hídricas y la mejora de la sostenibilidad en el manejo del recurso hídrico.

2. Marco teórico y desarrollo

2.1 Fortalezas y debilidades de las políticas actuales de gestión hídrica en Colombia y España

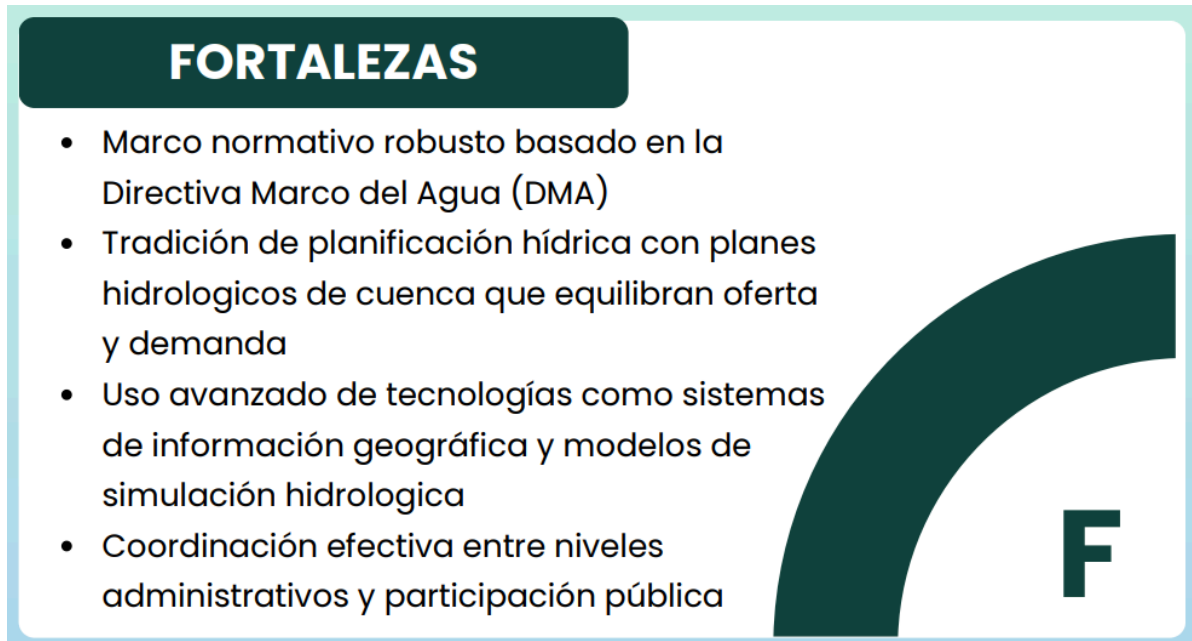
La gestión hídrica se ha convertido en un eje central del desarrollo sostenible y en un desafío para las políticas públicas a nivel mundial. Tanto en Colombia como en España, la gobernanza del agua está influenciada por factores económicos, sociales y ambientales, que definen las fortalezas y debilidades de sus políticas. Este capítulo abordará las características más destacadas de las políticas hídricas en ambos países, identificando sus puntos fuertes y sus principales carencias, con base en estudios recientes y aportaciones de expertos en la materia.

2.1.1 Fortalezas

Una de las principales fortalezas de las políticas de gestión hídrica en España es la consolidación de un marco normativo robusto y una tradición de planificación hídrica que se remonta a décadas atrás. El país se ha destacado por la implementación de la Directiva Marco del Agua (DMA), un instrumento legal de la Unión Europea que establece un enfoque integral para la gestión del agua basado en la sostenibilidad y la protección de los recursos hídricos. Esta directiva ha facilitado la coordinación entre diferentes niveles de administración y ha promovido un uso eficiente del recurso, así como la participación pública en la toma de decisiones (ÁLVAREZ & PÉREZ, 2021).

España cuenta también con planos hidrológicos de cuenca que buscan garantizar un equilibrio entre la oferta y la demanda de agua, priorizando tanto el abastecimiento humano como la conservación del medio ambiente (RODRÍGUEZ et al., 2020). La experiencia adquirida en el uso de tecnologías avanzadas para la gestión de recursos hídricos, tales como sistemas de información geográfica y modelos de simulación hidrológica, constituye otro punto fuerte del país. La utilización de estas herramientas ha permitido a las autoridades planificar y gestionar de manera más eficiente el recurso hídrico y predecir fenómenos como sequías e inundaciones (GARCÍA & SÁNCHEZ, 2021).

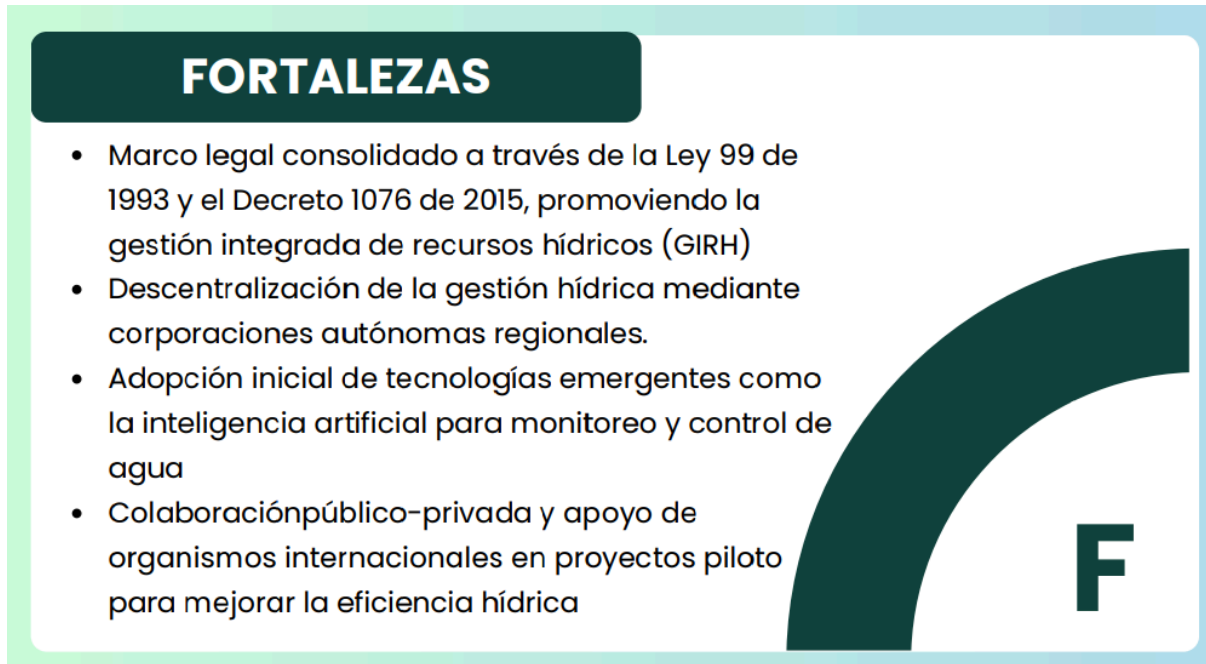
Ilustración 1. Fortalezas de las políticas actuales de gestión hídrica en España.



Por otro lado, Colombia ha avanzado significativamente en la implementación de políticas orientadas a la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH). La Ley 99 de 1993 y el Decreto 1076 de 2015 son pilares fundamentales que establecen el marco legal para la protección y el uso racional de los recursos naturales, incluido el agua. Esta normativa ha fomentado la creación de corporaciones autónomas regionales que supervisan la gestión hídrica a nivel local, promoviendo la descentralización y la adaptación de políticas a contextos específicos (MARTÍNEZ 2021).

En términos de avances tecnológicos, Colombia ha comenzado a adoptar tecnologías emergentes para monitorear y controlar el uso del agua. Aunque estos procesos aún están en fases iniciales, el país ha mostrado interés en incorporar la inteligencia artificial y otras tecnologías innovadoras para optimizar la gestión del recurso (PÉREZ 2022). La colaboración entre el sector público y privado, así como la participación de organismos internacionales, ha contribuido al desarrollo de proyectos piloto que buscan mejorar la eficiencia en la distribución y el uso del agua.

Ilustración 2. Fortalezas de las políticas actuales de gestión hídrica en Colombia

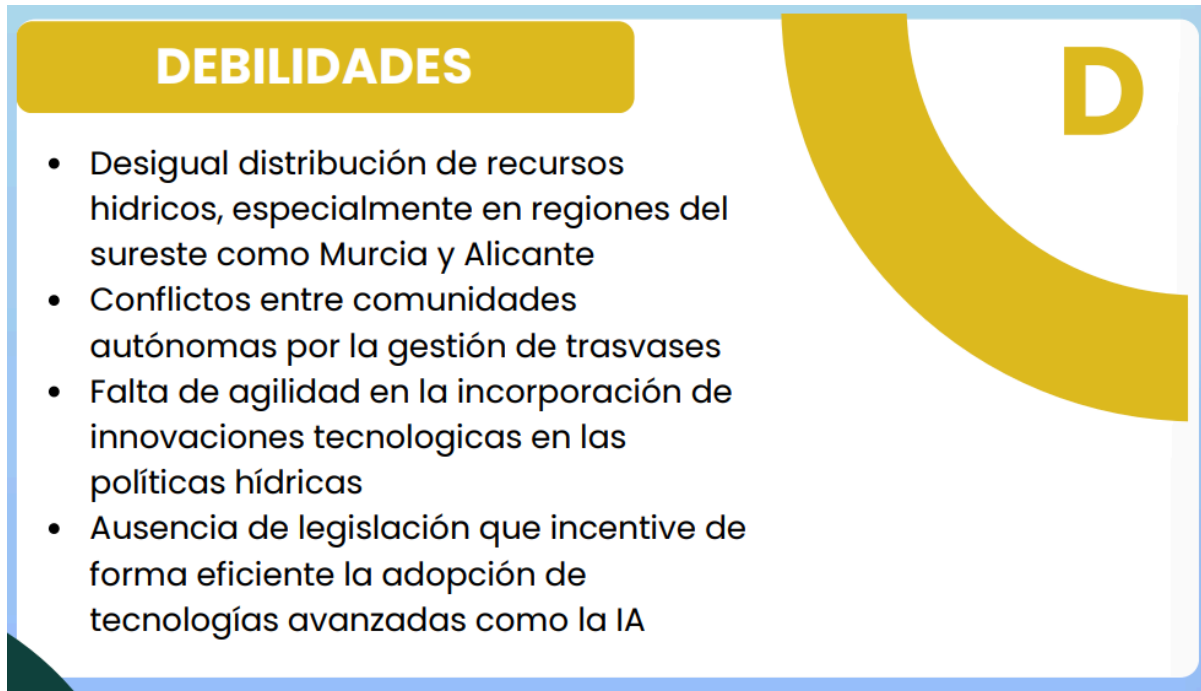


2.1.2 Debilidades

A pesar de las fortalezas mencionadas, tanto España como Colombia enfrentan debilidades significativas en sus políticas de gestión hídrica. En el caso de España, una de las principales limitaciones es la desigual distribución de los recursos hídricos a lo largo del territorio. Las regiones del sureste español, como Murcia y Alicante, enfrentan severas restricciones debido a la escasez de agua, lo que ha generado conflictos entre comunidades autónomas y tensiones en la gestión de los trasvases (LÓPEZ & FERNÁNDEZ, 2020).

Además, las políticas actuales no han sido suficientemente ágiles para incorporar de manera efectiva las innovaciones tecnológicas en la gestión del agua, un desafío que podría ser abordado mediante una legislación que incentiva la adopción de herramientas de inteligencia artificial y otras tecnologías avanzadas (SÁNCHEZ & GÓMEZ, 2022).

