

La gestión de innovación catalizadora de la inteligencia artificial en el prestador de servicios de agua, saneamiento y residuos sólidos de América Latina y el Caribe

Autores:

Alejandro Minatta
Marcello Basani

Editores:

Cecilia Maroñas

Banco Interamericano de Desarrollo
División Agua y Saneamiento

Octubre 2024

La gestión de innovación catalizadora de la inteligencia artificial en el prestador de servicios de agua, saneamiento y residuos sólidos de América Latina y el Caribe

Autores:

Alejandro Minatta

Marcello Basani

Editores:

Cecilia Maroñas

Banco Interamericano de Desarrollo
División Agua y Saneamiento

Octubre 2024

Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo

Minatta, Alejandro.

La gestión de innovación catalizadora de la inteligencia artificial en el prestador de servicios de agua, saneamiento y residuos sólidos de América Latina y el Caribe / Alejandro Minatta, Marcello Basani; editora, Cecilia Maroñas.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 3026)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Water-supply-Technological innovations-Latin America. 2. Water-supply-Technological innovations-Caribbean Area. 3. Water utilities-Technological innovations-Latin America. 4. Water utilities-Technological innovations-Caribbean Area. 5. Sanitation-Technological innovations-Latin America. 6. Sanitation-Technological innovations-Caribbean Area. 7. Refuse and refuse disposal-Technological innovations-Latin America. 8. Refuse and refuse disposal-Technological innovations-Caribbean Area. 9. Artificial intelligence. I. Basani, Marcello. II. Maroñas, Cecilia, editora. III. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Agua y Saneamiento. IV. Título. V. Serie.

IDB-TN-3026

Códigos JEL: Q25, L95, O31, O32, O33

Palabras clave: Innovación, inteligencia artificial, agua, saneamiento, residuos sólidos, América Latina y el Caribe

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.





LA GESTIÓN DE INNOVACIÓN CATALIZADORA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL PRESTADOR DE SERVICIOS DE AGUA, SANEAMIENTO Y RESIDUOS SÓLIDOS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Autores:
Alejandro Minatta
Marcello Basani

Editor:
Cecilia Maroñas

Octubre 2024



CON LA COLABORACIÓN DE **FUENTE** DE **INNOVACIÓN**

Fuente de innovación es financiado por el Gobierno de Suiza a través de su Secretaría de Estado de Asuntos Económicos (SECO), por la Fundación FEMSA, por la República de Corea a través de su Ministerio de Medio Ambiente, el Gobierno de España a través del Ministerio de Economía, Comercio y Empresa (MINECO), por el Gobierno de Israel, y por Fundación Coca Cola. La alianza también se complementa con contribuciones directas de BID Lab, BID INVEST y la División de Agua y Saneamiento del BID, y se coordina directamente con Aquafund, el fondo creado con capital del BID y al que contribuyen una amplia gama de socios del sector público y privado.

Los autores desean agradecer a las personas que revisaron y enriquecieron este documento, en particular a María Pfeifer Vargas, Fabio Alberto Hurtado Zapata y Eduardo Xamena.



TABLA DE CONTENIDO



1	Introducción	4
2	La inteligencia artificial en el sector de agua, saneamiento y residuos sólidos de América Latina y el Caribe	6
	2.1. La inteligencia artificial	7
	2.2. La inteligencia artificial en América Latina y el Caribe	10
	2.3. Los beneficios que puede aportar la inteligencia artificial en el sector de agua, saneamiento y residuos sólidos	11
3	La implementación de la inteligencia artificial en el prestador de servicios de agua, saneamiento y residuos sólidos	14
	3.1. La gestión de innovación en el prestador de servicios de agua, saneamiento y residuos sólidos	15
	3.2. Elementos clave para la aplicación de inteligencia artificial en el marco de la gestión de innovación del prestador de servicios de agua, saneamiento y residuos sólidos	17
4	Consideraciones finales	31
5	Referencias	33
	Anexos	41



1.

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El fomento de la innovación en el sector agua, saneamiento y residuos sólidos (AyS)^[1] resulta esencial para, entre otros propósitos, contribuir a la consecución, efectiva, rápida y eficiente de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con agua y saneamiento (ODS 6) y con residuos sólidos (ODS 12). Sin embargo, el sector AyS de América Latina y el Caribe (ALC) enfrenta una serie de desafíos para innovar, que se concentran en tres ámbitos: i. Gobernanza sectorial; ii. Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), o ecosistema de innovación sectorial; iii. Prestación del servicio de AyS. Este último es vital, ya que en él recae la responsabilidad de satisfacer la demanda de servicios del usuario final (Minatta y Basani, 2020).

En este marco, la División de Agua y Saneamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ha elaborado una hoja de ruta con puntos cardinales para impulsar un mejor nivel de vida de las personas que residen en ALC y fomentar la innovación en el sector a fin de que esta facilite soluciones al acceso universal a servicios de AyS de calidad, a un precio asequible y de manera eficiente y sostenible a largo plazo. De este modo, la guía ofrece orientación general y caminos para recorrer de forma concreta, mediante determinadas acciones. Uno de los puntos cardinales consiste en promover la implementación de la innovación del prestador de servicios y, en dicha dirección, una de las vías de intervención comprende el desarrollo de productos de conocimiento para la incorporación y aplicación de planes de innovación (Minatta y Basani, 2020).

El presente documento es, precisamente, un producto de conocimiento que aborda la gestión de innovación con el objetivo de implementar la inteligencia artificial (IA) en el prestador de servicios de AyS de la región, como un punto de partida de la temática. En ese sentido, su objetivo es contribuir a la concientización sobre su importancia y enriquecer o complementar el tratamiento emergente de este planteo mediante la búsqueda de respuesta a dos preguntas: i. ¿Qué es la IA y qué beneficios puede aportar al prestador de servicios de AyS? y ii. ¿Cómo implementar la IA en el prestador de servicios de AyS?

^[1] A fines de este documento, el sector de agua y saneamiento (AyS) comprende agua para consumo humano, alcantarillado y residuos sólidos.



2.

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL SECTOR
DE AGUA, SANEAMIENTO Y RESIDUOS
SÓLIDOS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

2. LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL SECTOR DE AGUA, SANEAMIENTO Y RESIDUOS SÓLIDOS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

En esta primera sección se procura dar respuesta a la pregunta ¿qué es la inteligencia artificial y qué beneficios puede aportar al prestador de servicios de AyS? A tales efectos, se presentan, brevemente, los conceptos clave y, luego, se describen sus principales aportes al sector de AyS.

2.1. La inteligencia artificial

Bajo un enfoque eminentemente práctico, la innovación es sinónimo de nuevo valor. Es decir, todo aquello de carácter novedoso, ausente de forma previa en la organización que lo impulsa, en el territorio donde se promueve o a nivel internacional. Además, en esencia, el concepto de innovación se vincula con la creación de una propuesta de valor que suministra un beneficio o una satisfacción al cliente o usuario final (Minatta, Basani y Shaki, 2022).

Según las circunstancias del contexto, las prioridades, las características internas de la entidad que gestiona la innovación y su grado de tolerancia al riesgo se puede hablar de innovación incremental o disruptiva; central, adyacente y transformacional; innovación abierta; innovación social o inclusiva; innovación pública; innovación verde; innovación tecnológica, como la digital, la nano- y biotecnología, entre otras (Minatta y Basani, 2020).

Una de las fuentes de innovación tecnológica es la transformación digital empresarial, entendida como el uso de la tecnología para mejorar el desempeño o el alcance de una empresa en áreas vinculadas con sus procesos internos, la relación con el cliente y los proveedores y/o la generación de nuevos modelos de negocio (Suaznabar y Henríquez, 2020). Por lo tanto, los referentes de la unidad de tecnología y de innovación tienen un rol fundamental en la exploración del potencial de la inteligencia artificial (IA) (InnoLead, 2024).

Si bien el campo de estudio de la IA es especialmente difícil de definir (Latorre et al., 2024), en el siglo XX Marvin Minsky describía la IA como “la ciencia de hacer que las máquinas hagan cosas que requerirían inteligencia si fueran hechas por hombres” (de Andara, 2021).

En el contexto conceptual establecido, hoy la IA busca desarrollar sistemas digitales o computacionales que imiten funciones cognitivas humanas, mediante la creación de algoritmos (o serie de instrucciones que permiten realizar y resolver diferentes operaciones) que ejecuten tareas inteligentes, aprendan y se adapten a nuevas situaciones o datos. Es decir, la IA fusiona ciencias de la computación con robustos conjuntos de datos para facilitar la resolución de problemas, o, de manera más clásica, es la capacidad de una computadora digital o un robot controlado por computadora para realizar tareas que, por lo común, se asocian a seres inteligentes (Latorre et al., 2024).

Como en muchos ámbitos del estado del arte de distintas temáticas, no existe consenso entre los expertos. En tal sentido, algunos estudiosos consideran que la IA no es inteligente ni artificial. No es inteligente si se la compara con la inteligencia humana, ya que esta puede comprender casi en su totalidad la semántica y el contexto de una situación dada, incluso cuando la situación es nueva. En tanto, la IA es superior al ser humano en aspectos como la velocidad de cálculo y la capacidad de memoria, pero no aún en el consumo de energía o la capacidad cognitiva completa. Tampoco es plenamente artificial, pues para construir la IA se necesita una gran cantidad de seres humanos muy calificados. Asimismo, para desarrollarla y utilizarla se consumen enormes cantidades de recursos naturales, que incluyen electricidad y todos los componentes materiales de una computadora (Crawford, 2023). Por su parte, otros especialistas prefieren aludir a inteligencia aumentada (en lugar de artificial) como modelo de asociación centrado en el ser humano en el que personas e IA trabajan juntas para mejorar el rendimiento cognitivo, que abarca el aprendizaje, la toma de decisiones y las nuevas experiencias (Gartner, s.f.a).

La IA comprende diferentes elementos, como técnicas y prácticas, asociados al concepto de aprendizaje (Krishnan et al., 2022). Uno de ellos es el aprendizaje automático o machine learning (ML), que es el estudio de métodos y algoritmos informáticos que mejoran automáticamente a través de la experiencia. En líneas generales, el ML implica construir un modelo de computadora que puede hacer predicciones a partir de datos sin necesidad de software adicional de programación (IWA, 2020). Dentro del ML hay dos categorías, el aprendizaje supervisado (IBM, 2024a), que consiste en la utilización de datos etiquetados (o información que describe un dato) para entrenar el algoritmo, y el aprendizaje no supervisado (IBM, 2024b), que se refiere a los algoritmos que descubren patrones en datos sin intervención humana.

Por su lado, el aprendizaje reforzado (Dell Technologies, 2018) permite a los desarrolladores de software utilizar algoritmos de refuerzo para determinar el comportamiento en función del entorno. Así, el aprendizaje profundo (o deep learning) abarca un conjunto de algoritmos de ML que intenta modelar abstracciones de alto nivel en datos mediante arquitecturas computacionales que admiten transformaciones no lineales múltiples e iterativas de datos expresados en forma matricial o tensorial (Bengio, Courville y Vincent, 2013). Una de estas arquitecturas es la red neuronal (IBM, 2021), que emula el modo en que el cerebro procesa información, pues aprende al examinar registros, generar predicciones y ajustar sus predicciones incorrectas, y mejora hasta alcanzar criterios de referencia.

Además, el procesamiento del lenguaje natural (IBM, 2024c) les permite a las computadoras comprender el lenguaje humano (por ejemplo, textos), y la visión artificial (IBM, 2024d) posibilita que los sistemas obtengan información de imágenes digitales y otros insumos visuales y actúen o hagan recomendaciones.

En el marco del amplio panorama de la IA (McCartney, 2024), la IA generativa (SAP, s.f.) aplica el aprendizaje reforzado: puede aprender, generar nuevos datos y procesar el lenguaje natural para establecer diálogos similares a los humanos. A su vez, abarca la creación de contenidos novedosos (Gartner, s.f.b), como imágenes, música y códigos.^[2]

El desarrollo de la IA comenzó hace muchos años, pero su irrupción masiva y global se dio a finales de 2022 con ChatGPT (Heaven, 2023). Se estima que la inversión en esta tecnología aumentará a US\$298.000 millones para 2027, con una tasa compuesta anual del 19,1%. Al mismo tiempo, el crecimiento del mercado se acelerará del 17,8% al 20,4% en los próximos cinco años. En

^[2] A partir de la precisión terminológica expresada, en el presente texto se alude de forma indistinta a la inteligencia artificial (IA) y a la inteligencia artificial generativa (IAG) debido a que no hay consenso absoluto, pues algunos desarrollos tienen características de ambas.

cuanto a la inversión en IA generativa, esta pasará del 8%, en 2023, al 35%, en 2027. No obstante, la adopción de la IA no es sencilla, pues enfrenta cinco obstáculos principales: i. habilidades limitadas, escasa experiencia o poco conocimiento en IA; ii. complejidad en la gestión de datos; iii. consideraciones éticas; iv. proyectos difíciles de integrar y escalar; v. precio elevado (IBM y Morning Consult, 2023).