Ilustración 3. Debilidades de las políticas actuales de gestión hídrica en España



En Colombia, la implementación efectiva de las políticas de gestión hídrica enfrenta obstáculos importantes relacionados con la falta de recursos y capacidad institucional. Las corporaciones autónomas regionales, si bien son actores clave en la gestión de los recursos hídricos, a menudo carecen del presupuesto y del personal necesario para llevar a cabo sus funciones de manera adecuada (RAMÍREZ-2021). Esta carencia se ve agravada por la corrupción y la falta de transparencia en la asignación de recursos, factores que limitan la eficacia de las políticas y reducen la confianza de la población en las instituciones encargadas de la gestión del agua (GUTIÉRREZ-2022).

Otra debilidad de las políticas hídricas en Colombia es la fragmentación de la normativa, lo que dificulta la implementación de una estrategia integral y coherente a nivel nacional. La superposición de competencias entre diferentes entidades, junto con una débil coordinación interinstitucional, ha resultado en la duplicación de esfuerzos y en la falta de una visión unificada (MARTÍNEZ-2021). Además, la capacidad de respuesta ante fenómenos extremos, como inundaciones o sequías, sigue siendo limitada debido a la escasa implementación de tecnologías avanzadas y la falta de infraestructura adecuada.

Ilustración 4. Debilidades de las políticas actuales de gestión hídrica en Colombia



Tanto en España como en Colombia, la gestión hídrica se enfrenta al desafío del cambio climático, que agrava la variabilidad en la disponibilidad del recurso y pone en evidencia la necesidad de políticas más adaptativas y basadas en datos actualizados. Sin un marco regulatorio que fomente la investigación y la aplicación de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, la gestión hídrica seguirá enfrentando dificultades para responder a los retos actuales y futuros (DÍAZ 2021).

2.2 Oportunidades y amenazas derivadas del contexto socioeconómico y ambiental que impactan la sostenibilidad del recurso hídrico.

La sostenibilidad del recurso hídrico es un desafío global que exige un enfoque multifacético, considerando tanto oportunidades como amenazas que surgen del contexto socioeconómico y ambiental. Este capítulo se centra en analizar estos aspectos en el caso de Colombia y España, destacando los factores que pueden potenciar o limitar la gestión del agua y su disponibilidad a largo plazo.

2.2.1 Oportunidades

En los últimos años, la creciente conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad y el uso responsable de los recursos naturales ha impulsado iniciativas tanto en Colombia como en España. Una de las principales oportunidades es el avance de la cooperación internacional y el intercambio de mejores prácticas entre ambos países, así como con otras naciones. La Agenda 2030 (NACIONES UNIDAS, 2015) y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) han sido un marco de referencia fundamental para orientar las políticas públicas hacia una gestión más sostenible del agua (GÓMEZ, 2021). Esta agenda promueve la implementación de propositos que buscan no solo el acceso al agua potable sino también la protección de ecosistemas acuáticos esenciales para la sostenibilidad.

Ilustración 5. Oportunidades de las políticas actuales de gestión hídrica en España



Además, tanto en Colombia como en España, el sector privado ha comenzado a jugar un papel más activo en la sostenibilidad del agua. Empresas tecnológicas y de innovación han desarrollado herramientas avanzadas como sensores remotos e inteligencia artificial para optimizar la gestión hídrica y predecir eventos extremos como sequías e inundaciones (LÓPEZ & RAMÍREZ, 2022). En España, por ejemplo, la implementación de tecnologías como los sistemas de alerta temprana y la telemetría ha mejorado significativamente la capacidad de respuesta ante eventos climáticos extremos, generando beneficios para la conservación y el manejo eficiente del recurso hídrico (PÉREZ, 2020).

Por otra parte, la creciente participación de la sociedad civil en la formulación de políticas y proyectos relacionados con la gestión del agua representa una oportunidad para la sostenibilidad. En Colombia, las comunidades han desempeñado un papel esencial en la protección de fuentes hídricas, especialmente en regiones donde el agua es un recurso escaso. La acción colectiva y los procesos de consulta previa, reconocidos en la legislación colombiana, permiten un enfoque más inclusivo y adaptado a las necesidades locales (MARTÍNEZ & TORRES, 2021).

Ilustración 6. Oportunidades de las políticas actuales de gestión hídrica en Colombia



En el ámbito económico, las políticas de incentivos fiscales y la inversión en infraestructuras verdes se han posicionado como oportunidades clave. En Colombia, los programas de pago por servicios ambientales han promovido la protección de cuencas hidrográficas al compensar a comunidades y propietarios de tierras por la conservación de ecosistemas estratégicos (GONZÁLEZ, 2022). Por su parte, España ha apostado por políticas que fomentan la economía circular, lo cual incluye la reutilización y el tratamiento de aguas residuales, contribuyendo a una gestión más eficiente de los recursos (SÁNCHEZ, 2021).

2.2.2 Amenazas

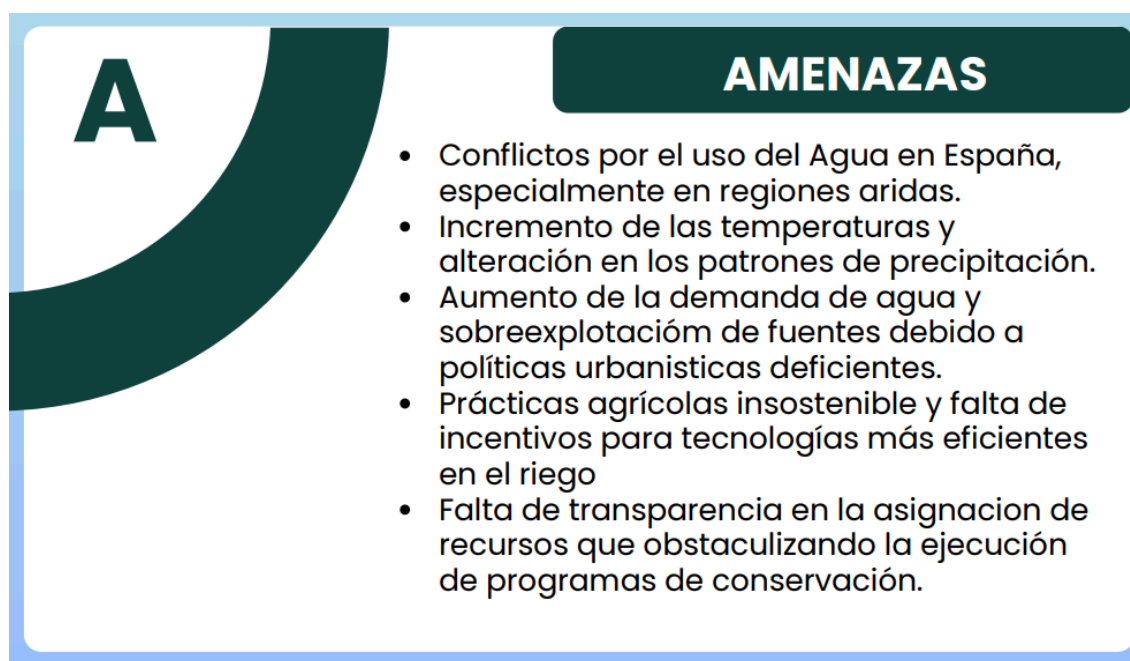
Sin embargo, el camino hacia la sostenibilidad del recurso hídrico no está exento de amenazas significativas. En primer lugar, el cambio climático es una de las mayores amenazas que enfrentan tanto Colombia como España. El aumento de las temperaturas y los cambios

Análisis DOFA de las Políticas de Gestión Hídrica en España y Colombia: Tecnologías emergentes, Innovación y Sostenibilidad en el Uso del Recurso Hídrico

en los patrones de precipitación han incrementado la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos como sequías y tormentas (LÓPEZ et al., 2022).

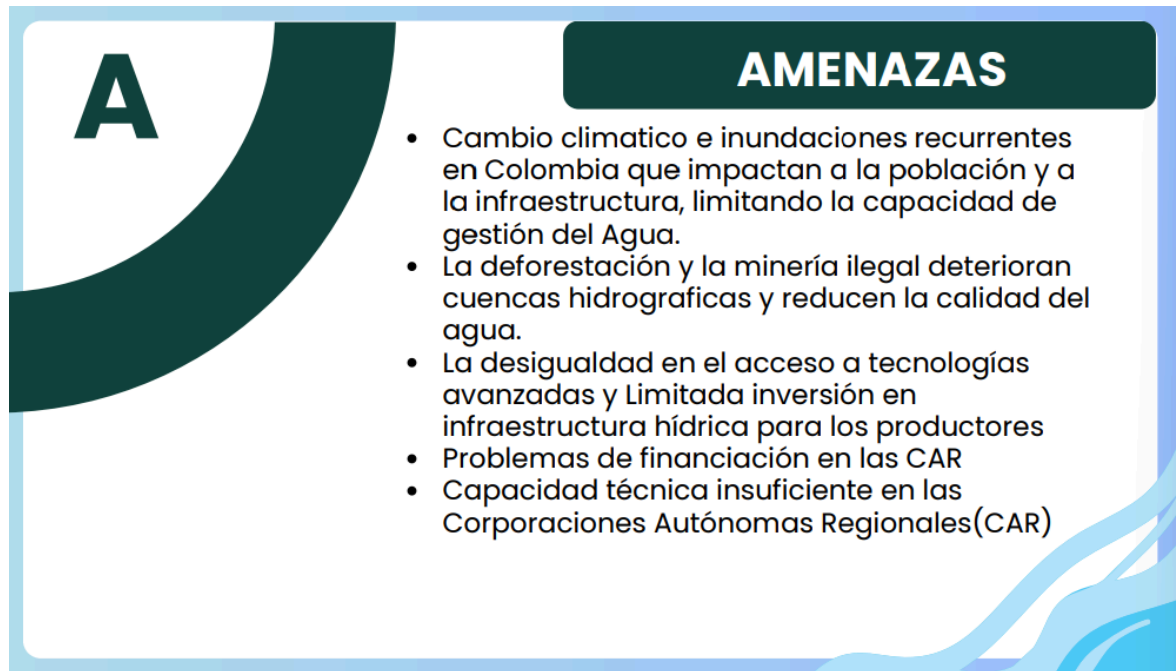
En el caso de España, esto ha intensificado los conflictos por el uso del agua, especialmente en regiones áridas donde la disponibilidad de agua es crítica. En Colombia, las inundaciones recurrentes afectan tanto a la población como a la infraestructura, limitando la capacidad de los gobiernos locales para gestionar el recurso de manera efectiva (RODRÍGUEZ & GUTIÉRREZ, 2021).

Ilustración 7. Amenazas de las políticas actuales de gestión hídrica en España



Otra amenaza importante es la presión demográfica y el crecimiento desordenado de las ciudades, que generan un aumento en la demanda de agua y un mayor estrés sobre los sistemas de abastecimiento. Las políticas urbanísticas en algunos casos no han considerado adecuadamente la disponibilidad del recurso hídrico, lo que ha llevado a una sobreexplotación de fuentes y al deterioro de acuíferos (FERNÁNDEZ & MORALES, 2020). En Colombia, la deforestación y la minería ilegal también representan amenazas considerables, ya que estas actividades afectan directamente la calidad y la cantidad de agua disponible, además de contribuir a la pérdida de biodiversidad y la degradación de cuencas hidrográficas (RAMÍREZ et al., 2021).

Ilustración 8. Amenazas de las políticas actuales de gestión hídrica en Colombia



El uso ineficiente del agua en sectores productivos, como la agricultura, es otra amenaza significativa. En España, a pesar de los avances en tecnologías de riego, el sector agrícola sigue siendo responsable de una gran parte del consumo de agua. El uso de prácticas no sostenibles y la falta de incentivos para adoptar tecnologías más eficientes agravan el problema (MARTÍNEZ & GARCÍA, 2020). En Colombia, el acceso desigual a tecnologías avanzadas y la falta de inversión en infraestructura hídrica limitan la capacidad de muchos productores para adoptar prácticas de uso eficiente del agua (GONZÁLEZ et al., 2022).