Gran cantidad de organizaciones ve la IA como una herramienta para innovar, a partir de la resolución de problemas complejos y el cambio en la interacción entre individuos y tecnología (Gómez Mont et al., 2020). De hecho, se estima que en los próximos dos años el 40% de las aplicaciones empresariales tendrá IA conversacional y el 30% de las compañías implementará estrategias de desarrollo y prueba mejoradas con IA generativa. Igualmente, la IA generativa tiene el potencial de agregar hasta US\$4,4 billones en valor económico a la economía global cada año y, al mismo tiempo, mejorar el impacto de toda la IA entre un 15% y un 40%.^[3]

Vale destacar dos aspectos de la tecnología que hay detrás de la IA generativa: es imposible predecir el contenido que creará, ya que es completamente original y único, y tiene una capacidad de razonamiento cada vez más parecida a la de un ser humano. A pesar de todos estos avances tecnológicos y de lo útiles que pueden resultar en el día a día, es necesario recordar que se trata de un asistente de conocimiento. Es decir, ayuda a generar contenidos, pero es incapaz de tomar decisiones por las personas, por lo cual las elecciones no se deben basar solo en lo que producen motores como ChatGPT. También cabe señalar que no siempre el contenido generado es correcto, ya que la tecnología utilizada puede proporcionar respuestas inadecuadas (Cevallos et al., 2023).

Muchos líderes corporativos están decididos a captar este nuevo valor, aunque el reconocimiento de que las oportunidades van acompañadas de riesgos importantes es cada vez mayor. En una encuesta flash reciente realizada por McKinsey en más de 100 organizaciones (con ingresos anuales superiores a US\$50 millones), el 63% de los consultados caracterizó la implementación de la IA generativa como una prioridad alta o muy alta; sin embargo, el 91% manifestó no sentirse “muy preparado” para aplicarla de manera responsable (Bevan et al., 2024). Además, la mayoría de los problemas empresariales requiere una combinación de diferentes técnicas de IA (McCartney, 2024).

Respecto de los riesgos, los que plantea la IA son diferentes de los que presenta el software tradicional. Los sistemas de IA están entrenados en datos que pueden cambiar con el tiempo, a veces de manera significativa e inesperada, lo cual afecta los sistemas de formas que pueden ser difíciles de entender. A su vez, son de naturaleza “sociotécnica”, es decir que la dinámica social y el comportamiento humano influyen en ellos. Así, los riesgos de la IA pueden surgir de la compleja interacción de estos aspectos técnicos y sociales, que afectan la vida de las personas (NIST, 2023).

Por lo tanto, la IA solo se puede implementar si los riesgos asociados se mantienen en un nivel aceptable, lo cual es comparable a productos o servicios ya existentes. Para garantizar esto se debe realizar una adecuada evaluación de riesgos que, en la mayoría de los casos, no se puede basar en métodos clásicos a causa de la naturaleza de los sistemas de IA. En tal sentido, una de las propuestas para abordar los riesgos de esta tecnología sugiere siete dimensiones clave: i. la acción humana y la supervisión; ii. la robustez técnica y la seguridad; iii. la privacidad y gobernanza de los datos; iv. la transparencia; v. la equidad, la diversidad y la inclusión; vi. el bienestar ambiental y social; vii. la responsabilidad por medio de la rendición de cuentas (Brajovic et al., 2023).

[3] <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier>

Varias organizaciones han intentado estandarizar y asegurar la aplicación de la IA. Además, actualmente existe una serie de normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés) en desarrollo, como la ISO/IEC 42001:2023 (Tecnología de la información - Inteligencia artificial - Sistema de gestión). También se destacan el reglamento europeo sobre inteligencia artificial de 2024 (conocido como AI Act) y el catálogo de evaluación de IA de Fraunhofer Institute for Intelligent Analysis and Information Systems IAIS (Brajkovic et al., 2023).

2.2. La inteligencia artificial en América Latina y el Caribe

Los países de ALC tienen muchos retos en común. En una época de incertidumbre económica y política, el mejoramiento de la prestación de los servicios del Estado figura en los primeros lugares. Este panorama puede parecer desalentador. No obstante, un número significativo de agentes de cambio regionales está buscando nuevas alternativas a partir de herramientas tecnológicas que prometen crear una región más próspera y justa. Entre estas herramientas se encuentra la IA, que tiene un propósito general, ya que es una tecnología que se puede aplicar en diversas tareas, y es una herramienta para la innovación (Gómez Mont et al., 2020). Al respecto, se estima que el desarrollo de la IA podría agregar un punto porcentual al crecimiento económico anual de ALC para 2035 (Pombo et al., 2020).

El enfoque de la IA desarrollada de manera ética y usada al servicio del bien social es un tema relativamente nuevo y prometedor para abordar los principales desafíos que enfrenta la región. Los factores que inciden en el éxito están asociados a la existencia de una visión común entre los ecosistemas de IA; la dotación de una infraestructura digital; la formación de talento local y la investigación; la adopción de la IA en la sociedad civil; la decisión de poner al ser humano en el centro de toda conversación y actividad relacionada con la IA; el impulso del ecosistema emprendedor; y el respeto de marcos y lineamientos éticos para su desarrollo y uso.

Por lo tanto, y con la mirada puesta en el futuro, resulta fundamental priorizar la inversión en conectividad y capacidad de cómputo de la región; fortalecer los sistemas educativos en forma integral de manera urgente; fomentar la colaboración transfronteriza y generar repositorios de datos regionales; incrementar la cooperación regional a nivel de gobernanza e investigación; avanzar en la regulación de la IA o de los sectores críticos que pueden ser afectados por esta; promover desarrollos basados en características únicas de la región (como la variedad de idiomas, la biodiversidad y el uso de energías renovables que pueden impulsar proyectos innovadores y sostenibles en el campo de la IA y crear ventajas competitivas a nivel global); propiciar el desarrollo y el uso de IA orientados a atender desafíos sociales (existe una preocupación transversal por el creciente poder de las corporaciones). La IA puede ampliar las brechas en la región si no se consideran las condiciones estructurales que las producen en ALC (las brechas en términos de capacidades, acceso a la tecnología y recursos financieros). Se debe trabajar en una institucionalidad que permita la colaboración de la industria, el sector público, la academia y los emprendedores. La corrupción y la falta de confianza emergen como riesgos significativos para el desarrollo ético de la IA en la región (ILIA, 2023).

2.3. Los beneficios que puede aportar la inteligencia artificial en el sector de agua, saneamiento y residuos sólidos

En el contexto regional descrito, vinculado a los retos en la prestación de servicios, incluso agua, saneamiento y residuos sólidos, y de acuerdo con Krishnan et al. (2022), el uso de la IA en sistemas inteligentes de gestión del agua puede ayudar a mejorar el suministro de agua y la prestación eficiente de servicios (Jenny et al., 2020). Se espera que el desarrollo de esta tecnología, junto a otras, como internet de las cosas (IoT) (Minatta y Basani, 2019), permita incorporar modelos inteligentes que contribuyan a superar la complejidad y los desafíos en los sistemas de gestión del agua (Alam et al., 2022), los sistemas de suministro y distribución de agua (Nasser, Rashad y Hussein, 2020) y el mantenimiento predictivo de activos, como las bombas de agua (AI Labs Inc., 2023).

Los modelos basados en IA y aprendizaje automático pueden aplicarse en la gestión del agua; por ejemplo, en el tratamiento de aguas residuales (Lim et al., 2023), el control de la contaminación del agua, la agricultura inteligente, la optimización del uso del agua, la automatización del agua crítica, la calidad del agua (Chhipi-Shrestha et al., 2023), el monitoreo del nivel del agua y, especialmente, en la detección de pérdidas mediante el reconocimiento de patrones que el ser humano no alcanza a percibir (Rapp, Capener y Sowby, 2023), como la vía sonora (Vanijirattikhan et al., 2022), y el desarrollo de capacidades para la mitigación del cambio climático así como para la adaptación a él (Dannouni et al., 2023).

A tales efectos, los modelos utilizados en la gestión del agua son, entre otros, redes neuronales y aprendizaje colaborativo (o *federated learning*) (Gaya et al., 2017), sistema de inferencia neuroborroso adaptativo (o *adaptive neuro-fuzzy inference system*) (Okoji et al., 2022), redes neuronales recurrentes (Zanfei et al., 2022), bosque aleatorio (Phasinam et al., 2022) y regresiones de vectores de soporte (Roshni et al., 2022).

La IA y el aprendizaje automático son dos de las tecnologías emergentes más prometedoras para potenciar la ingeniería hidráulica y la ambiental (Xiang et al., 2021) por medio del control de las emisiones de carbono (Alam, 2023). Se calcula que con el apoyo de la IA avanzada será posible predecir de manera más precisa las precipitaciones (IWA, 2020), las inundaciones y los niveles de agua. Asimismo, la IA puede contribuir al mantenimiento predictivo para el suministro de agua, lo cual reduce el tiempo de respuesta del prestador de servicios de AyS frente a eventuales fallas, y detección del riesgo de inundaciones futuras mediante la elaboración de complejos modelos predictivos. Ya se está utilizando para analizar patrones futuros de calidad del agua (Novo, 2024).

En el marco de la denominada cuarta revolución industrial, la IA contribuye a la innovación en el sector AyS (BID, s.f.), al influir en su gobernanza (rectores de políticas públicas [BID, 2023] y reguladores [Minatta y Basani, 2023], entre otros), en el ecosistema de innovación (que incluye centros tecnológicos, emprendedores e inversores) (Minatta y Basani, 2022) y en la prestación de servicios (Minatta, Basani y Shaki, 2022).

Como se ha mencionado, la IA puede ayudar a optimizar el uso de recursos, como por ejemplo en la gestión de la distribución del agua, el mantenimiento preventivo y la eficiencia en el tratamiento (Alam et al., 2022), así como en la detección de contaminación del agua (innovations-report, 2024). También contribuye a detectar pérdidas técnicas de agua como rupturas de

tuberías (lo cual reportó un beneficio económico superior a US\$4 millones en un prestador de servicios de Lima, Perú [véase el recuadro 5]), y no técnicas, como fraude en el consumo de agua (lo cual generó un aumento del 20% en la proporción de multas aplicadas respecto a las inspecciones realizadas en por un prestador de servicios en Quito, Ecuador [véase el recuadro 4]). Además, puede analizar datos en tiempo real para optimizar la toma de decisiones, desde la planificación hasta la respuesta a eventos climáticos, y predecir cambios en la demanda de agua o en la infraestructura.

Recuadro 1. **Mantenimiento de activos**



Anglian Water, prestador de servicios de agua y saneamiento en Reino Unido, está utilizando IA para mejorar la gestión diaria de mantenimiento de activos de reciclaje de agua, lo cual le ha permitido conseguir más información y optimizar la comprensión de las prioridades a fin de reducir la activación de alarmas antes de que se conviertan en emergencias críticas y/o eventos de contaminación. Ello incluyó el manejo de más de 300 biofiltros (con el monitoreo de 76 brazos giratorios y el nivel de capas de lodo en tanques de sedimentación final con el propósito de comprobar los rangos óptimos para un funcionamiento eficaz), además de bombas y válvulas, en 100 ubicaciones diferentes, con más de 480 puntos de datos.

Los datos se recopilaron mediante una conjunción de sensores nuevos y existentes a través del sistema de control y adquisición de datos SCADA^a y se combinaron con los caudales y los datos meteorológicos disponibles públicamente para obtener una visión contextual completa de lo que estaba sucediendo en las plantas de reciclaje de agua en tiempo real. La capacidad de visualizar y modelar datos de procesos por medio del aprendizaje automático para mostrar la probabilidad de fallas críticas en el tratamiento de aguas residuales, como posibles paros y averías, contribuye a anticipar, detectar y resolver problemas potenciales y propicia la eficiencia.

Fuente: H2O Global News (2023).

^a SCADA es el acrónimo de Supervisory Control and Data Acquisition (supervisión, control y adquisición de datos).

Por su parte, el aprendizaje automático ha sido utilizado ampliamente como una poderosa herramienta para resolver problemas en el medioambiente, porque se puede aplicar para predecir la calidad del agua, optimizar la asignación de recursos hídricos, etc. A pesar de esto, aún quedan varios desafíos por resolver en este campo, como la dependencia de grandes cantidades de datos de alta calidad (la obtención de datos con alta precisión suficientes en los sistemas

de tratamiento y gestión del agua suele ser difícil debido al costo elevado o las limitaciones tecnológicas). En tanto, los algoritmos actuales solo se pueden emplear en sistemas específicos, lo cual dificulta su uso extensivo en los sistemas de tratamiento y gestión del agua porque son muy complejos. Al mismo tiempo, la implementación de algoritmos de aprendizaje automático en aplicaciones prácticas requiere que los desarrolladores posean ciertos conocimientos profesionales del sector.

Para superar los retos mencionados se puede considerar una serie de aspectos técnicos que incluyen, entre otros, el desarrollo de sensores más sofisticados para recolectar datos suficientemente precisos que faciliten la aplicación del aprendizaje automático; la mejora en la viabilidad y la confiabilidad de los algoritmos; y los modelos aplicados deben ser compatibles con los requisitos de los sistemas de tratamiento y gestión del agua; un enfoque interdisciplinario, que integre talentos con conocimientos en diferentes campos para desarrollar técnicas de aprendizaje automático más avanzadas y aplicarlas en prácticas de ingeniería en el sector AyS (Zhu et al., 2022).



3.

LA IMPLEMENTACIÓN DE LA INTELIGENCIA
ARTIFICIAL EN EL PRESTADOR DE SERVICIOS
DE AGUA, SANEAMIENTO Y RESIDUOS SÓLIDOS

3. LA IMPLEMENTACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL PRESTADOR DE SERVICIOS DE AGUA, SANEAMIENTO Y RESIDUOS SÓLIDOS

En esta sección se procura dar respuesta a la pregunta ¿cómo implementar la inteligencia artificial en el prestador de servicios de AyS? A tal efecto, primero se presenta un repaso de los aspectos fundamentales del modelo de gestión de innovación del prestador de servicios de AyS y luego se propone una serie de elementos clave para tener en cuenta en la implementación de la IA en el marco de la gestión de innovación.

Como se ha descrito en la sección anterior, la IA tiene un rol prioritario (InnoLead, 2024) en la transformación digital (Daniel et al., 2023) de la gestión de innovación del prestador de servicios de AyS. No obstante, más de la mitad de los proyectos de IA (el 54%) nunca entra en la fase de implementación, debido a su complejidad tecnológica y operativa.

Algunos de los aspectos que hacen compleja la implementación de la IA son los costos elevados, la escasa disponibilidad de talento humano, las dificultades en la gobernanza de la IA, la poca disponibilidad de datos, la confidencialidad y la propiedad intelectual, la medición del valor, la posibilidad de conseguir patrocinadores e incluir el área de negocios y la cultura resistente al cambio (Gartner, 2024a). Por tal motivo, es relevante abordar el desafío de incorporar la IA de forma sistematizada y para ello es importante tener una guía orientadora de referencia.

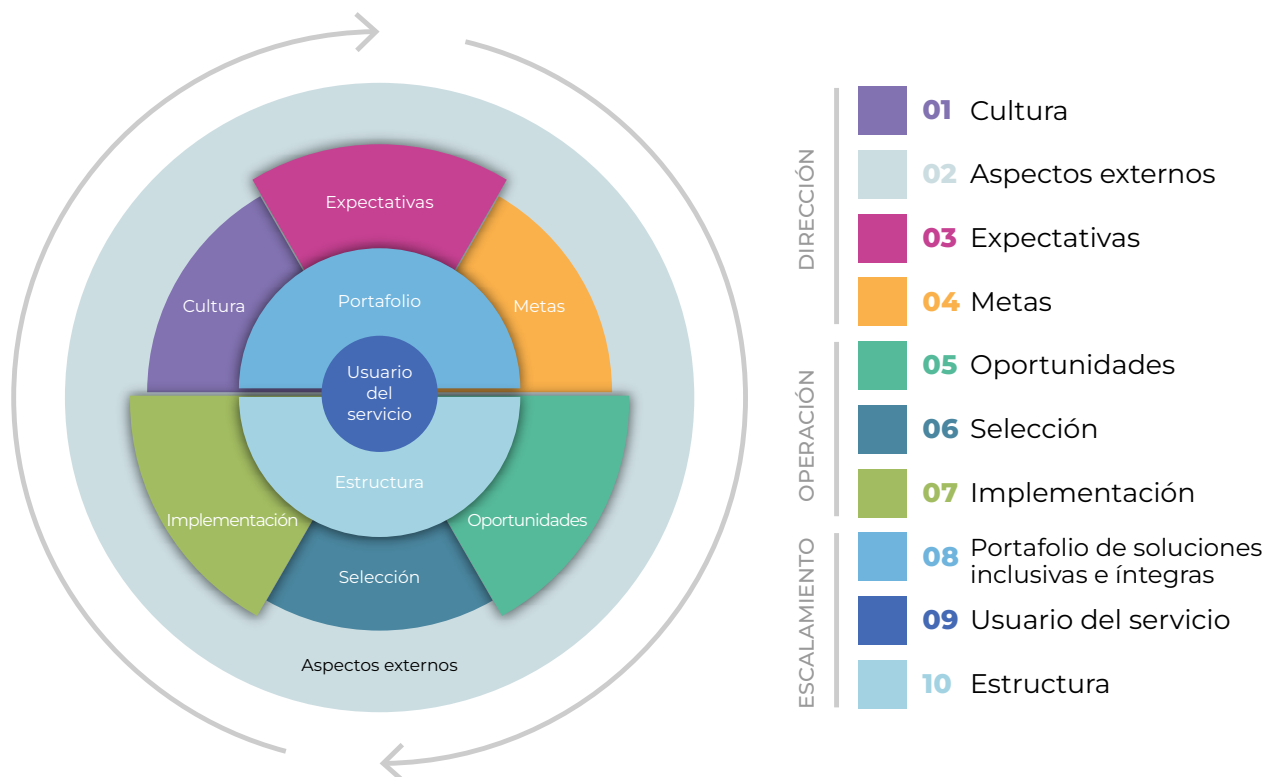
3.1. La gestión de innovación en el prestador de servicios de agua, saneamiento y residuos sólidos

La gestión de innovación del prestador de servicios de AyS implica abordar una serie de aspectos fundamentales e integrarlos, a los efectos de generar nuevo valor (Minatta, Basani y Shaki, 2022). Los aspectos fundamentales vinculados a su contexto externo son, como se ha mencionado, la gobernanza sectorial y el ecosistema de innovación (I+D+i) (Minatta y Basani, 2022), junto a la sociedad y el medioambiente. Los aspectos internos están relacionados con la función de dirección, que incluye la cultura, las expectativas y las metas de innovación, y la función de operación, que abarca las oportunidades, la selección y la implementación de innovación. En cuanto al escalamiento de la innovación, los aspectos centrales que contribuyen a lograrlo son el portafolio de soluciones inclusivas e íntegras y el usuario del servicio, beneficiario final del esfuerzo requerido y la estructura requerida para la gestión.

El modelo de gestión de innovación del prestador de servicios (véase el gráfico 1) sugiere un circuito de 10 pasos, que iteran, para lograr su ejecución efectiva. Estos también se pueden ordenar según la función, como se detalla a continuación:

- i. **Función de dirección de la innovación.** El circuito de pasos se inicia con el desarrollo de la cultura de innovación (paso 1), continúa con el impulso a la vinculación con los aspectos externos (paso 2), sigue con la determinación de expectativas respecto del aporte de la innovación (paso 3) y cierra con la fijación de metas concretas (paso 4).
- ii. **Función de operación de la innovación.** Luego de generar las oportunidades a partir de ideas, iniciativas y proyectos innovadores (paso 5), se realiza la selección (paso 6) y, posteriormente, la implementación mediante pruebas piloto, prototipos, etc. (paso 7) (véanse más detalles en el anexo 1).
- iii. **Función de escalamiento de la innovación.** Tanto el monitoreo del portafolio de soluciones inclusivas e íntegras, que incluye actividades y resultados a corto y mediano plazo (paso 8), como la evaluación del impacto a largo plazo en el usuario del servicio (paso 9) tienen el objetivo central de contribuir al aprendizaje continuo en la gestión de innovación y determinar la estructura adecuada para aplicarla (paso 10).

Gráfico 1. Modelo de gestión de innovación del prestador de servicios de agua, saneamiento y residuos sólidos en América Latina y el Caribe



Fuente: Con base en Minatta, Basani y Shaki (2022).

3.2. Elementos clave para la aplicación de inteligencia artificial en el marco de la gestión de innovación del prestador de servicios de agua, saneamiento y residuos sólidos

Las personas que lideran las entidades prestadoras de servicios de AyS en la región enfrentan la tarea de descubrir y abordar la IA a fin de crear nuevo valor para el beneficiario, cliente y/o ciudadano, por medio de soluciones que contribuyan a lograr el acceso universal a un servicio de AyS de calidad, a precio asequible y de manera eficiente y sostenible a largo plazo.

Con el objeto de favorecer la implementación de la IA en la gestión de innovación del prestador de servicios de AyS en ALC, se propone combinar dos enfoques complementarios y sinérgicos, el modelo general de gestión de innovación descrito en el apartado anterior y el modelo específico para planificar la incorporación de IA de Gartner (Gartner, 2024b), que considera cuatro pilares: i. establecer una visión de la IA mediante la identificación de oportunidades estratégicas (beneficios, objetivos y metas, entre otras), ii. eliminar las barreras para captar el valor de la IA en toda la organización (personas y habilidades, gestión del cambio, impacto en el negocio), iii. Identificar y gestionar riesgos (regulatorios, reputacionales y de competencias) y iv. priorizar la adopción de IA (casos de uso y decisión).

El cuadro 1 presenta ambos enfoques: al cruzarse el eje horizontal superior (modelo de gestión de innovación) con el eje vertical izquierdo (pilares de la implementación de la IA) se genera el cuadrante central con los elementos clave que es necesario considerar en la implementación práctica de la IA en el prestador de servicios de AyS en ALC (desde la letra A hasta la M).

Cuadro 1. Modelo de implementación de inteligencia artificial en el prestador de la gestión de innovación del prestador de servicios de agua, saneamiento y residuos sólidos

Elementos clave para la implementación práctica de la inteligencia artificial en el prestador de servicios de agua, saneamiento y residuos sólidos en América Latina y el Caribe			Modelo de gestión de innovación en el prestador de servicios de agua, saneamiento y residuos sólidos en América Latina y el Caribe (BID-NT-2513) 10 PASOS									
 CUATRO PILARES PARA IMPLEMENTAR LA IAG (GARTNER)			01. CULTURA	02. ASPECTOS EXTERNOS	03. EXPECTATIVAS	04. METAS	05. OPORTUNIDADES	06. SELECCIÓN	07. IMPLEMENTACIÓN	08. PORTAFOLIO DE SOLUCIONES INCLUSIVAS E INTEGRAS	09. USUARIO DEL SERVICIO	10. ESTRUCTURA
			Objetivo		D							
I. Visión: establecer una visión de la inteligencia artificial	Beneficio		E									
	Métrica					F						
II. Valor: eliminar barreras para captar valor	Personas y habilidades											M
	Gestión del cambio										L	
	Impacto en el negocio											
III. Riesgo: identificar y gestionar los riesgos	Regulatorios			B						J		
	Reputacionales							H		K		
	De competencia			C								
IV. Adopción: priorizar la adopción	Casos de uso							G				
	Decisión								I			

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los 10 pasos de la gestión de innovación con una breve descripción del concepto, los elementos clave en relación con la IA y las especificidades distintivas asociadas a la acción práctica de implementar la IA en la gestión de innovación del prestador de servicios de AyS en ALC.

Paso 1. Promover la cultura de innovación

Concepto. Debido a que son las personas las que hacen posible la innovación (Kane et al., 2022), el primer paso para promover la cultura en el prestador de servicios de AyS es acercar al personal a la temática que se pretende abordar, ya que, en ocasiones, el plantel la desconoce, la comprende de manera parcial y/o la asocia a prejuicios. Por tal motivo, presentar la temática, en cuanto a conceptos y a su alcance, así como promocionarla, contribuye a propiciar comportamientos (Sarni y Joshi, 2022) que forman parte de la cultura de innovación.

Elementos clave. Catalizar la innovación e incorporar digitalización e IA son acciones que tienen que ver con la gente y con los cambios en la dinámica organizativa del prestador de servicios de AyS, que favorecen la creación de un ADN digital propio (Sarni, 2021). Por eso es fundamental **gestionar el cambio en el equipo humano (A)**.

Es importante que, en el marco de los beneficios que proporciona el actual alcance de la IA, se valide y se interroge a la IA y que los expertos continúen actuando con esfuerzo y criterio al trabajar con ella, pues estudios demuestran que aquellos que tuvieron un desempeño negativo al usar IA tendieron a adoptar su producción de modo irreflexivo y a interrogarla poco ("interacción no comprometida con la IA"). Por tal motivo, también es clave trabajar en equipo con un enfoque multidisciplinario y evitar la delegación de tareas vinculadas con IA a personal sin capacitación y sin experiencia conceptual o práctica en la temática (Dell'Acqua et al., 2023).

IA como parte de la cultura de innovación del sector AyS. Algunas de las acciones prácticas que ayudan a dejar atrás el statu quo e impulsar el cambio en favor de la IA en el prestador de servicios de AyS en la región son: incluir la cultura de innovación mediante la utilización de la IA en la agenda de trabajo de las máximas autoridades de la entidad; asignar recursos y rendir cuentas de los avances; realizar programas formales de capacitación; compartir valores y conductas deseadas (comportamiento ágil y trabajo en equipo multidisciplinario, por ejemplo), difundir casos de éxito en IA en el sector a modo de modelo de rol; generar equipos multidisciplinarios (Minatta y Basani, 2021).

Las acciones mencionadas pueden enfrentar dos comportamientos extremos en el prestador de servicios de AyS, el rechazo y la adopción sin cautela. Con relación al primer caso, pueden surgir consideraciones del tipo: el personal está demasiado ocupado, la IA es costosa y difícil de aplicar de manera consistente por la necesidad de integración con otros sistemas e interoperabilidad, no se conoce un proceso que pueda ayudar que no haya sido automatizado en el sistema SCADA, carece de beneficios relevantes en comparación con los métodos utilizados actualmente. En parte, esto obedece a que la IA ofrece posibilidades variadas que los usuarios potenciales podrían no comprender con claridad (Rapp, Capener y Sowby, 2023).