Por último, las debilidades institucionales y la corrupción siguen siendo obstáculos críticos en la gestión del recurso hídrico, especialmente en Colombia. Las corporaciones autónomas regionales, que tienen la tarea de gestionar y proteger los recursos naturales, enfrentan problemas de financiación y falta de capacidades técnicas para implementar políticas de manera efectiva (TORRES & GÓMEZ, 2021). Este contexto, sumado a la falta de transparencia en la asignación de recursos, dificulta la ejecución de programas de conservación y la gestión integral de los recursos hídricos.

2.2.3 Matriz Estratégica DOFA de España

Ilustración 9. Matriz DOFA España



FO (Fortalezas + Oportunidades)

1. Aprovechamiento de tecnologías avanzadas:

- Utilizar los avances en inteligencia artificial y telemetría para optimizar el uso del agua, apoyándose en la infraestructura y experiencia tecnológica del país.
- Fortalecer los sistemas de alerta temprana en regiones áridas para prevenir conflictos por el uso del agua.

2. Impulso de políticas de economía circular

- Aprovechar la economía circular para implementar sistemas más eficientes de reutilización y tratamiento de aguas residuales.
- Integrar incentivos fiscales para que el sector privado lidere innovaciones en la gestión hídrica.

3. Cooperación internacional

- Fortalecer la colaboración con países que enfrentan desafíos similares en la gestión del agua, intercambiando prácticas sostenibles y tecnologías emergentes.
- Usar el marco de la Agenda 2030 para mejorar la sostenibilidad en la gestión hídrica nacional.

FA (Fortalezas + Amenazas)

1. Mitigación del cambio climático mediante avances tecnológicos: Utilizar la infraestructura hídrica existente y herramientas tecnológicas avanzadas para monitorear y responder al impacto del cambio climático en regiones vulnerables.
2. Reforzamiento del marco normativo: Establecer regulaciones que incentiven el uso sostenible del agua en el sector agrícola, disminuyendo la sobreexplotación de acuíferos y promoviendo prácticas de riego eficientes.
3. Promoción de cohesión regional: Implementar políticas que reduzcan las tensiones entre comunidades autónomas mediante acuerdos de trasvase y mecanismos de distribución equitativa del agua.

DO (Debilidades + Oportunidades).

1. Modernización de la gestión hídrica.
 - Incorporar innovaciones tecnológicas como la inteligencia artificial para superar las limitaciones actuales en la gestión del recurso hídrico.
 - Aprovechar las oportunidades de cooperación internacional para mejorar las políticas de distribución en regiones áridas.
2. Participación del sector privado.
 - Incentivar a las empresas a desarrollar tecnologías sostenibles que puedan ser implementadas en todo el territorio.
 - Fomentar alianzas público-privadas para modernizar la infraestructura hídrica.
3. Educación y sensibilización: Impulsar campañas de sensibilización sobre el uso eficiente del agua para reducir su consumo en sectores doméstico e industrial.

DA (Debilidades + Amenazas)

1. Reducción de conflictos regionales: Implementar planes de coordinación interregional que minimicen las tensiones por el acceso al agua, especialmente en áreas afectadas por el cambio climático.
2. Fortalecimiento institucional: Reforzar la capacidad de respuesta gubernamental mediante una mejora en la planificación hídrica y la asignación de recursos específicos para regiones vulnerables.
3. Gestión integral del agua: Crear un marco normativo integral que fomente la cohesión entre sectores y regiones, evitando la fragmentación y duplicación de esfuerzos en la gestión del agua.

Resultado del análisis para España.

En el contexto español, la combinación de fortalezas y oportunidades evidencia un panorama propicio para potenciar una gestión hídrica eficiente y sostenible. Por un lado, el uso de tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial y la telemetría, permite optimizar la gestión de los recursos hídricos. Estas herramientas no solo contribuyen a la detección temprana de fenómenos extremos, como sequías o inundaciones, sino que también mejoran la planificación de infraestructuras en regiones áridas, reduciendo conflictos por el acceso al agua. Además, el marco normativo español, alineado con las metas de la Agenda 2030 (NACIONES UNIDAS, 2015) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, brinda una plataforma sólida para implementar prácticas innovadoras. En este sentido, la economía circular ha cobrado relevancia, promoviendo la reutilización de aguas residuales y la eficiencia en el consumo, lo que se ha traducido en beneficios tangibles para sectores como la agricultura y la industria.

Sin embargo, la interacción entre fortalezas y amenazas subraya desafíos importantes que deben ser abordados con estrategias concretas. El cambio climático, una de las mayores amenazas para la sostenibilidad hídrica en España, demanda respuestas tecnológicas y normativas robustas. La capacidad instalada del país, junto con su experiencia en gestión de infraestructuras, debe ser orientada hacia la mitigación de los efectos del calentamiento global. Por ejemplo, el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana pueden ser clave para prevenir impactos negativos en regiones especialmente vulnerables. Asimismo, la regulación del uso del agua en sectores como la agricultura resulta fundamental. Aunque

este sector ha adoptado tecnologías de riego más avanzadas, persisten prácticas insostenibles que ponen en riesgo la disponibilidad del recurso. En respuesta, se pueden diseñar políticas que ofrezcan incentivos a los agricultores para adoptar técnicas más eficientes y sostenibles.

La relación entre debilidades y oportunidades pone de manifiesto áreas críticas de mejora, especialmente en la modernización y la cohesión institucional. España, a pesar de contar con un marco normativo amplio, enfrenta desafíos derivados de la fragmentación administrativa entre comunidades autónomas.

Este escenario puede ser abordado mediante la implementación de tecnologías emergentes que mejoren la coordinación interregional y optimicen la distribución del agua. Por ejemplo, sistemas basados en inteligencia artificial pueden facilitar el monitoreo en tiempo real y apoyar la toma de decisiones en zonas con alto estrés hídrico. Adicionalmente, el fortalecimiento de alianzas público-privadas puede impulsar inversiones en infraestructura y fomentar la adopción de tecnologías que mejoren la eficiencia hídrica.

Finalmente, la interacción entre debilidades y amenazas refleja la necesidad de estrategias integrales para enfrentar los desafíos más críticos. La creciente presión demográfica y los efectos del cambio climático exigen respuestas coordinadas que aborden tanto la planificación territorial como la gestión de recursos. Por ejemplo, la implementación de planes interregionales que prioricen el acceso equitativo al agua podría reducir tensiones entre comunidades autónomas, mientras que un marco institucional fortalecido garantizaría la ejecución de políticas más eficaces. Además, la mejora de la gobernanza hídrica a través de una mayor transparencia y rendición de cuentas contribuiría a superar las debilidades estructurales del sistema, asegurando así una gestión más sostenible y justa del recurso.

Así pues, se concluye que España cuenta con las bases para consolidar una gestión hídrica innovadora y sostenible, pero enfrenta retos significativos que demandan un enfoque estratégico. La adopción de tecnologías emergentes, el fortalecimiento del marco normativo y la mejora en la coordinación interregional representan pilares esenciales para enfrentar las amenazas y superar las debilidades, garantizando así la sostenibilidad del recurso hídrico en

Linda Lucía Quintero Vásquez

Análisis DOFA de las Políticas de Gestión Hídrica en España y Colombia: Tecnologías emergentes, Innovación y Sostenibilidad en el Uso del Recurso Hídrico

un contexto marcado por el cambio climático y la creciente presión sobre los sistemas de abastecimiento.

2.2.4 Matriz Estratégica DOFA de Colombia

Ilustración 10. Matriz DOFA Colombia



FO (Fortalezas + Oportunidades)

- Fortalecer la acción comunitaria mediante programas de incentivos económicos:**
Aprovechar la capacidad organizativa de las comunidades para proteger fuentes hídricas mediante programas de pago por servicios ambientales que fomenten la sostenibilidad local.
- Impulsar la adopción de tecnologías avanzadas con participación del sector privado:**
Utilizar la participación activa del sector privado y su interés en la sostenibilidad para desarrollar herramientas tecnológicas que optimicen la gestión del agua, como sensores remotos y sistemas predictivos de IA.
- Implementar políticas inclusivas basadas en el marco de los ODS:** Usar el enfoque participativo y las consultas previas reconocidas en la legislación para alinear las

FA (Fortalezas + Amenazas)

1. **Fortalecer las capacidades institucionales para enfrentar el cambio climático:** Ampliar el alcance de las corporaciones autónomas regionales mediante alianzas con comunidades organizadas para mejorar la respuesta a fenómenos extremos como inundaciones y sequías.
2. **Promover alianzas público-privadas para combatir la minería ilegal:** Utilizar la capacidad organizativa de las comunidades rurales para identificar y mitigar actividades ilegales que deterioren las fuentes hídricas.
3. **Modernizar la normativa hídrica:** Usar la fragmentación normativa como una oportunidad para consolidar y actualizar leyes que permitan responder a las amenazas climáticas, integrando herramientas de tecnología avanzada.

DO (Debilidades + Oportunidades)

1. **Desarrollar programas de capacitación técnica en gestión hídrica:** Usar los incentivos fiscales y la inversión en infraestructuras verdes como palanca para mejorar las capacidades institucionales en las corporaciones regionales.
2. **Optimizar la gobernanza mediante un enfoque integrado:** Superar la fragmentación normativa promoviendo una política nacional coherente que integre las oportunidades del sector privado y las metas de los ODS.
3. **Implementar proyectos piloto con tecnologías emergentes en comunidades rurales:** Introducir sistemas de alerta temprana en regiones vulnerables mediante la cooperación internacional, evaluando su efectividad para replicarlos a nivel nacional.

DA (Debilidades + Amenazas)

1. **Combatir la corrupción mediante mecanismos de transparencia:** Crear sistemas de auditoría digital que monitoreen la asignación de recursos en las corporaciones regionales y promuevan la rendición de cuentas.
2. **Fortalecer la infraestructura hídrica para enfrentar fenómenos extremos:** Priorizar inversiones en infraestructura resiliente mediante cooperación internacional y financiamiento climático.

3. **Incentivar prácticas sostenibles en sectores productivos:** Diseñar programas de educación y apoyo financiero para productores agrícolas que adopten tecnologías de riego eficiente y manejo sostenible del agua.

Estrategias DOFA: Resultado del análisis para Colombia

En el caso colombiano, el aprovechamiento de las fortalezas en combinación con las oportunidades presenta un escenario promisorio para avanzar hacia una gestión hídrica sostenible y eficiente. Por ejemplo, la capacidad organizativa de las comunidades rurales puede ser fortalecida mediante programas de incentivos económicos como el pago por servicios ambientales.

Estas iniciativas, además de promover la conservación de las fuentes hídricas, generan beneficios tangibles para las comunidades locales, quienes se convierten en actores clave en el recurso de la sostenibilidad. Asimismo, el sector privado, cada vez más interesado en alinear sus operaciones con principios de sostenibilidad, puede jugar un papel crucial en la adopción de tecnologías avanzadas.

Herramientas como sensores remotos y sistemas de inteligencia artificial podrían ser implementadas en proyectos conjuntos que optimizan el uso del agua en sectores estratégicos como la agricultura y la minería.

Por otra parte, la legislación colombiana, que reconoce el derecho a la consulta previa, permite diseñar políticas inclusivas basadas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Esto facilita la creación de programas de gestión hídrica que no solo respetan los derechos de las comunidades, sino que también se alinean con estándares internacionales de desarrollo sostenible.

No obstante, la interacción entre fortalezas y amenazas resalta la necesidad de estrategias específicas para mitigar los riesgos derivados de factores como el cambio climático y la minería ilegal. Las corporaciones autónomas regionales, con sus capacidades institucionales, pueden ampliar su alcance mediante alianzas con comunidades organizadas.