En segundo término, no es razonable ceder el control total a una tecnología como la IA, que está en desarrollo a nivel global, puesto que puede poner en riesgo un servicio que atañe la salud pública y la seguridad. Para que el personal inicie la adopción de forma adecuada es clave incrementar la flexibilidad y la disposición a aprender a través de pruebas piloto, antes de incorporar la IA a la operación habitual de la entidad prestadora de servicios de AyS.

Por lo tanto, es esencial que el personal acceda a experiencias previas y que siempre pueda intervenir un ser humano en caso de fallas, ya que un sistema de agua nunca puede funcionar en modo automático y debe estar monitoreado y operado por personal experimentado permanentemente. Sin embargo, el potencial de la IA para manejar ciertas labores de bajo riesgo y/o tareas intensivas de datos (que requieren menos habilidades empáticas, sociales o emocionales) es una utilidad ideal que el proveedor de servicios de AyS puede considerar, para que las personas puedan centrarse en aspectos en los que las habilidades humanas son más necesarias. De esa forma es posible aumentar el rendimiento y mejorar el desempeño humano (Rapp, Capener y Sowby, 2023).

Frente a la transformación digital y la adopción de la IA, la cultura de innovación en el prestador de servicios de AyS debe contemplar un proceso gradual de incorporación de estas tecnologías, que comprenda casos piloto y el seguimiento continuo de los referentes internos.

Paso 2. Considerar los aspectos externos

Concepto. Al inicio de la gestión de innovación en el prestador de servicios de AyS en la región, la vinculación con entidades externas (entre otros, centros académicos o tecnológicos) suele ser marginada o pospuesta. No obstante, poner en consideración el contexto en los primeros pasos del ciclo puede ser de enorme apoyo para la gestión porque permite acceder a recursos que no se encuentran disponibles en el interior de la empresa.

Si el prestador de servicios ya cuenta con un equipo de desarrolladores altamente capacitados en la materia, tal vez pueda construir su propia IA. De todos modos, podría ser útil consultar a especialistas antes de comenzar, ya que no es lo mismo desarrollar IA que *software* corriente debido a que la IA es una especialidad con características muy específicas, que implica un proceso de aprendizaje desafiante, requiere mucha experiencia y demanda una combinación particular de habilidades para crear algoritmos capaces de enseñar a las máquinas a pensar, mejorar y optimizar los flujos de trabajo.

En consecuencia, siempre es aconsejable disponer de apoyo especializado, por ejemplo, en grandes volúmenes de datos (o *big data*), aprendizaje automático (o *machine learning*), a fin de evitar errores, tanto en la planificación como en la producción (DLabs, s.f.). También es posible buscar soluciones de IA en emprendimientos o empresas ya establecidos, incluso con la utilización de *software* de código abierto (u *open source*) (DigitalOcean, 2024), en experiencias que se puedan reutilizar, por medio de un ejercicio de comparación (o *benchmark*) entre las soluciones ya existentes en el ecosistema de innovación local o internacional.

Elementos clave. En sectores regulados, como el de AyS, es primordial alinear los esfuerzos a los **enfoques regulatorios (B)** correspondientes a la operativa de cada ámbito jurisdiccional. Además, las **competencias (C)** del talento humano deben ser fortalecidas y/o complementadas con actores externos a la organización a los efectos de impulsar la IA interna.

IA al considerar los aspectos externos en el sector AyS. La puesta en práctica de proyectos de IA requiere recursos que, en general, el prestador de servicios de AyS no tiene. Por lo tanto, es fundamental que la entidad determine cuáles son los mayores obstáculos para implementar la IA en el marco de la gestión de innovación (DLabs, s.f.) y se vincule con actores externos que puedan colaborar en temas regulatorios asociados a privacidad y seguridad, entre otros.

En cuanto a la relación con el regulador del sector AyS (Minatta y Basani, 2023), en la región hay entes que fomentan la innovación en el prestador de servicios. Es el caso de la Agencia de

Regulación y Control del Agua, de Ecuador, que promueve la innovación sectorial al conectar actores del ecosistema de innovación local, como emprendedores y tecnólogos, con el prestador de servicio de AyS (Coello, Minatta y Basani, 2024).

Por su parte, la interacción con otros prestadores, locales y de la región, puede contribuir a establecer sinergias para generar una economía de escala que movilice el acercamiento en modo “todos ganan” al conocimiento de la academia, buenas prácticas de evaluación de nuevas tecnologías de las aceleradoras, entre otros (Minatta y Basani, 2022).

Recuadro 2. Vinculación con las entidades del ecosistema de innovación sectorial



La empresa de servicios públicos Aguas de Manizales SA ESP - BIC, de Colombia, se vinculó con la Dirección de Investigación y Extensión de la Universidad Nacional de Colombia (sede Manizales) a fin de contar con su apoyo en el desarrollo digital aplicado al diagnóstico de las tuberías de agua residual. Como resultado se creó un

emprendimiento denominado Inference (DIMA, 2023), formado por el equipo técnico (o *spin off*) de la universidad, que provee soluciones de software con base en IA para mejorar el proceso de inspección preventiva y diagnóstico temprano de la infraestructura de la red de alcantarillado (Agencia UNAL, 2023).

Fuente: Elaboración propia.

Paso 3. Determinar expectativas claras

Concepto. Existe una gama casi infinita de alternativas para abordar la gestión de innovación mediante la toma de decisiones, la inversión de recursos, la aceptación y la mitigación de riesgos. La innovación puede favorecer en múltiples sentidos al prestador de servicios de AyS, pero no en todos a la vez, en particular cuando la gestión de innovación se encuentra en las primeras etapas y, como sucede habitualmente, dispone de recursos limitados. Por ello, se debe explicitar qué rumbo seguirá la organización o cuál es la finalidad de la innovación, en general, para un período no inferior a dos años.

Elementos clave. Es importante definir el alcance de la IA en cuanto a su contribución al valor que genera la organización (Enholm et al., 2022). Para eso, es posible considerar el grado de ambición pretendido en su utilización (véase el anexo 2): ¿se hará énfasis en lo relacionado con el cliente (servicio de atención)?, ¿se centrará en los procesos internos (operación, finanzas, etc.)?, entre otros. De esta manera se favorece la alineación de los **objetivos (D)** de la IA a la estrategia de la organización (incluso objetivos y políticas organizacionales [ISO e IEC, 2023]).

Las directrices de los líderes son uno de los principales factores que colaboran con la adopción de IA (IBM y Morning Consult, 2023), al determinar el **beneficio (E)** esperado: por ejemplo, ¿el cometido de la IA será proveer soporte a las decisiones humanas, ser insumo de estas o constituirse en sistema de toma de decisiones sin intervención humana? (Hermosilla et al., 2021).

IA al determinar las expectativas de innovación en el sector AyS. Los siguientes aspectos prácticos pueden ayudar a determinar las expectativas para innovar con IA. i. Definir cuál es la necesidad de la organización: ¿resolver el derrame de aguas residuales (Speare-Cole, 2024)? ii. Generar una propuesta de valor clara (Rapp, Capener y Sowby, 2023), como contribuir al cumplimiento de los requisitos (DLabs, s.f.) fijados por el regulador en cuanto al costo operativo y administrativo por usuario. En otras palabras, la adopción de tecnologías digitales como la IA debe estar impulsada por una estrategia bien concebida para crear valor (Sarni, 2024). De esa forma, además, será posible establecer a qué ámbitos no debería orientarse (Sarni, Sheehan y Cox, 2023).

La no realización de este paso es una de las causas de la adopción gradual de la IA. Es necesario considerar la disponibilidad de los datos y el acceso a estos en cantidad, calidad y tiempo, así como su gobernanza, y es indispensable contar con un plan de acción para iniciar la adopción y la aplicación de la IA que esté alineado a los objetivos empresariales (IBM y Morning Consult, 2023). En tal sentido, en las organizaciones que se encuentren en fases tempranas de madurez de la IA será más conveniente introducir su uso en áreas como el control de costos, antes de avanzar hacia aspectos clave de la propuesta de valor, como la experiencia del cliente. A medida que la entidad gana madurez en el uso de la inteligencia artificial, sus aplicaciones se amplían y su impacto se potencia (Gartner, s.f.c).

Recuadro 3. Inteligencia artificial aplicada al monitoreo de microbasurales



El municipio de la ciudad de Mendoza, en Argentina, se propuso innovar con la expectativa de detectar vertederos a cielo abierto de pequeña escala y evitar su proliferación. La iniciativa se enmarca en las acciones de manejo de basurales a cielo abierto que afectan de forma desmedida a la población más vulnerable. Con el apoyo de la Fundación Bunge y Born, el organismo fijó como meta aplicar la IA a partir de la ciencia de datos y las imágenes aéreas y satelitales para identificar y monitorear los vertederos a cielo abierto a bajo costo.

Como resultado, la herramienta localizó la totalidad de los sitios donde la imagen aérea mostraba una acumulación de residuos superior a 1m² y calificó su composición predominante (plástico, ramas, ladrillos, piedras, material orgánico, etc.). El monitoreo continuo permite que las políticas públicas se basen en la acumulación de evidencia y, también, generar contenidos para compartir el método, mediante manuales, ejercicios y casos de ejemplo, en línea y de manera gratuita, con municipalidades y prestadores de servicio.

Fuente: Cerioli (2024).

Paso 4. Fijar metas específicas

Concepto. En este paso se procura establecer en la práctica los lineamientos identificados al determinar las expectativas, lo cual implica explorar el valor con el fin de encontrar y fijar el marco de acción táctico más adecuado, sobre el que trabajará la innovación. Es decir, se trata de definir indicadores de referencia que pauten las actividades a corto plazo y definan valores que marquen una guía de lo que se considera exitoso.

Asimismo, se busca valorar la magnitud de los recursos y/o del presupuesto disponible, a los efectos de vincular de forma apropiada las expectativas generadas con la inversión asignada, que en general se utiliza en la etapa de implementación (paso 7).

Elementos clave. Es importante definir **métricas (F)** que permitan guiar el desarrollo de la IA y contribuir a la obtención de logros (DLabs, s.f.) mediante el monitoreo de las actividades a corto plazo y la evaluación del impacto a largo plazo. Incluso, cuando corresponda, la propia IA puede asistir a innovar en la determinación de los indicadores clave de rendimiento (Schrage et al., 2024).

IA al fijar metas de innovación en el sector AyS. En términos prácticos, la reducción (nominal o en porcentaje) de agua no facturada es un ejemplo de meta pretendida. Es el caso de Sutton and East Surrey Water, un prestador de servicios en Reino Unido que en 2020 se propuso reducir las fugas un 26,5% a largo plazo (diez próximos años) y, reducir las fugas un 15% a mediano plazo (cinco próximos años) (Austin, 2024).

Una de las barreras más comunes para el desarrollo de la IA es la restricción presupuestaria, por eso es fundamental determinar un presupuesto (en principio, no para la adopción y la aplicación de la tecnología, sino para generar pilotos de validación) (Rapp, Capener y Sowby, 2023).

Paso 5. Generar oportunidades

Concepto. Las oportunidades se gestan y se robustecen a través de un proceso iterativo que parte de las ideas que pueden ser innovadoras, sigue con la evolución de estas a iniciativas y concluye en proyectos de innovación. En la medida en que se adiciona nueva información multidisciplinaria, se avanza en el proceso de validación.

La generación de oportunidades se puede realizar solo con recursos internos (conocimiento, experiencia, equipamiento, etc.) en el caso de la innovación cerrada o con apoyo de actores externos al prestador de servicios de AyS (centros tecnológicos, emprendedores, etc.) en el caso de la innovación abierta.

Elementos clave. Para la adopción de la IA es especialmente importante que la generación de oportunidades (ISO e IEC, 2023) contribuya a generar éxitos tempranos, que se conviertan en **casos de uso (G)** o referencia que motiven a los involucrados y animen a los demás.

Es vital que los casos de uso sean relevantes, medibles y de rápida solución, que posean el talento humano con las habilidades requeridas, que se recopilen los datos apropiados, se seleccionen las técnicas de IA en estrecha vinculación con estos aspectos, se diseñe con máxima dedicación la experiencia por recorrer y se divulgue el conocimiento acumulado en IA. A tales efectos, se debe definir el problema, determinar si la IA es la solución adecuada, establecer los logros esperados, especificar los datos requeridos y la herramienta apropiada de forma previa,

contemplar aspectos éticos, legales y de gobernanza (Hermosilla et al., 2021). Algunas preguntas que pueden funcionar como orientación son: ¿qué problema intenta abordar la entidad?, ¿quién es el principal consumidor de la tecnología?, ¿qué proceso de negocio albergará esa técnica de IA?, ¿cuál de los expertos en la materia de las líneas de negocio puede guiar el desarrollo de la solución?, ¿cómo se medirá el impacto de la implementación de la tecnología?, ¿cómo se monitoreará y mantendrá el valor de la tecnología?, ¿quién lo hará? (Gartner, 2024b).