Esto permitiría una mejor respuesta a fenómenos extremos, como inundaciones o sequías, a través de la implementación de planes de acción comunitaria y sistemas de alerta temprana. Al mismo tiempo, las alianzas público-privadas pueden ser una herramienta clave para

Linda Lucía Quintero Vásquez

Análisis DOFA de las Políticas de Gestión Hídrica en España y Colombia: Tecnologías emergentes, Innovación y Sostenibilidad en el Uso del Recurso Hídrico

combatir la minería ilegal, un problema que deteriora significativamente las fuentes hídricas en Colombia.

Estas alianzas podrían enfocarse en la identificación de actividades ilícitas mediante tecnología avanzada, como drones y sistemas de monitoreo remoto, y en la promoción de prácticas sostenibles en las zonas afectadas. Además, la modernización de la normativa hídrica es una prioridad en el contexto actual, ya que la fragmentación normativa representa un desafío para la gestión efectiva del agua. Integrar herramientas tecnológicas avanzadas en un marco legal actualizado permitiría enfrentar las amenazas climáticas de manera más eficiente y con mayor cohesión institucional.

En cuanto a la relación entre debilidades y oportunidades, Colombia enfrenta retos importantes relacionados con la fragmentación institucional y la falta de capacidades técnicas en sus corporaciones autónomas regionales. Estos desafíos pueden abordarse mediante el desarrollo de programas de capacitación técnica orientados a la gestión hídrica. Por ejemplo, aprovechar incentivos fiscales y fomentar la inversión en infraestructuras verdes permitiría mejorar las capacidades de estas instituciones, facilitando su capacidad de respuesta ante las demandas del sector hídrico.

Además, superar la fragmentación requiere un enfoque normativo integrado de gobernanza. Esto implica la promoción de una política nacional coherente que articule las oportunidades ofrecidas por el sector privado y las metas establecidas en los ODS. Como parte de esta estrategia, se podrían implementar proyectos piloto en comunidades rurales vulnerables, introduciendo tecnologías emergentes, como sistemas de alerta temprana. La cooperación internacional sería esencial en este proceso, no solo para financiar estos proyectos, sino también para evaluar su efectividad y replicarlos en otras regiones del país.

Por último, la interacción entre debilidades y amenazas destaca áreas críticas que exigen atención prioritaria. La corrupción, un problema recurrente en el ámbito de las corporaciones regionales, podría ser combatida mediante la creación de sistemas de auditoría digital. Estas plataformas permitirían monitorear la asignación de recursos de manera transparente y promover la rendición de cuentas entre los actores involucrados.

Asimismo, fortalecer la infraestructura hídrica se torna imperativo frente a la creciente amenaza de fenómenos climáticos extremos. En este sentido, Colombia puede priorizar inversiones en infraestructura resiliente, buscando apoyo a través de mecanismos de cooperación internacional y financiamiento climático.

Además, es fundamental incentivar prácticas sostenibles en sectores productivos como la agricultura. Diseñar programas de educación y brindar apoyo financiero a productores que adopten tecnologías de riego eficiente contribuiría significativamente a la sostenibilidad hídrica, mejorando el manejo del mismo y reduciendo la presión sobre las fuentes disponibles.

En este sentido, Colombia enfrenta un escenario complejo en la gestión del recurso hídrico, pero cuenta con una serie de fortalezas y oportunidades que pueden ser aprovechadas mediante estrategias integrales. La participación comunitaria, el apoyo del sector privado, la implementación de tecnologías emergentes y el fortalecimiento institucional representan pilares fundamentales para construir un modelo de gestión hídrica que no solo aborde las amenazas actuales, sino que también impulsa el desarrollo sostenible en el país.

2.3 Iniciativas de innovación tecnológica aplicadas en la gestión del agua en España y Colombia

La gestión del agua es un campo en el que la tecnología juega un papel cada vez más relevante, especialmente en países con desafíos tanto ambientales como socioeconómicos. España y Colombia han implementado distintas iniciativas de innovación tecnológica que buscan optimizar la eficiencia en el uso del recurso hídrico, garantizar su sostenibilidad y mitigar el impacto de fenómenos adversos como el cambio climático y la escasez de agua. Este capítulo examina las principales innovaciones aplicadas en ambos países, destacando su relevancia y efectividad en la gestión del agua.

2.3.1 Iniciativas en España

En España, la gestión hídrica ha recibido un impulso importante a través de la incorporación de tecnologías avanzadas que optimizan la planificación y distribución del agua. Uno de los ejemplos más destacados es el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y sensores de

teledetección. Estos sistemas permiten el monitoreo constante de las cuencas y la detección temprana de problemas como la contaminación y la disminución de los niveles de agua en los embalses (FERNÁNDEZ et al., 2020). La integración de datos climáticos y de hidrología en plataformas de análisis geoespacial ha facilitado la toma de decisiones por parte de los gestores de recursos hídricos y ha mejorado la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia.

Otra innovación relevante es el uso de tecnologías de telemetría y automatización en los sistemas de riego. España ha implementado soluciones inteligentes que permiten a los agricultores monitorear y ajustar el riego en tiempo real, optimizando el uso del agua y reduciendo el desperdicio. Según GARCÍA et al. (2021), estas tecnologías han demostrado ser efectivas en la reducción del consumo de agua en hasta un 30% en ciertas regiones, lo cual es particularmente importante en áreas como el sureste del país, donde la disponibilidad de agua es limitada.

Asimismo, el tratamiento y la reutilización de aguas residuales son áreas en las que España ha mostrado un progreso notable. Las plantas de tratamiento de aguas residuales han incorporado sistemas de membranas de alta eficiencia y procesos de purificación avanzados, como la ósmosis inversa, para permitir el uso de agua reciclada en actividades industriales y agrícolas (PÉREZ, 2021). Este enfoque ha sido crucial para aliviar la presión sobre los recursos de agua dulce y promover una economía circular en la gestión de este recurso vital.

Además, el gobierno español ha impulsado la colaboración con empresas de tecnología para desarrollar plataformas de gestión basadas en inteligencia artificial (IA). Estas herramientas permiten predecir patrones de consumo de agua y anticipar la necesidad de ajustes en la distribución, mejorando la sostenibilidad y minimizando el impacto de fluctuaciones estacionales (LÓPEZ Y SÁNCHEZ, 2022). Un ejemplo de ello es la plataforma AQUA-IA, que combina big data y modelos predictivos para optimizar la gestión de las redes de agua en grandes ciudades como Madrid y Barcelona.

2.3.2 Iniciativas en Colombia

Por otro lado, Colombia enfrenta retos distintos en su contexto hídrico, debido a la variabilidad climática y la infraestructura desigual en las zonas rurales y urbanas. Sin

Análisis DOFA de las Políticas de Gestión Hídrica en España y Colombia: Tecnologías emergentes, Innovación y Sostenibilidad en el Uso del Recurso Hídrico

embargo, en los últimos años, se han desarrollado e implementado diversas iniciativas de innovación tecnológica para mejorar la gestión del agua.

Una de las iniciativas más destacadas es el uso de drones para el monitoreo de cuencas y la identificación de fuentes de contaminación. Estos dispositivos permiten a las autoridades ambientales mapear grandes extensiones de terreno de manera eficiente y obtener datos precisos que facilitan la implementación de medidas correctivas (RAMÍREZ et al., 2020). Este tipo de tecnología ha demostrado ser particularmente útil en áreas remotas donde el acceso es limitado, contribuyendo así a un manejo más integrado de los recursos hídricos.

En el sector agrícola, la adopción de tecnologías de riego inteligente ha comenzado a ganar terreno. Aunque aún no se encuentra tan desarrollado como en España, en Colombia se han implementado sistemas que utilizan sensores de humedad y aplicaciones móviles para optimizar el riego y reducir el consumo de agua en cultivos. Estudios realizados por GÓMEZ y RODRÍGUEZ (2021) señalan que el uso de estos sistemas ha permitido incrementar la eficiencia del riego en un 20% en zonas productivas del interior del país.

Asimismo, el país también ha avanzado en la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales con tecnologías de última generación. En ciudades como Medellín y Bogotá, se han instalado sistemas que utilizan procesos biológicos y químicos para purificar el agua antes de devolverla al medio ambiente o reutilizarla (TORRES et al., 2019). Este esfuerzo ha contribuido a mejorar la calidad del agua y reducir los niveles de contaminación en importantes cuerpos de agua como el río Bogotá.

Una de las barreras en Colombia ha sido la falta de acceso equitativo a estas tecnologías en zonas rurales y áreas de alta vulnerabilidad socioeconómica. Sin embargo, iniciativas públicas y privadas han comenzado a colaborar en programas piloto para implementar soluciones de bajo costo que pueden replicarse en comunidades con recursos limitados (LÓPEZ et al., 2022).

Finalmente, la inteligencia artificial y el big data también están abriendo nuevas oportunidades para la gestión del agua en Colombia. Recientes colaboraciones entre universidades y empresas tecnológicas han permitido desarrollar sistemas predictivos que

Linda Lucía Quintero Vásquez

Análisis DOFA de las Políticas de Gestión Hídrica en España y Colombia: Tecnologías emergentes, Innovación y Sostenibilidad en el Uso del Recurso Hídrico

ayudan a gestionar de forma más eficiente los recursos hídricos, especialmente en la planificación de infraestructuras y la prevención de desastres naturales (RODRÍGUEZ Y PINEDA, 2023).

2.3.3 Políticas públicas y normativas como marco para las iniciativas tecnológicas en la gestión hídrica

La implementación de tecnologías en la gestión del agua no se produce en un vacío normativo, sino que se encuentra estrechamente vinculada a las políticas públicas y marcos legales de cada país. Tanto en España como en Colombia, estas normativas han establecido los lineamientos para fomentar, regular y optimizar el uso de tecnologías avanzadas en la gestión hídrica, en respuesta a desafíos como la escasez de agua, el cambio climático y la presión sobre los recursos naturales.

El caso de España: La Directiva Marco del Agua y su impacto en la tecnología

En el contexto europeo, España se encuentra regulada por la Directiva Marco del Agua (DMA), adoptada en el año 2000 por la Unión Europea (Directiva 2000/60/CE), la cual establece objetivos ambiciosos para garantizar un buen estado ecológico de las masas de agua. Esta directiva, considerada como un marco holístico para la gestión hídrica, ha desempeñado un papel clave en la modernización del sector hídrico español mediante la integración de tecnologías avanzadas (MARTÍNEZ- LÓPEZ, 2021).

Uno de los principales efectos de la Directiva 2000/60/CE ha sido la promoción de sistemas de información geográfica (SIG) y sensores de teledetección, herramientas que han permitido a los gestores de recursos hídricos monitorear cuencas hidrográficas y anticipar problemas relacionados con la calidad y disponibilidad del agua. Estas tecnologías se han convertido en elementos esenciales para cumplir con los requerimientos de monitoreo establecidos por la directiva, que exige informes periódicos sobre la situación de los recursos hídricos (FERNÁNDEZ 2020).

Además, la DMA ha incentivado la inversión en el tratamiento y reutilización de aguas residuales, un aspecto clave en la economía circular promovida por la Unión Europea. Las normativas derivadas de esta directiva han impulsado la adopción de tecnologías avanzadas

Linda Lucía Quintero Vásquez

Análisis DOFA de las Políticas de Gestión Hídrica en España y Colombia: Tecnologías emergentes, Innovación y Sostenibilidad en el Uso del Recurso Hídrico

como la ósmosis inversa y sistemas de ultrafiltración, que han incrementado la reutilización de aguas residuales en actividades agrícolas e industriales, reduciendo así la presión sobre las fuentes de agua dulce (PÉREZ, 2021).

Por otro lado, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) complementa los objetivos de la DMA al promover el desarrollo de soluciones basadas en inteligencia artificial (IA) y big data para gestionar las fluctuaciones en la disponibilidad del agua y mitigar los riesgos asociados al cambio climático. Estas tecnologías han sido fundamentales para el diseño de infraestructuras resilientes y la optimización de los recursos hídricos en grandes urbes como Madrid y Barcelona (LÓPEZ-SÁNCHEZ, 2022).