IA al generar oportunidades para innovar en el sector AyS. Algunas de las ideas que pueden surgir, en línea con la meta de reducir el agua no facturada, son el uso de IA para la detección eficaz de pérdidas de agua en el sistema de distribución urbano (Austin, 2024) o el control de fraude en la facturación.

En el marco de la innovación abierta, la vinculación con emprendimientos también es una forma de impulsar las oportunidades. Es el caso de Kilimo, una *startup* argentina que utiliza la IA para conectar a los agricultores que desean mejorar sus prácticas de riego con empresas interesadas en cumplir sus propios compromisos de seguridad hídrica (véanse más detalles en el anexo 3) (Holroyd, 2024).

Existen diversos criterios para generar oportunidades con la aplicación de IA. En ese sentido, es posible diseñar un modelo propio o adoptar un modelo mediante aplicaciones ya disponibles en el mercado, con poca o ninguna personalización, y adaptarlo a las características y necesidades de la entidad (Bevan et al., 2024).

Recuadro 4. **Detección de fraude**



En Ecuador se pierden miles de metros cúbicos al día como consecuencia de instalaciones irregulares, lo cual provoca un gran perjuicio económico debido a la imposibilidad de que los prestadores de servicios de AyS cobren de manera adecuada. En ese marco, la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (Epmaps) comenzó a usar el aprendizaje automático, entre otras tecnologías de IA, para detectar de manera precisa casos de fraude (pérdidas no técnicas), con base en los perfiles de consumo de agua de sus clientes.

Las fases principales del proceso de implementación son:

Entendimiento de los datos:

Como hay diversos estándares y formatos para el almacenamiento de los datos de consumo de los clientes, se identifican los que están disponibles, se los analiza estadísticamente y se los transforma para su posterior utilización.

Por ejemplo, el prestador de servicios de AyS puede usar datos mensuales obtenidos de forma manual y/o instalar medidores automáticos (o *smart meters*) que se conecten a una nube vía internet de las cosas, lo cual habilita el acceso a datos con una frecuencia mayor a la mensual.

Recuerdo 4. (continuación)

Desarrollo y evaluación: Con los datos que se encuentran disponibles, en el formato correcto, se realizan entrenamientos y evaluaciones de distintos modelos de aprendizaje automático (o *machine learning*).

Se pueden probar modelos simples, como la identificación de valores constantes consecutivos o bajas abruptas en los valores de la serie de consumos por período, o modelos más complejos, como la máquina de vectores de soporte (o *support vector machine*, SVM) y las redes neuronales recurrentes (o *recurrent neural networks*, RNN). Se opta por el que provee mejores valores de rendimiento a partir de la comparación con gráficas y/o métricas sensibles al desbalance (aproximadamente entre el 1% y el 5% del total de perfiles resulta fraudulento).

Implementación: La última prueba se ejecuta en las salidas a campo. Los equipos de inspección hacen su tarea habitual, pero provistos de un reporte de instalaciones con alto índice de riesgo. El resultado final es la diferencia de rendimiento de las inspecciones respecto de períodos anteriores.

Luego de las fases de exploración y desarrollo, Epmaps incorporó un modelo de detección de pérdidas no técnicas con apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Al mes siguiente a la emisión del primer reporte de índices de riesgo se logró un aumento del 20% en la proporción de multas aplicadas con relación a las inspecciones efectuadas.

Se estima que se han recuperado cientos de metros cúbicos mensuales de agua potable, al restablecer las situaciones irregulares detectadas, con lo cual se espera un ingreso adicional. Además, la medida contribuye a inhibir prácticas deshonestas de los usuarios.

En el futuro cercano, la entidad planea continuar con las campañas de capacitación del personal en el uso de la herramienta de aprendizaje automático desarrollada y lograr su incorporación plena a los procesos operativos habituales. Asimismo, aspira a incluir más fuentes de datos que permitan una mayor cobertura de los casos existentes de fraude, a fin de facilitar una evolución correcta del circuito, y concretar el desarrollo de una interfaz de usuario que facilite un mejor manejo de los modelos en la compañía.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de las entrevistas a Eduardo Xamena (PhD), científico de datos y machine learning engineer, y Gabriela Maldonado, jefa del Departamento de Investigación, desarrollo e innovación de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (Epmaps).

Paso 6. Realizar la selección

Concepto. La elección de la opción más conveniente es un proceso gradual compuesto por el visto bueno a las ideas, la conformidad a las iniciativas y la aprobación de proyectos de innovación. Por un lado, esas instancias permiten suspender las inversiones en los casos que no logran ser validados y, por otro, contribuyen a centrar los esfuerzos donde la innovación lo amerita, en el marco de las características y circunstancias de la organización.

El visto bueno a una idea (deseabilidad) implica que el cliente, interno o externo, está identificado, el problema es relevante y la solución podría ser adecuada. El hecho de otorgar conformidad a una iniciativa (*contribución*) supone que está en la dirección correcta en cuanto al grado de originalidad pretendido. Por ejemplo, al tratarse de los primeros pasos en la aplicación de la IA, se la considera para procesos en los que, si la tecnología falla, el servicio no resultará afectado de manera significativa y, además, si coadyuva a las metas definidas, como el cumplimiento de los parámetros exigidos por el regulador.

Finalmente, la aprobación de un proyecto de innovación se basa en el debido análisis de viabilidad económica y financiera, que incluye los costos preliminares de la puesta en marcha y el mantenimiento que la infraestructura y la gestión tecnológica requieren (Nortje y Grobbelaar, 2020), y en los beneficios asociados.

Elementos clave. El criterio de análisis vinculado con la **reputación (H)** de la organización es esencial en el desarrollo de la IA y es crucial considerarlo durante el proceso de selección. Abarca cuestiones como el mal uso de los datos personales, la vulnerabilidad frente a ataques cibernéticos, el sesgo en términos de inclusión o diversidad de género en los datos utilizados que pueden incidir en el resultado, el impacto ambiental, entre otros.

IA en la selección de la innovación en el sector AyS. Como se ha dicho, por la criticidad del servicio que brinda, en el sector AyS es muy relevante el concepto de reputación. En definitiva, se trata de avanzar sobre la base de la preservación y/o el fortalecimiento de la confianza social depositada por los usuarios del servicio. Por lo tanto, en términos prácticos, es importante contar con un comité de innovación multidisciplinario del más alto nivel jerárquico, como ocurre en Aguas de Manizales (Colombia) y el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (Sedapal, en Perú).

Paso 7. Implementación de proyectos

Concepto. Luego de la aprobación del proyecto en la etapa de selección, es decir, una vez que se han validado la deseabilidad y la viabilidad de la innovación, se inicia el último paso de la función operativa (véase el ítem ii del apartado 2.1).

En otras palabras, se conceptualiza y se diseña la herramienta, se recolectan y procesan los datos, se desarrolla el modelo y se valida (González, Ortiz y Sánchez Ávalos, 2021). La innovación se materializa a través de la experimentación para, fundamentalmente, lograr el aprendizaje mediante testeo, acciones cortas, ágiles y específicas (o sprint) (Bevan et al., 2024), prototipo, piloto, mínimo producto viable, entre otros.

En este paso se aborda la factibilidad del proyecto, para lo cual se procura su validación técnica. En general, surge la necesidad de utilizar presupuesto (véase el paso 4) para adquirir bienes y servicios que contribuyan a validar la factibilidad del proyecto de innovación aprobado, lo cual

puede incluir la infraestructura tecnológica, la conectividad y la capacidad computacional para aplicar la IA, entre otros.

Elementos clave. Con base en lo anterior, en este paso se toma la **decisión (II)** definitiva de incluir el proyecto de innovación en la operación habitual del prestador y se establece de qué forma se hará.

IA en la implementación de la innovación en el sector AyS. La integración de la IA con los sistemas y la interoperabilidad son cuestiones clave (Rapp, Capener y Sowby, 2023) para validar la factibilidad técnica y tecnológica del proyecto. Además, la gestión de riesgos (ISO e IEC, 2023) es fundamental para una aplicación adecuada de la IA. En tal sentido, es conveniente contar con una visión integral de la materialidad de los riesgos relacionados con la IA en todos los dominios y casos de uso y crear una variedad de opciones (incluso medidas técnicas y no técnicas) para gestionarlos. Asimismo, es acertado establecer una estructura de gobernanza que equilibre la experiencia y la supervisión con la capacidad de respaldar la toma rápida de decisiones, a partir de la adaptación de las estructuras existentes siempre que sea posible, e incorporar la estructura de gobierno en un modelo operativo que aproveche la experiencia de toda la organización e incluya capacitación apropiada para los usuarios finales (Bevan et al., 2024).

Las principales fuentes de riesgo pueden ser las amenazas a la ciberseguridad (Laubshtein, 2023) resultantes del mayor volumen y la sofisticación de los ataques de programas malignos (o malware) sobre la IA; la posibilidad de que los malos actores creen ultrafalsos (o *deepfakes*) que den como resultado un daño significativo a la reputación; la infracción de la propiedad intelectual (como imágenes o texto); que los datos gestionados estén infra- o subvalorados y que, en consecuencia, no representen la realidad; las amenazas de seguridad que pongan en peligro la privacidad de los datos y permitan su manipulación por parte de terceros desconocidos; la falta de explicabilidad (o alucinación); el incumplimiento del marco regulatorio; el uso indebido de herramientas de IA de terceros, entre otros (Bevan et al., 2024).

En tal sentido, la realización de pilotos de IA resulta esencial. Se trata de una evaluación de capacidades internas y requerimientos, en principio, a pequeña escala (DLabs, s.f.). Un proyecto piloto típico consiste en la validación de su objetivo y su alcance general de acuerdo con los representantes de la empresa de AyS; contiene una demostración fuera de línea (u *offline*) a partir de una retrospectiva basada en registros históricos recopilados por el prestador en la parte seleccionada del sistema y un análisis de los datos proporcionados por la entidad para verificar inconsistencias, lagunas de datos y otros problemas; incluye la realización de pruebas por medio de un modelo matemático, donde se ingresan en el modelo los insumos conocidos para eventos pasados y se compara la producción con los resultados conocidos (Jenny et al., 2020).

El enfoque fuera de línea en la primera fase del piloto de IA muestra los beneficios de utilizar los algoritmos de IA en el prestador de servicios de AyS: i. La IA elimina las complejidades que entraña la conexión en tiempo real a sistemas digitales de empresas de servicios de agua y saneamiento; ii. La IA evalúa el desempeño de la red de distribución de agua con un conjunto de datos mayor que el que se podría generar en tiempo real, en función del lapso limitado del piloto; iii. Los algoritmos de IA confirman la metodología para detectar eventos del pasado, como roturas de tuberías o interrupciones de sensores; iv. La IA permite la comparación simultánea entre estimaciones (como la del agua no contabilizada) producidas con métodos convencionales y el pronóstico de los algoritmos de IA (Jenny et al., 2020).

Después de completar las pruebas fuera de línea de los algoritmos de IA es posible ponerlos en funcionamiento en tiempo real. Se requiere integrar los resultados numéricos con la operación actual y el desarrollo de algoritmos complementarios. Con base en los resultados en tiempo real y la experiencia, el piloto de IA se puede ampliar a otras áreas.

Los procesos para la gestión de fiabilidad de los sistemas de IA como la seguridad, la protección, la equidad, la transparencia, la calidad de los datos y la calidad de los sistemas de IA no solo son aplicables en este paso, sino también a lo largo de su ciclo de vida.



Recuadro 5. Agua no facturada

El Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (Sedapal) utilizó IA para abordar el problema del agua no facturada, por medio del Equipo de investigación, innovación y normalización, de la Gerencia de investigación y desarrollo.

A partir de la suscripción de un acuerdo de colaboración, Sedapal implementó un proyecto piloto con base en la plataforma digital TaKaDu Central Event Management a fin de reducir las pérdidas físicas de agua (gestión operativa), aumentar la recaudación (gestión financiera) y mejorar el servicio al cliente (gestión comercial).

De este modo se logró identificar y gestionar de manera digital incidencias operativas en 137 sectores hidráulicos de las redes de agua potable correspondientes a centros de servicios distribuidos en Lima Metropolitana, que cubren una población de aproximadamente 2.5 millones de habitantes.

Con base en la utilización de grandes volúmenes de datos (o big data) e IA para analizar la información masiva que producen los sistemas de vigilancia y control de las redes de agua potable (por medio del sistema SCADA de Sedapal), la plataforma detecta, de forma automática, anomalías vinculadas con eventos o

incidencias hidráulicas (24/7) como fugas, cambios anómalos de presión, fallas en la telemetría, distribución inadecuada de caudal entre sectores colindantes, incremento del caudal mínimo nocturno u otras incidencias que puedan afectar la presión y la continuidad del servicio de agua potable en las redes del prestador.

De este modo se logró detectar pérdidas en las redes de agua potable que representaron un ahorro equivalente a 2.400.000 de m³ de agua potable en el primer año de prueba. La herramienta cuenta con potencial para duplicar este valor, lo cual implicaría alcanzar un nivel de detección de fugas de agua similar al de países como Alemania o Japón y obtener una mayor recaudación, estimada en alrededor de US\$4.5 millones anuales.