El caso de Colombia: El Plan Nacional de Gestión del Recurso Hídrico

En Colombia, la gestión hídrica se encuentra enmarcada en el Plan Nacional de Gestión del Recurso Hídrico (PNGRH), que establece lineamientos estratégicos para garantizar el uso sostenible del agua en un país caracterizado por una alta variabilidad climática y una marcada desigualdad en el acceso a los recursos. Este plan, junto con la Ley 99 de 1993, que creó el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (CONGRESO DE LA REPÚBLICA, 1993), ha proporcionado un marco normativo para el desarrollo de iniciativas tecnológicas en la gestión del agua (GÓMEZ -RODRÍGUEZ, 2021).

El PNGRH promueve la adopción de tecnologías para el monitoreo y conservación de las cuencas hidrográficas, especialmente en regiones vulnerables como la cuenca del río Magdalena. En este contexto, el uso de drones para la detección de fuentes de contaminación y la evaluación de los caudales se ha convertido en una herramienta clave. Estas tecnologías no solo permiten una evaluación más precisa de los recursos hídricos, sino que también contribuyen a la toma de decisiones basada en datos (RAMÍREZ, 2020).

En cuanto al tratamiento de aguas residuales, la Ley de Agua Potable y Saneamiento Básico (Congreso de la República, 1994) ha facilitado la implementación de tecnologías innovadoras en plantas de tratamiento, como procesos biológicos avanzados y sistemas de lodos activados. Estas iniciativas han sido esenciales para mejorar la calidad del agua en ciudades

Linda Lucía Quintero Vásquez

Análisis DOFA de las Políticas de Gestión Hídrica en España y Colombia: Tecnologías emergentes, Innovación y Sostenibilidad en el Uso del Recurso Hídrico como Bogotá y Medellín, que enfrentan graves problemas de contaminación hídrica (Torres et al., 2019).

A pesar de estos avances, las políticas públicas en Colombia también deben lidiar con barreras como la falta de financiamiento y la limitada cobertura tecnológica en áreas rurales. No obstante, la colaboración entre el sector público, privado y académico ha comenzado a cerrar estas brechas mediante el desarrollo de soluciones de bajo costo, como sensores de humedad y plataformas de riego inteligentes accesibles para pequeños agricultores (LÓPEZ, 2022).

2.3.4 Ejemplos de proyectos tecnológicos exitosos en la gestión hídrica de España y Colombia

La gestión hídrica ha evolucionado en las últimas décadas, gracias a la integración de tecnologías innovadoras que no solo buscan solucionar los problemas actuales, sino también anticipar desafíos futuros. En este contexto, tanto España como Colombia han implementado proyectos tecnológicos exitosos que destacan por su impacto positivo en la sostenibilidad y optimización del recurso hídrico.

España: Monitoreo inteligente en el Delta del Ebro

El Delta del Ebro, una de las áreas más importantes para la biodiversidad y la agricultura en España, enfrenta amenazas significativas debido al cambio climático, la salinización y la reducción del caudal de agua. En respuesta, se desarrolló un sistema de monitoreo inteligente liderado por el consorcio público-privado SMART Delta, en colaboración con instituciones como la Confederación Hidrográfica del Ebro y la empresa tecnológica Acciona (MARTÍNEZ -LÓPEZ, 2021).

Este proyecto combina sensores de calidad del agua, estaciones meteorológicas y tecnología de big data para recopilar y analizar datos en tiempo real sobre el estado del recurso hídrico. A través de una plataforma de acceso abierta, los gestores del delta pueden tomar decisiones informadas sobre el manejo del agua, como el control de la intrusión salina o la optimización del riego agrícola (PÉREZ, 2021).

El éxito de esta iniciativa radica en su capacidad para integrar tecnologías emergentes con necesidades locales, como la conservación de humedales y el fortalecimiento de la agricultura sostenible. Además, este modelo ha servido como referencia para otros proyectos en la cuenca del río Guadalquivir, ampliando su impacto en el territorio español (FERNÁNDEZ, 2022).

España: Reutilización de aguas residuales en la Comunidad Valenciana

Otro ejemplo relevante es el proyecto **HydroReuse**, implementado en la Comunidad Valenciana. Esta iniciativa, liderada por el (INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL AGUA, 2024), ha transformado las aguas residuales en una fuente confiable para usos agrícolas e industriales. Mediante la adopción de tecnologías avanzadas como membranas de ultrafiltración y sistemas de desinfección por rayos UV, el proyecto ha logrado garantizar la calidad del agua industrial y su seguridad para aplicaciones sensibles (LÓPEZ, 2020).

HydroReuse no solo ha reducido la presión sobre los recursos hídricos convencionales, sino que también ha incrementado la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a períodos de sequía. Este proyecto ha recibido reconocimiento internacional y actualmente se estudia su replicación en regiones mediterráneas de alta vulnerabilidad hídrica (GÓMEZ-RODRÍGUEZ, 2021).

Colombia: Restauración tecnológica del río Magdalena

En Colombia, el río Magdalena representa un eje fundamental para la economía y el medio ambiente. Sin embargo, su deterioro por sedimentación y contaminación ha requerido intervenciones urgentes. Una de las iniciativas más destacadas es el proyecto de restauración tecnológica liderado por Cormagdalena y el Centro de Investigaciones Ambientales (CIA), que combina ingeniería ecológica con sistemas de monitoreo remoto (RAMÍREZ, 2020).

Este proyecto utiliza drones equipados con cámaras multiespectrales para identificar áreas críticas de sedimentación y fuentes de contaminación. Los datos obtenidos se integran en plataformas de análisis geoespacial que permiten priorizar intervenciones, como la

Linda Lucía Quintero Vásquez

Análisis DOFA de las Políticas de Gestión Hídrica en España y Colombia: Tecnologías emergentes, Innovación y Sostenibilidad en el Uso del Recurso Hídrico

construcción de barreras naturales y la reforestación de zonas ribereñas. Además, se han implementado boyas inteligentes que monitorean en tiempo real parámetros como el caudal, la turbidez y la calidad del agua (TORRES, 2019).

El impacto del proyecto se refleja en la recuperación de hábitats clave y la mejora de la navegabilidad del río, lo cual ha beneficiado a comunidades ribereñas y sectores como el transporte fluvial y la pesca. Este modelo ha sido reconocido como un ejemplo de innovación sostenible en la región andina (GÓMEZ, 2021).

Colombia: Sistemas inteligentes de riego en Bogotá

Otro caso de éxito es el uso de sistemas inteligentes de riego en la Sabana de Bogotá, impulsado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en colaboración con universidades locales. Esta iniciativa implementa sensores de humedad y algoritmos basados en inteligencia artificial para optimizar el consumo de agua en cultivos de alta demanda, como flores y hortalizas (LÓPEZ- SÁNCHEZ, 2022).

El sistema no solo ha reducido significativamente el desperdicio de agua, sino que también ha incrementado la productividad de los cultivos. Además, los pequeños agricultores han recibido capacitaciones para adoptar estas tecnologías, cerrando la brecha tecnológica entre grandes y pequeños productores.

2.4 Propuesta de marco normativo de regulación del uso de la inteligencia artificial como tecnología emergente aplicada en la gestión hídrica en España y Colombia.

El uso de la inteligencia artificial en la gestión hídrica ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, impulsado por la capacidad de los algoritmos para analizar grandes volúmenes de datos y optimizar procesos complejos (TORRES Y GARCÍA, 2020). Sin embargo, la normativa en torno al uso de la IA en este ámbito todavía es incipiente y requiere un desarrollo más detallado que contemple los principios de transparencia, responsabilidad y sostenibilidad.

En Europa, la Propuesta de Reglamento de la Comisión Europea sobre la IA, presentada en 2021, y que entró en vigor el 1 de agosto de 2024 establece un marco jurídico que clasifica los sistemas de IA en función de su nivel de riesgo y propone un organo de control para cada nivel (COMISION EUROPEA, 2021). Siendo el Reglamento (UE) 2024/1689 el primer marco jurídico exhaustivo sobre IA en todo el mundo. Si bien abarca sectores amplios, constituye un punto de partida relevante para abordar la regulación específica en la gestión hídrica en España. Por su parte, en Colombia, la legislación relacionada con tecnologías emergentes y medioambiente es más fragmentada y se encuentra en una etapa de desarrollo que requiere de un enfoque integral para incluir la IA en la gestión de recursos naturales (LÓPEZ, 2022).

2.4.1. Principios para un marco normativo eficaz.

Desarrollar un marco normativo eficaz para la regulación de la inteligencia artificial (IA) en la gestión hídrica en España y Colombia requiere la consideración de principios fundamentales que aseguren su implementación ética y responsable. A continuación, se detallan estos principios:

Transparencia y Explicabilidad

La transparencia en los sistemas de IA implica que sus procesos y decisiones sean comprensibles para los usuarios y partes interesadas. La explicabilidad se refiere a la capacidad de los sistemas para proporcionar explicaciones claras sobre cómo se alcanzan las decisiones o resultados. En el contexto de la gestión hídrica, donde las decisiones pueden afectar significativamente a comunidades y ecosistemas, la transparencia y explicabilidad son esenciales para generar confianza y facilitar la aceptación pública de estas tecnologías.

Según la "Hoja de Ruta para la Adopción Ética y Sostenible de la Inteligencia Artificial en Colombia"(2024), la transparencia es un pilar fundamental para garantizar que los sistemas de IA operen de manera ética y responsable. Este documento destaca la importancia de que las organizaciones implementen mecanismos que permitan a los usuarios comprender cómo se procesan sus datos y cómo se toman las decisiones automatizadas.

Además, la "Propuesta de Reglamento de la Comisión Europea sobre la IA" (2021) establece que los sistemas de IA deben ser transparentes y proporcionar información adecuada sobre su funcionamiento. Este enfoque busca garantizar que los usuarios comprendan las capacidades y limitaciones de los sistemas, promoviendo una utilización informada y consciente de la tecnología.

La transparencia y explicabilidad también facilitan la identificación y corrección de sesgos o errores en los sistemas de IA, lo cual es crucial para evitar decisiones injustas o discriminatorias. Por lo tanto, es fundamental que el marco normativo exija la documentación detallada de los algoritmos y procesos utilizados, así como la implementación de auditorías periódicas para evaluar su desempeño y equidad.

Responsabilidad y Rendición de Cuentas

La responsabilidad en el uso de la IA implica que los desarrolladores, proveedores y usuarios de estas tecnologías asuman las consecuencias de su implementación y operación. La rendición de cuentas se refiere a la obligación de explicar y justificar las realizadas por los sistemas de IA, especialmente cuando afectan a terceros. En la gestión hídrica, donde las decisiones pueden tener impactos ambientales y sociales significativos, es esencial establecer claramente quién es responsable de las acciones de la IA y cómo se abordarán posibles fallos o consecuencias negativas.

El "Código de Buenas Prácticas para la Creación y Uso de Modelos de Inteligencia Artificial" publicado por la Unión Europea en noviembre de 2024 enfatiza la importancia de la gobernanza y la gestión adecuada de los sistemas de IA (COMISIÓN EUROPEA, 2024). Este documento destaca que las organizaciones deben estructurar sus procesos de IA desde el diseño, asegurando que se consideran aspectos éticos y de cumplimiento normativo.

Asimismo, la "Hoja de Ruta para la Adopción Ética y Sostenible de la Inteligencia Artificial en Colombia" (MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN, 2024) subraya la necesidad de establecer mecanismos de responsabilidad que permitan identificar y mitigar riesgos asociados al uso de la IA. Esto incluye la creación de políticas internas y la capacitación de personal para garantizar una implementación responsable de la tecnología.

Establecer un marco normativo que defina claramente las responsabilidades y promueva la rendición de cuentas es fundamental para garantizar que la implementación de la IA en la gestión hídrica se realice de manera ética y con el debido respeto a los derechos de las personas y las comunidades afectadas.