Si bien queda mucho por avanzar en la eficiencia operativa, comercial y financiera (el plan de inversión en sensorización [o monitoreo IoT], entre otros), la inteligencia artificial es, sin dudas, una herramienta que las empresas prestadoras de servicio de agua y saneamiento (AyS) ya pueden usar no solo para mejorar el servicio que prestan, sino también para detectar la necesidad de reparar tuberías antes de que se produzca una rotura y, como consecuencia, se interrumpa el servicio.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de entrevistas a Iván Rodríguez, jefe del Equipo de investigación, innovación y normalización de Sedapal.

Paso 8. Evaluar el portafolio de soluciones inclusivas e íntegras

Concepto. En este paso se procura responder la pregunta ¿qué resultados obtenemos? Esto implica evaluar los pasos previos desde la perspectiva a mediano plazo. Se trata de lograr un aprendizaje y capitalizar el conocimiento adquirido de la gestión de innovación para mejorar la capacidad de generar nuevo valor. Todo esto se efectúa, en particular, asociado a: i. La función de dirección, que incluye la cultura de innovación (paso 1), los aspectos externos (paso 2), las expectativas (paso 3) y las metas (paso 4); ii. La función de operación, mediante la generación de oportunidades (paso 5), la selección (paso 6) y la implementación (paso 7).

Elementos clave. Al realizar el monitoreo de actividades y resultados vinculados a la IA, se destacan el cumplimiento **regulatorio (J)**, en áreas como las compras públicas de innovación (Ospina et al., 2021), y el aspecto **reputacional (K)**, que comprende, entre otros puntos, la mitigación del riesgo de amplificar sesgos y crear “caja negra”, es decir, un sistema de IA sin visibilidad o entendimiento sobre las entradas y operaciones, debido a que los proveedores tampoco proporcionan transparencia en su gestión de datos o los servicios de IA no probados, así como los riesgos que causan una mala toma de decisiones y/o una ejecución de tareas deficiente. Además, la adopción de la IA por parte del prestador de servicios de AyS (Rapp, Capener y Sowby, 2023) genera la necesidad de contar con ciberseguridad (Laubshtein, 2023). Aquí se considera la posibilidad de que la IA sea auditada (Lam et al., 2024).

IA en la evaluación de la innovación en el sector AyS. A los efectos de alcanzar una mayor confiabilidad de la IA, resulta de suma responsabilidad desarrollar políticas de uso ético de la IA, salvaguardar la privacidad de los datos, monitorear permanentemente el entorno tecnológico vinculado con la IA, garantizar que las decisiones impulsadas por IA se puedan explicar, dar seguimiento a la procedencia de los datos y las nuevas versiones del modelo, entre otros aspectos (IBM y Morning Consult, 2023).

Paso 9. Focalizar en el cliente del servicio

Concepto. La gestión de innovación no es un fin en sí mismo. En el sector AyS, el propósito es mejorar la calidad de vida de las personas. Por lo tanto, es necesario que el nuevo valor generado por la IA impacte, al menos a largo plazo, en el usuario final, beneficiario, cliente y/o ciudadano.

Elementos clave. La evaluación del impacto a largo plazo conforma la esencia del **negocio (L)**, es decir, el cometido central para el cual se ha creado el prestador de servicios de AyS.

IA al focalizar en el cliente del servicio de AyS. Las aplicaciones de IA en el sector AyS se vinculan con lo social y con lo legal. Como en otros órdenes de la gestión de innovación del prestador de servicios, no se puede esperar que estas aplicaciones sean infalibles. Por ello, es especialmente relevante tomar recaudos en áreas críticas como el tratamiento del agua potable. Será difícil explicar al público en general la complejidad y la aparente aleatoriedad de algunos de estos modelos, por tal motivo es cada vez más determinante que la ciudadanía esté preparada de la mejor manera posible para comprender las limitaciones de estos sistemas. Desde lo legal, asignar responsabilidades a partir de las leyes que rigen hoy en muchas localidades constituye un desafío (Lowe, Qin y Mao, 2022).

Un ejemplo de impacto es el que describe Jeremy Heath, director de Innovación de Sutton and East Surrey Water, un prestador de servicios de Reino Unido que utiliza IA para detectar fugas en el sistema de distribución de agua: “En muchos casos, reparamos esa tubería antes de que los clientes noten una ligera caída en la presión” (Austin, 2024).

Paso 10. Estructurar el equipo

Concepto. Estructurar es, en esencia, crear el medio para que los pasos previos sugeridos, que guían la gestión de la innovación, se puedan realizar. Implica ejecutar el diseño y la configuración organizacional, que tienen la misión de promover ciclos sucesivos y continuos de los pasos propuestos, con un incremento de las actividades realizadas y los resultados obtenidos, en equilibrio con el riesgo asociado (GI Hub, 2020) y el impacto en el usuario final. Se trata, pues, de una usina que tracciona y facilita la gestión de innovación de forma eficaz y sostenible.

Elementos clave. Es fundamental contar con **habilidades (M)** y conocimiento, desarrollados internamente y/o con apoyo externo, y capitalizar la experiencia que se obtiene al implementar la IA. Se requiere la integración de equipos multidisciplinarios, que incluyan la voz del cliente o usuario. Si bien el equipo no tiene por qué conocer en profundidad la tecnología, es importante que entienda de qué se trata a fin de que la facilitación resulte más eficiente y el proceso de decisión sea más asertivo.

IA al estructurar el equipo. La IA no sustituirá el ingenio humano y la experiencia vivida por los ingenieros y técnicos, pero ayudará en la práctica con determinados trabajos y predicciones verificables y colaborará con las comunidades a prepararse para un futuro con mayor seguridad hídrica (Novo, 2024).

Por ejemplo, la tecnología que configura el ChatGPT4, una herramienta que está disponible hace poco tiempo, puede facilitar la gestión de innovación. De acuerdo con un experimento reciente, ChatGPT4 es significativamente mejor al generar nuevas ideas de productos que estudiantes de ingeniería y negocios motivados y capacitados en una universidad muy selectiva a nivel internacional. Esto sugiere que se puede utilizar IA en la generación de oportunidades (paso 5), de modo que el equipo humano se centre en la evaluación de las propuestas para la selección de la innovación (paso 6) (Girotra et al., 2023).



4.

CONSIDERACIONES FINALES

4. CONSIDERACIONES FINALES

Bajo un enfoque eminentemente práctico, la innovación es sinónimo de nuevo valor. Es decir, todo aquello de carácter novedoso que está vinculado, en particular, con la creación y el suministro de un beneficio al cliente. Así, se puede hablar de diversos tipos de innovación, como la incremental o disruptiva; central, adyacente y transformacional; innovación abierta; innovación social; innovación pública; innovación verde y hasta la innovación tecnológica, que incluye conceptos relacionados con la denominada cuarta revolución industrial, como la nano- y biotecnología, entre otros.

La innovación también se puede nutrir de la transformación digital, que comprende la IA. En términos simples, es posible afirmar que la IA busca desarrollar sistemas digitales o computacionales que imiten funciones cognitivas humanas, mediante la creación de algoritmos que ejecuten tareas inteligentes, aprendan y se adapten a nuevas situaciones o datos.

La IA puede favorecer el desarrollo de la innovación en el prestador de servicios de AyS de ALC de múltiples formas: en la optimización de procesos, en el mantenimiento predictivo de activos, en la gestión de recursos (como el uso eficiente del agua potable), en la calidad del servicio (mediante el monitoreo de la calidad del agua) y la atención al cliente, en la sostenibilidad ambiental (al optimizar el uso de energía y supervisar la emisión de carbono), entre otras.

El presente documento propone un modelo de implementación de la IA en el marco de la gestión de innovación. El propósito es que las personas que lideran las entidades prestadoras de servicios de AyS en ALC puedan descubrir y abordar la IA a fin de crear nuevo valor para el beneficiario, cliente y/o ciudadano, mediante soluciones que propicien el acceso universal a servicios de agua y saneamiento de calidad, a un precio asequible y de manera eficiente y sostenible a largo plazo. La meta es mejorar la calidad de vida de la población de la región.

Cada uno de los 10 pasos de la gestión de innovación comprende conceptos y elementos clave en relación con la IA que el prestador de servicios de AyS de ALC debe considerar y destaca sus especificidades distintivas principales con el objetivo de guiar la acción práctica de su implementación.

Vale señalar que este trabajo no trata de restarle importancia al reto que implica para el prestador de servicios de AyS de la región adoptar y aplicar la IA y tampoco pretende magnificarla. La intención es contribuir, en su justa medida, a habilitar el acercamiento y el conocimiento, la decisión y la inversión, así como la adopción de la IA y el rédito.



5.

REFERENCIAS

5. REFERENCIAS

- Adler, I. 2023. Integrando soluciones innovadoras en empresas proveedoras de servicio de agua y saneamiento. Lecciones aprendidas de pilotos de innovación en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo. Nota Técnica No. 2757. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0005236>.
- Agencia UNAL. 2023. Inference, spin-off para el uso de la inteligencia artificial y el análisis de datos. *Agencia UNAL*, 3 de agosto. Disponible en: <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/inference-spin-off-para-el-uso-de-la-inteligencia-artificial-y-el-analisis-de-datos>.
- AI Labs Inc. 2023. Revolutionizing Predictive Maintenance with AI: A Case Study. Tempe (AZ): AI Labs. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/revolutionizing-predictive-maintenance-ai-case-study-ai-labs-inc>.
- Alam, R. 2023. Five Ways Artificial Intelligence Is Going to Shape the Future of Water and Resilient Infrastructure. *WSP*, 21 de marzo. Disponible en: <https://www.wsp.com/en-us/insights/2023-artificial-intelligence-shaping-future-of-water>.
- Alam, G., I. Ihsanullah, M. Naushad y M. Sillanpää. 2022. Applications of Artificial Intelligence in Water Treatment for Optimization and Automation of Adsorption Processes: Recent Advances and Prospects. *Chemical Engineering Journal*, 427, 130011. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130011>.
- Austin, Y. 2024. Artificial intelligence helps reduce water leaks. *BBC.com*, 11 de marzo. Disponible en: <https://www.bbc.com/news/articles/c4n5pwny536o>.
- Bengio, Y., A. Courville y P. Vincent. 2013. Representation Learning: A Review and New Perspectives. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(8), 1798-1828. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6472238>.
- Bevan, O., M. Chui, I. Kristensen, B. Presten y L. Yee. 2024. Implementing Generative AI with Speed and Safety. *McKinsey Quarterly*, 13 de marzo. Disponible en: <https://www.mckinsey.com/capabilities/risk-and-resilience/our-insights/implementing-generative-ai-with-speed-and-safety>.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2023. Webinar Inteligencia Artificial para crear y diseminar Políticas Públicas. 24 de febrero. [Archivo de video]. Youtube. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=zB1P9p9pRO0>.
- , s.f. Compilación de textos sobre inteligencia artificial en el sector de agua y saneamiento publicados en *Volvamos a la fuente*. Disponibles en: <https://blogs.iadb.org/agua/es/?s=inteligencia+artificial>.
- Brajovic, D., N. Renner, V. P. Goebels, P. Wagner, B. Fresz, M. Biller, M. Klaeb et al. 2023. Model Reporting for Certifiable AI: A Proposal from Merging EU Regulation into AI Development. arXiv:2307.11525v1[cs.AI] 21 de julio de 2023. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2307.11525>.
- Cerlioli, G. 2024. Con IA detectan microbasurales para prevenir problemas ambientales. *Fundación*

Bunge y Born, 17 de abril. Disponible en: <https://www.fundacionbyb.org/post/con-ia-detectan-microbasurales-para-prevenir-problemas-ambientales>.

Cevallos, A., L. Latorre, G. Alicandro, Z. Wanner, I. Cerrato, J. D. Zárate et al. 2023. Tech Report: IA generativa. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0005105>.

Chhipi-Shrestha, G., H. R. Mian, S. Mohammadiun, M. Rodriguez, K. Hewage y R. Sadiq. 2023. Digital Water: Artificial Intelligence and Soft Computing Applications for Drinking Water Quality Assessment. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 25, 1409-1438. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02477-4>.

Coello, L., A. Minatta y M. Basani. 2024. Innovemos por el Agua: Transformando la gestión de recursos hídricos en Ecuador. *Volvamos a la fuente*, 26 de febrero. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/agua/es/innovemos-por-el-agua-el-regulador-de-ecuador-habilita-la-innovacion-del-sector-agua-y-saneamiento/>.

Crawford, K. 2023. *Atlas de inteligencia artificial: Poder, política y costos planetarios*. Buenos Aires: FCE.

Daniel, I., N. K. Ajami, A. Castelletti, D. Savic, R. A. Stewart y A. Cominola. 2023. A Survey of Water Utilities' Digital Transformation: Drivers, Impacts, and Enabling Technologies. *npj Clean Water*, 6(1), 51. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00265-7>.

Dannouni, A., S. Deutscher, G. Dezzaz, A. Elman, A. Gawel, M. Hanna, A. Hyland et al. 2023. Accelerating Climate Action with AI. Boston (MA): BCG. Disponible en: <https://web-assets.bcg.com/72/cf/b609ac3d4ac6829bae6fa88b8329/bcg-accelerating-climate-action-with-ai-nov-2023-rev.pdf>.

de Andara, C. F. 2021. Marvin Lee Minsky: pionero en la investigación de la inteligencia artificial (1927-2016). *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, 15(1), 41-50. Disponible en: <https://revistas.uclave.org/index.php/pcyt/article/view/3577/2267>.

Dell'Acqua, F., E. McFowland, E. R. Mollick, H. Lifshitz-Assaf, K. Kellogg, S. Rajendran, L. Kraye et al. 2023. Navigating the Jagged Technological Frontier: Field Experimental Evidence of the Effects of AI on Knowledge Worker Productivity and Quality. Harvard Business School Technology & Operations Mgt. Unit Working Paper No. 24-013, The Wharton School Research Paper. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4573321>.

Dell Technologies. 2018. Inteligencia Artificial: ¿Qué es el aprendizaje de refuerzo? Una Explicación Simple y Ejemplos Prácticos. *Dell Blog*, 28 de septiembre. Disponible en: <https://www.dell.com/es-es/blog/inteligencia-artificial-aprendizaje-refuerzo-explicacion-y-ejemplos/>.

DigitalOcean. 2024. 10 Open Source AI Platforms for Innovation. *DigitalOcean*, 9 de febrero. Disponible en: <https://www.digitalocean.com/resources/article/open-source-ai-platforms>.

DIMA (Dirección de Investigaciones de Manizales). 2023. Emprendimientos Spin-Offs. Manizales, Colombia: DIMA. Disponible en: <http://investigacion.manizales.unal.edu.co/propiedad-intelectual/spin-offs>.

DLabs. s.f. How to Implement Artificial Intelligence in your Company. A Comprehensive Guide for Deploying Artificial Intelligence at Work. Gdańsk, Polonia: DLabs. Disponible en: <https://dlabs.ai/resources/whitepapers/how-to-implement-ai-in-your-company/>.

- Enholm, I. M., E. Papagiannidis, P. Mikalef y J. Krogstie. 2022. Artificial Intelligence and Business Value: a Literature Review. *Information Systems Frontiers*, 24(5), 1709-1734. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10186-w>.
- Gartner. 2023. We Shape AI, AI Shapes Us: 2023 IT Symposium/Xpo Keynote Insights. Stamford, CT: Gartner. Disponible en: <https://www.gartner.com/en/documents/4841531>.
- , 2024a. Webinar AI Engineering: The Link Between AI and Business Value. Stamford, CT: Gartner. Disponible en: <https://www.gartner.com/en/webinar/573970/1290752>.
- , 2024b. Building a Value-Driving AI Strategy for Your Business. Stamford, CT: Gartner. Disponible en: <https://www.gartner.com/en/information-technology/topics/ai-strategy-for-business>.
- , 2024c. GenAI Planning Workbook. Stamford, CT: Gartner. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/698988256/Gartner-GenAI-Planning-Workbook>.
- , s.f.a. Gartner Glossary. Augmented Intelligence. Stamford, CT: Gartner. Disponible en: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/augmented-intelligence>.
- , s.f.b. Gartner Experts Answer the Top Generative AI Questions for Your Enterprise. Stamford, CT: Gartner. Disponible en: <https://www.gartner.com/en/topics/generative-ai>.
- , s.f.c. ¿Qué es la inteligencia artificial? Stamford, CT: Gartner. Disponible en: <https://www.gartner.es/es/temas/inteligencia-artificial>.
- Gaya, M. S., M. U. Zango, L. A. Yusuf, M. Mustapha, B. Muhammad, A. Sani, A. Tijjani et al. 2017. Estimation of Turbidity in Water Treatment Plant using Hammerstein-Wiener and Neural Network Technique. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 5(3), 666-672. Disponible en: <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v5.i3.pp666-672>.
- GI Hub (Global Infrastructure Hub). 2020. AI for process optimisation for water treatment. Washington, D.C.: PPIAF. Disponible en: <https://www.gihub.org/infrastructure-technology-use-cases/case-studies/ai-for-process-optimisation-for-water-treatment/>.
- Girotra, K., L. Meincke, C. Terwiesch y K. T. Ulrich. 2023. Ideas are Dimes a Dozen: Large Language Models for Idea Generation in Innovation. Philadelphia (PA): Wharton School. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4526071>.
- Gómez Mont, C., C. Del Pozo, C. Martínez Pinto y A. Martín del Campo Alcocer. 2020. La inteligencia artificial al servicio del bien social en América Latina y el Caribe: Panorámica regional e instantáneas de doce países. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0002393>.
- González, F., T. Ortiz y R. Sánchez Ávalos. 2021. Uso responsable de la IA para las políticas públicas: Manual de ciencia de datos. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0002876>.
- H2O Global News. 2023. Anglian Water expands transformative AI technology trial. *H2O Global News*, 5 de diciembre. Disponible en: <https://h2oglobalnews.com/anglian-water-expands-transformative-ai-technology-trial/>.
- Heaven, W. D. 2023. The Inside Story of How Chatgpt Was Built from the People Who Made It. *MIT Technology Review*, 3 de marzo. Disponible en: <https://www.technologyreview.com/2023/03/03/1069311/inside-story-oral-history-how-chatgpt-built-openai/>.

- Hermosilla, M., N. González Alarcón, C. Pombo, R. Sánchez Ávalos, G. Denis y C. Aracena. 2021. Uso responsable de IA para política pública: Manual de formulación de proyectos. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0003631>.
- Holroyd, S. 2024. From forest schools to greywater recycling – these start-ups are powering a green revolution across Latin America. *Forum Agenda*, 7 de marzo. Disponible en: <https://www.weforum.org/agenda/2024/03/startups-latin-america-green-innovation-technology/>.
- IBM (International Business Machines). 2021. El modelo de redes neuronales. Nueva York: IBM. Disponible en: <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=networks-neural-model>.
- , 2024a. ¿Qué es el aprendizaje supervisado? Nueva York: IBM. Disponible en: <https://www.ibm.com/es-es/topics/supervised-learning>.
- , 2024b. ¿Qué es el aprendizaje no supervisado? Nueva York: IBM. Disponible en: <https://www.ibm.com/es-es/topics/unsupervised-learning>.
- , 2024c. ¿Qué es el procesamiento del lenguaje natural (NLP)? Nueva York: IBM. Disponible en: <https://www.ibm.com/es-es/topics/natural-language-processing>.
- , 2024d. ¿Qué es la visión artificial? Nueva York: IBM. Disponible en: <https://www.ibm.com/es-es/topics/computer-vision>.
- IBM My Morning Consult. 2023. IBM Global AI Adoption Index 2023. Nueva York: IBM. Disponible en: <https://es.newsroom.ibm.com/download/IBM+Global+AI+Adoption+Index+Report+Dec.+2023.pdf>.
- ILIA (Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial). 2023. Futuro de la Inteligencia Artificial en Latinoamérica. Capítulo F. Santiago de Chile: ILIA. Disponible en: <https://indicelatam.cl/wp-content/uploads/2023/08/CAPITULO-F.pdf>.
- InnoLead (Innovation Leader). 2024. How AI is Influencing Corporate Innovation Priorities in 2024. Boston (MA): InnoLead. Disponible en: <https://www.innovationleader.com/research-reports/ai-corporate-innovation-2024/>.
- innovations-report. 2024. Quickly and easily predict emerging contaminant concentrations in wastewater with artificial intelligence. *innovations-report*, 23 de enero. Disponible en: <https://www.innovations-report.com/ecology-the-environment-and-conservation/quickly-and-easily-predict-emerging-contaminant-concentrations-in-wastewater-with-artificial-intelligence/>.
- ISO (International Organization for Standardization) e IEC (International Electrotechnical Commission). 2023. ISO/IEC 42001 Information technology - Artificial intelligence - Management system. Ginebra: ISO. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso-iec:42001:ed-1:v1:en>.
- IWA (International Water Association). 2020. Digital Water. Artificial Intelligence Solutions for the Water Sector. Londres: IWA. Disponible en: https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2020/08/IWA_2020_Artificial_Intelligence_SCREEN.pdf.
- Jenny, H., Y. Wang, E. G. Alonso y R. Minguez. 2020. Using Artificial Intelligence for Smart Water Management Systems. Asian Development Bank. ADB Briefs No. 143. Metro Manila, Filipinas: ADB. Disponible en: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/614891/artificial-intelligence-smart-water-management-systems.pdf>.

- Kane, G., A. N. Phillips, J. R. Copulsky y G. R. Andrus. 2022. *The Technology Fallacy. How People Are the Real Key to Digital Transformation*. Cambridge (MA): The MIT Press.
- Krishnan, S. R., M. K. Nallakaruppan, R. Chengoden, S. Koppu, M. Iyapparaja, J. Sadhasivam y S. Sethuraman. 2022. Smart Water Resource Management Using Artificial Intelligence. A review. *Sustainability*, 14(20), 13384. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/20/13384>.
- Lam, K., B. Lange, B. Bili-Hamelin, J. Davidovic, S. Brown y A. Hasan. 2024. *A Framework for Assurance Audits of Algorithmic Systems*. En The 2024 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency. 3-6 de junio. Nueva York: ACM. Disponible en: <https://doi.org/10.1145/3630106.3658957>.
- Latorre, L., V. Muro, E. Rego, M. Gutiérrez, I. Cerrato y J. D. Zárate. 2024. Reporte de tecnología: Inteligencia artificial. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0013015>.
- Laubshtein, Y. 2023. Protegiendo las infraestructuras de agua y saneamiento de amenazas cibernéticas: Un estudio de ciberseguridad para América Latina y el Caribe. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0004876>.
- Lim, S. J., J. Seo, M. G. Seid, J. Lee, W. W. Ejerssa, D. H. Lee, E. Jeong et al. 2023. Clustering Micropollutants and Estimating Rate Constants of Sorption and Biodegradation Using Machine Learning Approaches. *npj Clean Water*, 6(1), 69. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00282-6>.
- Lowe, M., R. Qin y X. Mao. 2022. A Review on Machine Learning, Artificial Intelligence, and Smart Technology in Water Treatment and Monitoring. *Water*, 14(9), 1384. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w14091384>.
- McCartney, A. 2024. When Not to Use Generative AI. *Gartner Business Insights & Trends*, 23 de abril. Disponible en: <https://www.gartner.com/en/articles/when-not-to-use-generative-ai>.
- Minatta, A. y M. Basani. 2019. Internet de las cosas, una llave para mejores servicios de agua. *Volvamos a la fuente*, 17 de octubre. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/agua/es/internet-de-las-cosas-una-llave-para-mejores-servicios-de-agua/>.
- , 2020. Innovación en agua, saneamiento y residuos sólidos. Diagnóstico, perspectivas y oportunidades para América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo. Nota Técnica No. 1974. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0002514>.
- , 2021. Innovación en el sector de agua, saneamiento y residuos sólidos en América Latina y el Caribe: Cómo catalizar la cultura de innovación empresarial. Banco Interamericano de Desarrollo. Nota Técnica No. 2344. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0003793>.
- , 2022. Ecosistema de innovación en el sector Agua, saneamiento y residuos sólidos de América Latina y el Caribe. Relevamiento y modelo de vinculación. Banco Interamericano de Desarrollo. Nota Técnica No. 2565. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0004507>.
- , 2023. ¿Cómo puede la regulación impulsar la innovación? Regulación habilitadora para la innovación en el sector agua, saneamiento y residuos sólidos de América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo. Nota Técnica No. 2689. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0004854>.