Seguridad y resiliencia

La seguridad en los sistemas de IA se refiere a la protección contra accesos no autorizados, manipulaciones indebidas y ciberataques que puedan comprometer su integridad y funcionamiento. La resiliencia implica la capacidad de estos sistemas para mantener operaciones continuas y recuperarse rápidamente ante fallos o incidentes adversos. En el ámbito de la gestión hídrica, donde la infraestructura crítica está involucrada, garantizar la seguridad y resiliencia de los sistemas de IA es vital para prevenir interrupciones en el suministro de agua y proteger los ecosistemas asociados.

El artículo "Ciberseguridad en Infraestructuras Críticas: Un Enfoque en la Gestión Hídrica" (MENDOZA, 2020) destaca la importancia de implementar medidas de seguridad avanzadas en los sistemas de gestión hídrica que utilizan IA. Los autores señalan que la interconexión de dispositivos y sistemas en el contexto de la Industria 4.0 aumenta la superficie de ataque, haciendo necesario el desarrollo de estrategias de ciberseguridad específicas para proteger estos entornos.

Además, la "Hoja de Ruta para la Adopción Ética y Sostenible de la Inteligencia Artificial en Colombia" (MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN, 2024) recomienda la incorporación de prácticas de seguridad desde las etapas iniciales de desarrollo de los sistemas de IA. Esto incluye la realización de evaluaciones de riesgo, la implementación de controles de acceso y la planificación de respuestas ante incidentes, con el objetivo de garantizar la resiliencia operativa y la protección de los datos manejados por estos sistemas.

Un marco normativo eficaz debe exigir que los sistemas de IA en la gestión hídrica incorporen medidas de seguridad robustas y planes de contingencia que aseguren su resiliencia ante posibles amenazas, garantizando así la continuidad y confiabilidad de los servicios relacionados con el agua.

Protección de Datos y Privacidad

La protección de datos y la privacidad son aspectos fundamentales en la implementación de sistemas de IA, especialmente cuando se manejan datos personales o sensibles. En la gestión hídrica, la recopilación y análisis de datos pueden involucrar información sobre patrones de consumo, ubicación geográfica y otros detalles que requieren un manejo cuidadoso para evitar vulneraciones a la privacidad de los individuos.

El "Reglamento General de Protección de Datos (RGPD)" (UNIÓN EUROPEA, 2016) de la Unión Europea establece directrices claras sobre cómo deben manejarse los datos personales, enfatizando principios como la minimización de datos, el consentimiento informado y el derecho al olvido. Además de los lineamientos del Reglamento General de Protección de Datos (RGPD), la legislación colombiana, particularmente la Ley 1581 de 2012 (COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPÚBLICA, 2012), establece medidas específicas para la protección de datos personales. Esta normativa, junto con las directrices de la Superintendencia de Industria y Comercio, enfatiza la necesidad de contar con un consentimiento explícito y un propósito claro al recolectar y tratar datos. En el contexto de la gestión hídrica, estas normativas se aplican cuando se recolectan datos sobre el uso del agua, lo cual podría incluir información personal y sensible sobre los usuarios.

La investigación publicada en *Revista de Derecho Digital* (LÓPEZ, 2020) se destaca que los sistemas de inteligencia artificial deben ser diseñados teniendo en cuenta la privacidad desde su concepción ("privacy by design"). Esto implica adoptar tecnologías como la anonimización y la encriptación para garantizar que los datos personales no sean vulnerados. Asimismo, se sugiere la implementación de auditorías regulares para identificar y mitigar posibles riesgos de privacidad en los sistemas de IA.

Un marco normativo eficaz debe establecer regulaciones estrictas que obligan a las entidades que implementan IA en la gestión hídrica a cumplir con estándares de protección de datos. Asimismo, es necesario asegurar la transparencia en el tratamiento de datos, para garantizar que los usuarios comprendan cómo se utilizan sus datos y puedan ejercer sus derechos en caso de irregularidades.

Sostenibilidad y Equidad

La sostenibilidad en el contexto de la gestión hídrica implica garantizar que las generaciones actuales y futuras tengan acceso a recursos hídricos adecuados, mientras se minimizan los impactos negativos en el medio ambiente. Por su parte, la equidad asegura que el acceso a estos recursos sea justo y no discrimine a ninguna población. Los sistemas de inteligencia artificial tienen el potencial de optimizar la gestión hídrica, pero su implementación debe realizarse de manera que no genere inequidades ni perjudique a comunidades vulnerables.

Según (GARCÍA-MARTÍNEZ, 2022), en su artículo publicado en Revista Sostenibilidad e Innovación, la IA puede facilitar la predicción de sequías y la optimización del consumo de agua en sectores agrícolas e industriales, pero advierten que es crucial considerar los impactos sociales de estas implementaciones. Las comunidades rurales, que a menudo enfrentan mayores desafíos de acceso al agua, deben ser priorizadas en los programas de implementación de tecnologías avanzadas.

Además, el estudio publicado en Journal of Environmental Policy (PÉREZ, 2023) enfatiza la necesidad de marcos normativos que incluyan mecanismos de consulta previa y participación ciudadana. Esto garantizará que las comunidades locales sean parte del proceso de toma de decisiones, promoviendo una distribución equitativa de los beneficios derivados del uso de IA en la gestión hídrica.

Un marco normativo eficaz debe incorporar disposiciones que promuevan tanto la sostenibilidad ambiental como la equidad social, asegurando que los beneficios de la tecnología lleguen a todas las comunidades y que los recursos hídricos sean gestionados de manera responsable.

2.4.2 Propuesta específica para España

La implementación de la inteligencia artificial (IA) en la gestión hídrica de España presenta una oportunidad estratégica para optimizar el uso de los recursos, garantizar la sostenibilidad ambiental y cumplir con los compromisos europeos en materia de cambio climático y economía circular. A pesar de la existencia de un sólido marco regulatorio europeo, como el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) (UNIÓN EUROPEA, 2016) y las directrices del Pacto Verde Europeo (COMISIÓN EUROPEA, 2019), se requiere un reglamento específico que complemente estas normativas y aborde las

Linda Lucía Quintero Vásquez

Análisis DOFA de las Políticas de Gestión Hídrica en España y Colombia: Tecnologías emergentes, Innovación y Sostenibilidad en el Uso del Recurso Hídrico

particularidades del sector hídrico en España. Esta propuesta busca establecer un marco regulatorio nacional que fomente la interoperabilidad entre sistemas, la transparencia en la gestión y el incentivo a la innovación tecnológica en el uso de IA aplicada al agua.

Interoperabilidad entre sistemas

Uno de los principales desafíos en la gestión hídrica de España es la fragmentación de los sistemas de gestión entre comunidades autónomas y organismos públicos. La interoperabilidad entre estos sistemas es esencial para garantizar una gestión eficiente y coordinada de los recursos hídricos, especialmente en contextos de estrés hídrico agravado por el cambio climático. Un marco normativo específico podría establecer estándares técnicos obligatorios para los sistemas de IA utilizados en la gestión hídrica, permitiendo que las plataformas y tecnologías sean compatibles y puedan compartir datos en tiempo real.

Según FERNÁNDEZ-LÓPEZ (2020), la interoperabilidad entre sistemas no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también fortalece la capacidad de respuesta ante situaciones críticas, como sequías prolongadas o inundaciones repentinas. Este reglamento debería incluir mecanismos para la certificación de tecnologías que cumplan con los estándares técnicos y fomenten la colaboración entre los sectores público y privado en el desarrollo de plataformas interoperables.

Transparencia y acceso a la información.

La transparencia es otro aspecto clave para garantizar la confianza pública en el uso de IA en la gestión hídrica. El reglamento específico para España debería exigir que los sistemas basados en IA incluyan funcionalidades que permitan auditar los procesos de toma de decisiones, así como garantizar el acceso abierto a los datos generados por estas tecnologías. Esto incluye la publicación de métricas de eficiencia, predicciones de consumo y resultados de optimización realizados por los sistemas de IA.

La colaboración entre el sector público y privado es fundamental en este ámbito. Se destaca que las iniciativas conjuntas pueden incluir auditorías periódicas realizadas por organismos independientes, que certifican la transparencia y el cumplimiento ético de las tecnologías implementadas(RUÍZ, 2022). Asimismo, los datos generados deben estar

Incentivos a la innovación tecnológica

La inclusión de cláusulas que incentivan la inversión en tecnologías de IA es esencial para fomentar la adopción de soluciones innovadoras en la gestión hídrica. Estos incentivos podrían incluir beneficios fiscales para las empresas que desarrollen o implementen tecnologías de IA que optimicen el uso de recursos hídricos, así como la creación de fondos de investigación específicos para proyectos relacionados con la gestión hídrica.

En este sentido, un ejemplo exitoso a nivel europeo es el programa Horizonte Europa, que financia proyectos de innovación tecnológica con impacto ambiental positivo. España podría adaptar este modelo a nivel nacional, creando un fondo exclusivo para proyectos de IA en el sector hídrico. Este fondo podría priorizar iniciativas que demuestren resultados medibles en la reducción de pérdidas de agua, la optimización del consumo en sectores industriales y agrícolas, y la predicción de eventos extremos relacionados con el agua.

Incorporación de cláusulas de sostenibilidad

El reglamento propuesto también debería incluir cláusulas específicas que alineen el uso de la IA en la gestión hídrica con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 6, que busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible para todos. Estas cláusulas podrían exigir que las tecnologías de IA consideren no solo la optimización del uso de los recursos hídricos, sino también los impactos sociales y ambientales asociados.

Por ejemplo, el reglamento podría exigir que los sistemas de IA integren métricas de sostenibilidad que evalúen el impacto ambiental de las decisiones tomadas. Esto incluye el monitoreo de la calidad del agua, la biodiversidad en las cuencas hidrográficas y el impacto en comunidades vulnerables. Además, se debería priorizar el desarrollo de

Linda Lucía Quintero Vásquez

Análisis DOFA de las Políticas de Gestión Hídrica en España y Colombia: Tecnologías emergentes, Innovación y Sostenibilidad en el Uso del Recurso Hídrico

soluciones tecnológicas que sean inclusivas y accesibles, garantizando que los beneficios lleguen a todas las regiones, incluidas aquellas con menores recursos.

Colaboración público-privada y participación ciudadana

Finalmente, el éxito de este marco normativo depende en gran medida de la colaboración efectiva entre los sectores público y privado, así como de la participación activa de los ciudadanos en el proceso de toma de decisiones. El reglamento podría establecer plataformas de colaboración donde empresas tecnológicas, organismos gubernamentales y organizaciones de la sociedad civil trabajen conjuntamente en el desarrollo e implementación de soluciones de IA.

El autor sugiere que estas colaboraciones podrían incluir la creación de laboratorios de innovación donde se prueben nuevas tecnologías antes de su implementación a gran escala (RUÍZ 2022). Además, la participación ciudadana debe ser promovida a través de consultas públicas, encuestas y otros mecanismos que permitan recoger las opiniones y preocupaciones de los ciudadanos sobre el uso de IA en la gestión hídrica.

2.4.3 Propuesta específica para Colombia

En Colombia, la creación de un marco normativo integral para la regulación del uso de la inteligencia artificial (IA) en la gestión hídrica requiere un enfoque multidimensional que considere la diversidad geográfica, social y cultural del país. Dado que el acceso al agua y la gestión sostenible de los recursos hídricos varían significativamente entre las regiones, es imprescindible diseñar una regulación que contemple estas diferencias y aborde los retos específicos asociados con la desigualdad en el acceso al agua, el cambio climático y la protección de ecosistemas estratégicos.

Cooperación entre niveles de gobierno y participación comunitaria

Una de las características más destacadas del contexto colombiano es la diversidad geográfica, que va desde las altas montañas de los Andes hasta las planicies amazónicas y las costas caribeñas y pacíficas. Esta variedad presenta desafíos únicos en la gestión hídrica y requiere un marco normativo que fomente la cooperación entre los diferentes niveles de gobierno, desde el nacional hasta el municipal, y que permita la participación activa de las comunidades locales.

Según ARÉVALO (2021), un enfoque participativo es esencial para garantizar que las soluciones basadas en IA respondan a las necesidades reales de las comunidades y sean inclusivas. Por ejemplo, en regiones como La Guajira, donde el acceso al agua potable es limitado, la IA podría utilizarse para monitorear la disponibilidad de agua subterránea y optimizar su distribución, siempre que las comunidades indígenas sean consultadas y sus derechos sean respetados. Esto requeriría la implementación de mecanismos legales que aseguren la consulta previa y el consentimiento libre, previo e informado, en línea con lo estipulado en el Convenio 169 de la OIT (C169 OIT) y la legislación colombiana.

El marco normativo también debería establecer plataformas de colaboración interinstitucional para garantizar que las políticas hídricas sean coherentes y eficaces. Estas plataformas podrían integrar a actores del sector público, empresas privadas, universidades y organizaciones no gubernamentales, promoviendo la transferencia de conocimientos y la co-creación de soluciones innovadoras.

Fomento a la inversión en investigación y desarrollo

Para garantizar una adopción efectiva de la IA en la gestión hídrica, es crucial fomentar la inversión en investigación y desarrollo de tecnologías sostenibles. Actualmente, la inversión en innovación tecnológica en Colombia es limitada, lo que restringe la capacidad del país para aprovechar plenamente las ventajas de la IA.

La creación de fondos específicos para la investigación en tecnologías de IA aplicadas a la gestión hídrica podría incentivar el desarrollo de soluciones locales que optimicen el uso de recursos hídricos, reduzcan pérdidas por fugas y contribuyan a la protección de ecosistemas estratégicos como los páramos y las cuencas hidrográficas (MARTÍNEZ 2023).

Asimismo, el marco normativo debería establecer incentivos fiscales y económicos para las empresas que desarrollen o adopten tecnologías de IA con impacto positivo en la sostenibilidad hídrica. Estos incentivos podrían incluir exenciones tributarias, acceso a financiamiento preferencial y reconocimiento público a través de sellos de sostenibilidad.

Protección de la biodiversidad y respeto por los derechos de las comunidades

La biodiversidad y la riqueza cultural de Colombia son activos fundamentales que deben ser protegidos en cualquier estrategia de gestión hídrica basada en IA. El marco normativo propuesto debería incluir disposiciones específicas para garantizar que las tecnologías utilizadas no solo optimicen el uso del agua, sino que también incluyan respeto a los ecosistemas y los derechos de las comunidades indígenas y campesinas.

Por ejemplo, las tecnologías de IA podrían ser diseñadas para monitorear en tiempo real la calidad del agua en ríos y lagos, identificando posibles amenazas para los ecosistemas y permitiendo la adopción de medidas correctivas de manera oportuna. Sin embargo, estas tecnologías deben ser implementadas de forma que respeten los conocimientos tradicionales y las prácticas culturales de las comunidades locales, evitando cualquier impacto negativo en su modo de vida.

La inclusión de las comunidades en la planificación y monitoreo de proyectos relacionados con la gestión hídrica es vital para construir confianza y asegurar la sostenibilidad de las iniciativas. Esto podría lograrse mediante la creación de comités de gestión hídrica en los que participan representantes comunitarios y expertos en IA, quienes trabajan conjuntamente en la toma de decisiones.

Capacitación y fortalecimiento de capacidades locales

La incorporación de IA en la gestión hídrica debe ir acompañada de programas de capacitación y fortalecimiento de capacidades locales para garantizar que los usuarios comprendan y puedan gestionar adecuadamente las nuevas tecnologías. Uno de los principales obstáculos para la adopción de tecnologías avanzadas en contextos rurales es la falta de formación técnica y acceso a recursos educativos (MARTÍNEZ 2023).

El marco normativo propuesto debería exigir que cualquier proyecto de implementación de IA en el sector hídrico incluya un componente educativo, dirigido tanto a los operadores técnicos como a las comunidades beneficiarias. Esto podría incluir talleres de formación, materiales educativos en lenguas indígenas y programas de alfabetización digital enfocados en el manejo de herramientas basadas en IA. La capacitación no solo facilitará la adopción de las tecnologías, sino que también empoderará a las comunidades para que participen activamente en la gestión de los recursos hídricos.

Monitoreo, evaluación y mejora continua

Finalmente, el éxito de cualquier marco normativo depende de la implementación de mecanismos de monitoreo y evaluación que permitan medir su efectividad y realizar ajustes cuando sea necesario. El marco normativo para Colombia debería incluir disposiciones para la evaluación periódica de los proyectos basados en IA, considerando indicadores como la eficiencia en el uso del agua, la mejora en el acceso al agua potable y el impacto en la biodiversidad.

Estos procesos de evaluación deben ser liderados por organismos independientes, que garanticen la transparencia y la imparcialidad. Además, los resultados de las evaluaciones deben ser compartidos públicamente, promoviendo la rendición de cuentas y la participación ciudadana en la mejora continua del marco normativo.

2.4.4 Regulación transfronteriza y colaboración internacional

La regulación transfronteriza y la colaboración internacional son componentes fundamentales para abordar los retos compartidos en la gestión hídrica, especialmente en un contexto global donde los efectos del cambio climático y la creciente demanda de recursos afectan a múltiples países de manera interconectada. Tanto España como Colombia pueden beneficiarse mutuamente de un enfoque cooperativo que promueva un intercambio efectivo de conocimientos, tecnologías y experiencias en torno a la gestión hídrica sostenible.

Estándares globales y colaboración institucional

Un aspecto clave de esta cooperación es el desarrollo de un marco normativo común basado en las mejores prácticas globales, lo cual podría lograrse mediante la colaboración con organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO ,2021) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2019). Según ROJAS-FERNÁNDEZ (2022), estos organismos desempeñan un papel crucial en la creación de estándares internacionales que promueven la sostenibilidad y la gestión responsable de los recursos hídricos, ofreciendo además acceso a plataformas de financiamiento y capacitación técnica.

Por ejemplo, la OCDE ha liderado iniciativas para la implementación de políticas hídricas integradas que priorizan la eficiencia en el uso del agua, la protección de ecosistemas y

la participación ciudadana. Estas políticas podrían adaptarse tanto a los contextos urbanos e industriales de España como a las necesidades rurales y multiculturales de Colombia. La UNESCO, por su parte, ha impulsado proyectos de investigación aplicada para el monitoreo de recursos hídricos mediante tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (UNESCO, 2021). La participación conjunta de ambos países en programas como el "World Water Assessment Programme" podría facilitar la adopción de soluciones innovadoras y mejorar la capacidad de gestión hídrica a nivel nacional y regional.

Transferencia de conocimiento y tecnología

La colaboración entre España y Colombia también puede fortalecerse a través de la transferencia de conocimientos y tecnologías relacionadas con la gestión hídrica sostenible. España, con su experiencia en la aplicación de políticas avanzadas de sostenibilidad hídrica, puede ofrecer lecciones valiosas sobre la regulación del uso del agua en sectores industriales y agrícolas, así como en la implementación de sistemas de monitoreo y control basados en inteligencia artificial.

Un ejemplo destacado es el caso de las cuencas hidrográficas en España, donde se han implementado sistemas de alerta temprana para sequías y mecanismos de redistribución del agua en función de la demanda y la disponibilidad. Estos modelos podrían ser adaptados en Colombia, donde las diferencias geográficas y sociales representan desafíos únicos. Por otro lado, las innovaciones locales en Colombia, como la implementación de sistemas comunitarios de gestión del agua en áreas rurales, pueden ofrecer insights valiosos para abordar retos específicos en áreas menos industrializadas de España. Estas prácticas podrían ser incorporadas en regiones españolas que enfrentan problemas similares, como las Islas Canarias o áreas remotas de Andalucía.

Sinergias en la capacitación y el desarrollo de capacidades

El desarrollo de capacidades es un componente esencial de la regulación transfronteriza, ya que permite que las partes involucradas comprendan y aprovechen al máximo las tecnologías y políticas implementadas. Ambos países podrían colaborar en la creación de programas de formación y capacitación dirigidos a gestores hídricos,

Linda Lucía Quintero Vásquez

Análisis DOFA de las Políticas de Gestión Hídrica en España y Colombia: Tecnologías emergentes, Innovación y Sostenibilidad en el Uso del Recurso Hídrico

técnicos y comunidades locales. Estos programas podrían incluir el intercambio de expertos, talleres conjuntos y la creación de manuales de buenas prácticas basados en experiencias reales de ambos contextos.

Además, la cooperación podría extenderse a la esfera académica mediante la promoción de proyectos de investigación conjuntos entre universidades e institutos tecnológicos de ambos países. Por ejemplo, universidades colombianas como la Universidad Nacional de Colombia podrían colaborar con instituciones españolas como la Universidad Politécnica de Madrid para desarrollar estudios comparativos sobre la eficacia de las políticas hídricas y explorar nuevas aplicaciones de la inteligencia artificial en la gestión del agua.

Marco normativo internacional y transparencia

La creación de un marco normativo transfronterizo también debe abordar la necesidad de transparencia y rendición de cuentas. Este marco debería incluir indicadores comunes para medir el impacto de las políticas y tecnologías implementadas, así como mecanismos de auditoría y evaluación independientes. Al adoptar estándares compartidos, como los desarrollados por la OCDE, se garantizaría que ambos países mantengan niveles de calidad y sostenibilidad acordes a las exigencias globales.

Por ejemplo, un componente clave podría ser la obligación de compartir datos generados por sistemas de inteligencia artificial para el monitoreo hídrico en un repositorio abierto, facilitando el acceso a investigadores, formuladores de políticas y comunidades interesadas. Esto no solo fomentaría la transparencia, sino que también permitiría una mejor colaboración internacional al identificar patrones y soluciones comunes.

Cooperación en el contexto del cambio climático

Asimismo, es importante destacar que la colaboración entre España y Colombia en la regulación de la gestión hídrica basada en inteligencia artificial debe situarse en el marco de los compromisos globales relacionados con el cambio climático, como los establecidos en el Acuerdo de París (COP21). Ambas naciones podrían alinear sus estrategias hídricas con sus metas de reducción de emisiones y adaptación climática,

Linda Lucía Quintero Vásquez

Análisis DOFA de las Políticas de Gestión Hídrica en España y Colombia: Tecnologías emergentes, Innovación y Sostenibilidad en el Uso del Recurso Hídrico

promoviendo prácticas que reduzcan el impacto ambiental y mejoren la resiliencia frente a fenómenos climáticos extremos.

En este sentido, la cooperación transfronteriza no solo beneficia a los países involucrados, sino que también contribuye a un esfuerzo global más amplio para garantizar el acceso sostenible al agua como un derecho humano fundamental y como un recurso estratégico para el desarrollo sostenible.

3. Conclusiones

El análisis DOFA realizado sobre las políticas de gestión hídrica en España y Colombia, con un enfoque en tecnologías emergentes, innovación y sostenibilidad, ha permitido identificar puntos de convergencia y divergencia significativas entre ambos países. Estos hallazgos son cruciales para comprender los desafíos y oportunidades que enfrentan ambas naciones en la administración de un recurso tan vital como el agua. Si bien cada contexto tiene características únicas derivadas de su marco legal, condiciones socioeconómicas y capacidades tecnológicas, también comparten retos globales, como el cambio climático y la creciente presión sobre los recursos hídricos debido al aumento poblacional y la expansión de actividades productivas.

En primer lugar, la comparación entre las fortalezas y debilidades de las políticas de gestión hídrica en ambos países evidencia que España se encuentra en una posición más avanzada en términos de adopción tecnológica y gobernanza. Esto se debe, en gran medida, a la consolidación de una normativa coherente y la implementación de estrategias de innovación que aprovechan la digitalización y la inteligencia artificial para la optimización del uso del agua.

España ha integrado estas herramientas en sectores clave, como la agricultura y la gestión de infraestructuras hídricas, lo que le permite responder con mayor eficacia a fenómenos climáticos extremos y garantizar la sostenibilidad del recurso. En contraste, Colombia enfrenta importantes limitaciones derivadas de la fragmentación normativa, la falta de infraestructura adecuada y las capacidades técnicas insuficientes de sus instituciones encargadas de la gestión hídrica. Sin embargo, estas debilidades no deben interpretarse como una barrera insuperable, sino como una oportunidad para transformar su modelo de gestión a través de la cooperación internacional y la inversión en tecnologías emergentes.

En segundo lugar, las oportunidades identificadas en ambos contextos destacan el papel central de la participación comunitaria y las alianzas público-privadas. En España, esta participación se ha consolidado mediante la integración de diversos actores en la planificación hídrica, lo que ha permitido alcanzar consensos y desarrollar soluciones

Análisis DOFA de las Políticas de Gestión Hídrica en España y Colombia: Tecnologías emergentes, Innovación y Sostenibilidad en el Uso del Recurso Hídrico

adaptadas a las necesidades locales. Por su parte, en Colombia, la capacidad organizativa de las comunidades rurales y su interés por la sostenibilidad representan un potencial sin explotar que podría ser aprovechado mediante incentivos económicos, como los programas de pago por servicios ambientales. Este enfoque no solo fortalece el vínculo entre las comunidades y la conservación de los recursos naturales, sino que también promueve un desarrollo socioeconómico sostenible en las regiones más vulnerables.

En cuanto a las amenazas, ambas naciones enfrentan riesgos significativos derivados del cambio climático y de actividades humanas que deterioran las fuentes hídricas, como la minería ilegal en Colombia o la sobreexplotación de acuíferos en España. En este sentido, se hace evidente la necesidad de implementar estrategias conjuntas que combinen el fortalecimiento de las capacidades institucionales con la incorporación de tecnologías avanzadas. Por ejemplo, los sistemas de monitoreo remoto y los modelos predictivos basados en inteligencia artificial pueden ser herramientas clave para mitigar los impactos de estos fenómenos. Sin embargo, para que estas soluciones sean efectivas, es fundamental superar las brechas de acceso tecnológico y garantizar una distribución equitativa de los recursos, especialmente en regiones rurales y de alta vulnerabilidad socioeconómica.

Desde una perspectiva reflexiva, este análisis invita a los actores involucrados en la gestión hídrica, tanto en España como en Colombia, a considerar la importancia de integrar enfoques innovadores y sostenibles en sus políticas y prácticas. La experiencia española en el uso de tecnologías emergentes puede servir como un modelo de referencia para Colombia, adaptándose a sus particularidades culturales, económicas y geográficas. Asimismo, la riqueza cultural y la diversidad de los sistemas comunitarios en Colombia representan un recurso invaluable que puede enriquecer las estrategias de gestión hídrica a nivel global.

En términos de propuestas, este trabajo ha destacado la necesidad de crear un marco normativo específico para regular el uso de la inteligencia artificial en la gestión hídrica. Este marco debe garantizar no solo la implementación eficiente de estas tecnologías, sino también su monitoreo y transparencia. Además, es imprescindible que las políticas públicas incluyan mecanismos de participación activa de las comunidades y promuevan la equidad en el acceso a los beneficios derivados de estas innovaciones.

Finalmente, este estudio subraya que la gestión hídrica no es un desafío aislado, sino un componente integral del desarrollo sostenible. Su éxito depende de la capacidad de los países para adoptar enfoques colaborativos, tanto a nivel local como internacional. Por ello, se invita a los investigadores, legisladores y demás actores interesados a seguir profundizando en el análisis comparado de las políticas de gestión hídrica y explorar nuevas formas de aplicar las tecnologías emergentes para garantizar la sostenibilidad del recurso. Este es un tema que no solo afecta a España y Colombia, sino que tiene implicaciones globales en un mundo cada vez más interconectado y enfrentado a los límites de sus recursos naturales.

Referencias bibliográficas

Bibliografía básica.

- Díaz, J., Martínez, R., & González, M. (2020). Impactos del cambio climático en la gestión hídrica en América Latina. *Revista Latinoamericana de Recursos Hídricos*, 12(2), 55-70.
- Fernández, M. (2020). Inteligencia artificial y gestión hídrica: un análisis de su impacto en la sostenibilidad. *Revista de Innovación y Desarrollo Tecnológico*, 5(2), 135-148.
- Fuentes, J., & González, L. (2019). Adaptación al cambio climático en la agricultura colombiana y española: una revisión comparativa. *Revista de Agricultura y Desarrollo*, 8(3), 70-85.
- Gómez, J. (2021). Consideraciones éticas y legales en el uso de inteligencia artificial en la administración de recursos naturales. *Derecho Ambiental Contemporáneo*, 9(1), 78-92.
- González, M., & Ramírez, L. (2021). Evaluación de la implementación del Decreto 1076 de 2015 en la gestión hídrica rural de Colombia. *Revista Internacional de Sostenibilidad Ambiental*, 15(3), 123-135.
- Llamas, M. R. (2020). Desafíos en la gobernanza del agua en España: de la planificación hidrológica a la gestión sostenible. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 45(1), 45-70.
- Rivas, C. (2019). Vacíos legales en la regulación del uso de tecnologías emergentes en la gestión hídrica: estudio comparativo España-Colombia. *Revista de Derecho Ambiental Comparado*, 14(3), 243-260.
- Rojas, G., Pérez, J., & Moreno, E. (2022). Aplicaciones de inteligencia artificial en la gestión de recursos hídricos en América Latina. *Revista de Tecnología y Sostenibilidad*, 12(4), 89-98.

- Ruiz, P., García, E., & Martínez, R. (2020). Tecnologías emergentes y sostenibilidad: el papel de la inteligencia artificial en la gestión del agua. *Journal of Water Management*, 18(4), 87-99.
- Saenz-Romero, C., Rehfeldt, G., Crookston, N., & Luyssaert, S. (2021). Impacto del cambio climático en los recursos hídricos de España y Colombia. *Revista Internacional de Gestión Ambiental*, 38(2), 150-160.
- Yáñez, D., Valera, A., & Ruiz, P. (2020). Desalación y nuevas tecnologías de tratamiento de agua en el contexto de cambio climático en el Mediterráneo. *Aguas Subterráneas*, 24(3), 195-210.
- Pérez, M., & López, R. (2021). Innovación tecnológica en la gestión hídrica: casos comparados entre Europa y América Latina. *Revista Internacional de Sostenibilidad Ambiental*, 10(3), 233-250.
- Rodríguez, S., & Gómez, J. (2022). La inteligencia artificial como herramienta para la predicción de sequías. *Revista de Tecnología Sostenible*, 8(1), 89-105.
- Martínez, P. (2021). El impacto de la fragmentación normativa en la gestión hídrica en Colombia. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia.
- Soler, A. (2020). Tecnologías emergentes aplicadas a la sostenibilidad del agua en España. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona.

Bibliografía complementaria.

- Comisión Europea. (2021). Propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establecen normas armonizadas en materia de inteligencia artificial (Ley de Inteligencia Artificial) y se modifican determinados actos legislativos de la Unión. Bruselas: Comisión Europea. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0206>
- Código de Buenas Prácticas para la Creación y Uso de Modelos de Inteligencia Artificial. (2024). Bruselas: Comisión Europea. Disponible en: <https://digital-strategy.ec.europa.eu>
- UNESCO. (2021). Recomendación sobre la Ética de la Inteligencia Artificial. París: UNESCO. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137>

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2019). Principios de la OCDE sobre la inteligencia artificial. París: OCDE. Disponible en: <https://www.oecd.org/going-digital/ai/principles/>
- Instituto Tecnológico del Agua (ITA). (2024). HydroReuse: Innovación en el uso de aguas residuales. Comunidad Valenciana: ITA. Disponible en: <https://www.ita.org/hydroreuse>

Legislación citada

- Circular 079 de 2023. "Recomendaciones para la contratación laboral en el entorno empresarial". Ministerio del Trabajo de Colombia, 2023.
- Ley 1715 de 2014. "Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional". Congreso de Colombia, 2014.
- Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública (Ley 1712 de 2014). Congreso de Colombia, 2014.
- Comisión Europea. Propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establecen normas armonizadas en materia de inteligencia artificial (Ley de Inteligencia Artificial) y se modifican determinados actos legislativos de la Unión. Bruselas: Comisión Europea, 2021. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0206>
- Código de Buenas Prácticas para la Creación y Uso de Modelos de Inteligencia Artificial. Bruselas: Comisión Europea, noviembre de 2024. Disponible en: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/es/library/first-draft-general-Purpose-ai-code-practice-published-writing-independent-experts>
- Unión Europea. Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento General de Protección de Datos). Diario Oficial de la Unión Europea, L 119, 4 de mayo de 2016, pp. 1-88. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0679>
- Colombia. Congreso de la República. Ley 1581 de 2012, por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales. Diario Oficial, n.º

48.587, 18 de octubre de 2012. Disponible en:

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981>

- Unión Europea. Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento General de Protección de Datos). Diario Oficial de la Unión Europea, L 119, 4 de mayo de 2016, pp. 1-88. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0679>
- Comisión Europea. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: El Pacto Verde Europeo. Bruselas: Comisión Europea, 11 de diciembre de 2019. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640>
- Unión Europea. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L 327, 22 de diciembre de 2000, pp. 1-73. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>
- Colombia. Congreso de la República. Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reorganiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial, n.º 41.146, 22 de diciembre de 1993. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2977>
- Colombia. Congreso de la República. Ley 142 de 1994, por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial, n.º 41.433, 11 de julio de 1994. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2766>
- Convenio 169 sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes, adoptado en Ginebra el 27 de junio de 1989. Organización Internacional del Trabajo (OIT). Disponible en: [https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100 INSTRUMENT ID:312314](https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312314)
- UNESCO. Recomendación sobre la Ética de la Inteligencia Artificial. París: UNESCO, 2021. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137>

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Principios de la OCDE sobre la inteligencia artificial. París: OCDE, 2019. Disponible en: <https://www.oecd.org/going-digital/ai/principles/>
- Acuerdo de París. Comisión Europea, web oficial. Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es#:~:text=El%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs%20es%20el%20primer%20acuerdo,cerca%20de%20190%20Partes%20del%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs
- Acuerdo de París, adoptado en París el 12 de diciembre de 2015, en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas. Disponible en: https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf

Informes y publicaciones técnicas

- Naciones Unidas. *Agenda 2030 para el desarrollo sostenible*. Nueva York: ONU, 2015. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/agenda-2030/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). *Gestión sostenible del agua para la seguridad alimentaria*. Roma: FAO, 2020.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2018). Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018. UNESCO.
- Instituto Tecnológico del Agua (ITA). HydroReuse: Innovación en el uso de aguas residuales. Comunidad Valenciana: ITA, 2024. Disponible en: <https://www.ita.org/hydroreuse>

Artículos académicos y de investigación

- Pérez, M., y López, R. "Innovación tecnológica en la gestión hídrica: casos comparados entre Europa y América Latina". *Revista Internacional de Sostenibilidad Ambiental*, vol. 10, núm. 3, 2021, págs. 233-250.
- Rodríguez, S., y Gómez, J. "La inteligencia artificial como herramienta para la predicción de sequías". *Revista de Tecnología Sostenible*, vol. 8, núm. 1, 2022, págs. 89-105.

Sitios web y recursos en línea

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España. "Plan Hidrológico Nacional". Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/>
- Plataforma Europea de Innovación en el Agua (EIP Water). "Soluciones innovadoras en gestión hídrica". Disponible en : <https://www.eip-water.eu>

Tesis y documentos academicos

- Martínez, P. *El impacto de la fragmentación normativa en la gestión hídrica en Colombia* . Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, 2021.
- Soler, A. *Tecnologías emergentes aplicadas a la sostenibilidad del agua en España* . Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, 2020.