- Minatta, A., M. Basani y G. Shaki. 2022. Gestión de innovación del prestador de servicios de agua, saneamiento y residuos sólidos en América Latina y el Caribe: Laboratorio de innovación. Banco Interamericano de Desarrollo. Nota Técnica No. 2513. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0004382>.
- Nasser, A. A., M. Z. Rashad y S. E. Hussein. 2020. A Two-Layer Water Demand Prediction System in Urban Areas Based on Micro-Services and LSTM Neural Networks. *IEEE Access*, 8, 147647-147661. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9163328>.
- NIST (National Institute of Standards and Technology). 2023. AI Risk Management Framework – Resources. Gaithersburg (MA): NIST. Disponible en: <https://www.nist.gov/itl/ai-risk-management-framework/ai-risk-management-framework-resources>.
- Nortje, M. A. y S. S. Grobbelaar. 2020. *A Framework for the Implementation of Artificial Intelligence in Business Enterprises: A Readiness Model*. En 2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC). 15-17 de junio. Piscataway, NJ: IEEE.
- Novo, C. 2024. Utilities are coming together to look for county-wide solutions in ways that also promote equity. *Smart Water Magazine*, 24 de enero. Disponible en: <https://smartwatermagazine.com/news/wsp/utilities-are-coming-together-look-county-wide-solutions-ways-also-promote-equity>.
- Okoji, C. N., A. I. Okoji, M. S. Ibrahim y O. Obinna. 2022. Comparative Analysis of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) and RSRM Models to Predict DBP (Trihalomethanes) Levels in the Water Treatment Plant. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(6), 103794. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.103794>.
- Ospina, M. J., C. García, D. Moñux y A. Juganaru. 2021. Compra pública de innovación en Brasil: El sector de agua y saneamiento. Banco Interamericano de Desarrollo. Documento para discusión No. 843. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0003006>.
- Phasinam, K., T. Kassanuk, P. P. Shinde, C. M. Thakar, D. K. Sharma, M. K. Mohiddin y A. W. Rahmani. 2022. Application of IoT and Cloud Computing in Automation of Agriculture Irrigation. *Journal of Food Quality*, 2022(1), 8285969. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1155/2022/8285969>.
- Pombo, C., M. Cabrol, N. González Alarcón y R. Sánchez Ávalos. 2020. fAIr LAC: Adopción ética y responsable de la inteligencia artificial en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo. Nota Técnica No. 1839. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0002169>.
- Rapp, A. H., A. M. Capener y R. B. Sowby. 2023. Adoption of Artificial Intelligence in Drinking Water Operations: A Survey of Progress in the United States. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 149(7). Disponible en: <https://doi.org/10.1061/JWRMD5.WRENG-5870>.
- Roshni, T., E. Mirzania, M. H. Kashani, Q. A. T. Bui y S. Shamshirband. 2022. Hybrid Support Vector Regression Models with Algorithm of Innovative Gunner for the Simulation of Groundwater Level. *Acta Geophysica*, 70(4), 1885-1898. <https://doi.org/10.1007/s11600-022-00826-3>.
- SAP (Systems, Applications, and Products in Data Processing). s.f. ¿Qué es la IA generativa? Walldorf, Alemania: SAP. Disponible en: <https://www.sap.com/latinamerica/products/artificial-intelligence/what-is-generative-ai.html>.

- Sarni, W. 2021. Transformación Digital: poniendo a la gente por delante de la tecnología. *Volvamos a la fuente*, 25 de enero. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/agua/es/transformacion-digital-poniendo-a-la-gente-por-delante-de-la-tecnologia/>.
- , 2024. Digital strategy and value creation. *Smart Water Magazine*, 8 de mayo. Disponible en: <https://smartwatermagazine.com/blogs/will-sarni/digital-strategy-and-value-creation>.
- Sarni, W. y P. Joshi. 2022. The Digital Transformation Playbook: A 3-Part Roadmap to Navigate AI Implementation. *Smart Water Magazine*, 5 de enero. Disponible en: <https://smartwatermagazine.com/news/smart-water-magazine/digital-transformation-playbook-a-3-part-roadmap-navigate-ai>.
- Sarni, W., J. Sheehan y T. Cox. 2023. The Digital Journey of Water and Sanitation Utilities in the Caribbean: Current State and Opportunities. Banco Interamericano de Desarrollo. Documento para discusión No. 1046. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0005323>.
- Schrage, M., D. Kiron, F. Candelon, S. Khodabandeh y Michael Chu. 2024. The Future of Strategic Measurement: Enhancing KPIs With AI. Findings from the MIT SMR - BCG Artificial Intelligence and Business Strategy Global Executive Study and Research Project. *Mit Sloan Management Review*, 12 de febrero. Disponible en: <https://sloanreview.mit.edu/projects/the-future-of-strategic-measurement-enhancing-kpis-with-ai/>.
- Speare-Cole, R. 2024. Water companies to invest more than £180m to tackle sewage spills. *The Standard*, 10 de marzo. Disponible en: <https://www.standard.co.uk/news/politics/government-england-english-severn-trent-water-b1144398.html>.
- Suaznabar, C. y P. Henríquez. 2020. Transformación digital empresarial: ¿Cómo nivelar la cancha? Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0002692>.
- Vanijirattikhan, R., S. Khomsay, N. Kitbutrawat, K. Khomsay, U. Supakchukul, S. Udomsuk, J. Suwatthikul et al. 2022. AI-Based Acoustic Leak Detection in Water Distribution Systems. *Results in Engineering*, 15, 100557. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123022002274>.
- Xiang, X., Q. Li, S. Khan y O. I. Khalaf. 2021. Urban Water Resource Management for Sustainable Environment Planning Using Artificial Intelligence Techniques. *Environmental Impact Assessment Review*, 86, 106515. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106515>.
- Zanfei, A., B. M. Brentan, A. Menapace, M. Righetti y M. Herrera. 2022. Graph Convolutional Recurrent Neural Networks for Water Demand Forecasting. *Water Resources Research*, 58(7), e2022WR032299. Disponible en: <https://doi.org/10.1029/2022WR032299>.
- Zhu, M., J. Wang, X. Yang, Y. Zhang, L. Zhang, H. Ren, W. Bing et al. 2022. A Review of the Application of Machine Learning in Water Quality Evaluation. *Eco-Environment & Health*, 1(2), 107-116. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.06.001>.

Anexos

Anexo 1. La función de operación, en detalle

De acuerdo con Minatta, Basani y Shaki (2022), la función de operación puede ser representada en un gráfico, con diversos conceptos, como la gestión de riesgos, el embudo de innovación, e instrumentos para su efectiva implementación.

Gestión de riesgos: Uno de los beneficios de la gestión de innovación consiste en la posibilidad de mitigar los riesgos inherentes a la innovación. En tal sentido, y como se muestra en el gráfico A1 (una gráfica de nivel de riesgos de aspecto similar a las “puntas de la hoja un serrucho”), a medida que se avanza en el tiempo se presentan sucesivos hitos o instancias en los cuales es posible evaluar y decidir sobre los avances de los siguientes pasos. Si se da de baja, implica que la inversión (tiempo y dinero, entre otros) finaliza en esta instancia, sin provocar esfuerzos adicionales.

Embudo de innovación: Se expresa con una figura vertical punteada, en el margen izquierdo del gráfico A1, que recorre las oportunidades generadas (paso 5), la selección (paso 6) y la implementación (paso 7). Comienza con ideas, avanza con iniciativas y luego se generan proyectos de innovación.

Instrumentos: Frente al surgimiento de oportunidades, hay tres elementos imprescindibles, fuertemente relacionados entre sí, que forman parte de una idea de innovación: cliente, problema y solución (CPS). En el paso de selección es preciso establecer el grado de relevancia que la idea tiene para el usuario, entender si el problema está claramente identificado y determinar si la IA es la solución adecuada al desafío detectado. Asimismo, la técnica que contempla la descripción de las necesidades, el abordaje de la propuesta, los beneficios esperados y las capacidades requeridas (o *needs, approach, benefit, competition*, NABC) permite presentar iniciativas que aportan a las metas y tienen el grado de ambición de innovación pretendido. Además, a partir de la herramienta de modelo de negocios (o *business model canvas*, BMC) se puede dilucidar si el proyecto de innovación es viable económica y financieramente junto a los socios clave, entre otros importantes elementos como los riesgos asociados (ciberseguridad, integridad de los datos, cumplimiento regulatorio, etc.). Finalmente, el paso de implementación se plasma en la realización de prototipos (es la representación de la solución que muestra cómo podría funcionar y debe ser sometida a pruebas con usuarios para determinar si el producto se encuentra en el camino deseado), mínimo producto viable (es la versión mínima, pero funcional y estable, que permite a los usuarios utilizar y recibir valor de la solución) y/o pruebas de concepto o piloto (o *proof of concept*, PoC) que evalúan si una tecnología es funcional en un contexto específico y si es adecuada para enfrentar un desafío particular.

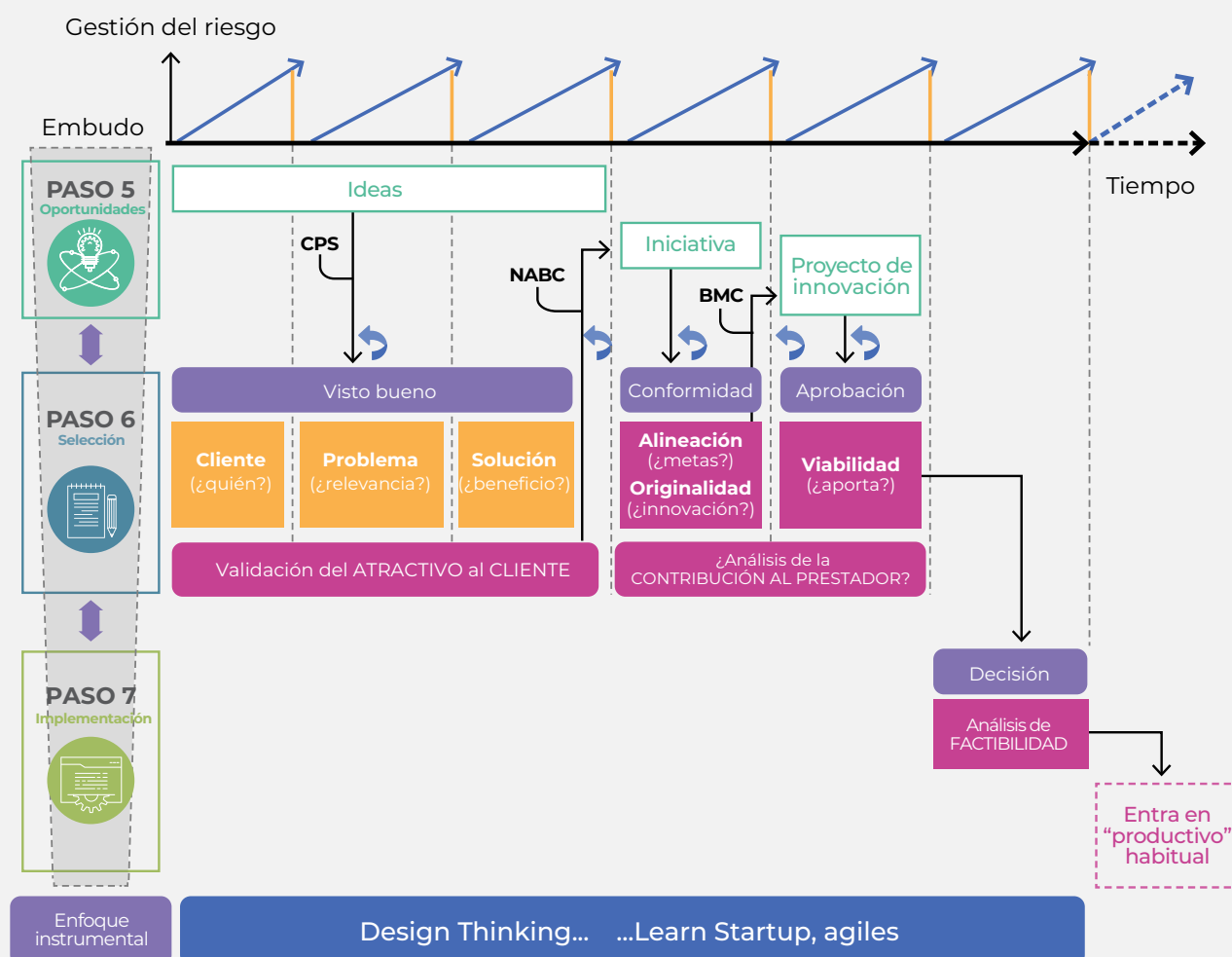
En términos digitales se trata de contemplar, entre otros, la arquitectura de datos del producto (que incluye los flujos de información y las relaciones entre componentes, es decir, cómo se organiza y se interconecta internamente), la interfaz (o *front end*, que es la parte del código con la que interactúan los usuarios de forma directa, la parte visible; la interfaz de usuario se transforma en código y se incorpora al producto), el modo administrador (o *back end*, que se refiere al código oculto al usuario, relacionado con los sistemas, las bases de datos y los procesos que posibilitan la ejecución de las tareas requeridas por el *software*), los modelos de aprendizaje automático transparente (son modelos de código capaces de aprender y evolucionar con base en su uso, que pueden estar relacionados con texto, como los modelos de lenguaje grandes [o *large language models*, LLM], o con datos), la verificación de licencias (si herramientas, librerías, imágenes y contenido utilizados en el producto cumplen con las licencias y los costos asociados),

la propiedad intelectual (el proveedor entregará todos los componentes necesarios, como esquema de página [o *wireframe*], pantallas completas, sistema de diseño y flujos detallados y, en particular, en el caso de aprendizaje automático [o *machine learning*], acceso y control sobre los datos, código fuente y modelos empleados, así como todo lo relacionado con el mantenimiento del producto o la herramienta de IA).

En términos más generales, comienza con un enfoque de pensamiento de diseño (o *design thinking*) y avanza con una puesta en funcionamiento basado en la determinación de hipótesis y la validación de supuestos de manera ágil (o *lean startup/agile*).

Decisiones: El *visto bueno* a las ideas (¿es atractiva?), la conformidad a iniciativas (¿se alinea con las metas y cuenta con la originalidad pretendida?), la aprobación de proyectos de innovación (¿es viable?) y la decisión final (¿es factible?) de ejecutar la innovación digital al servicio del usuario, a través de la gestión habitual del prestador de servicios de AyS. En términos de desarrollo de software, se hace referencia a ponerlo en producción, ya que está hospedado y es accesible para el usuario destinatario, aunque aún no haya sido lanzado de modo oficial (hasta este momento, el producto está en “ambiente de desarrollo” o “de pruebas”).

Gráfico A1. Función de operación



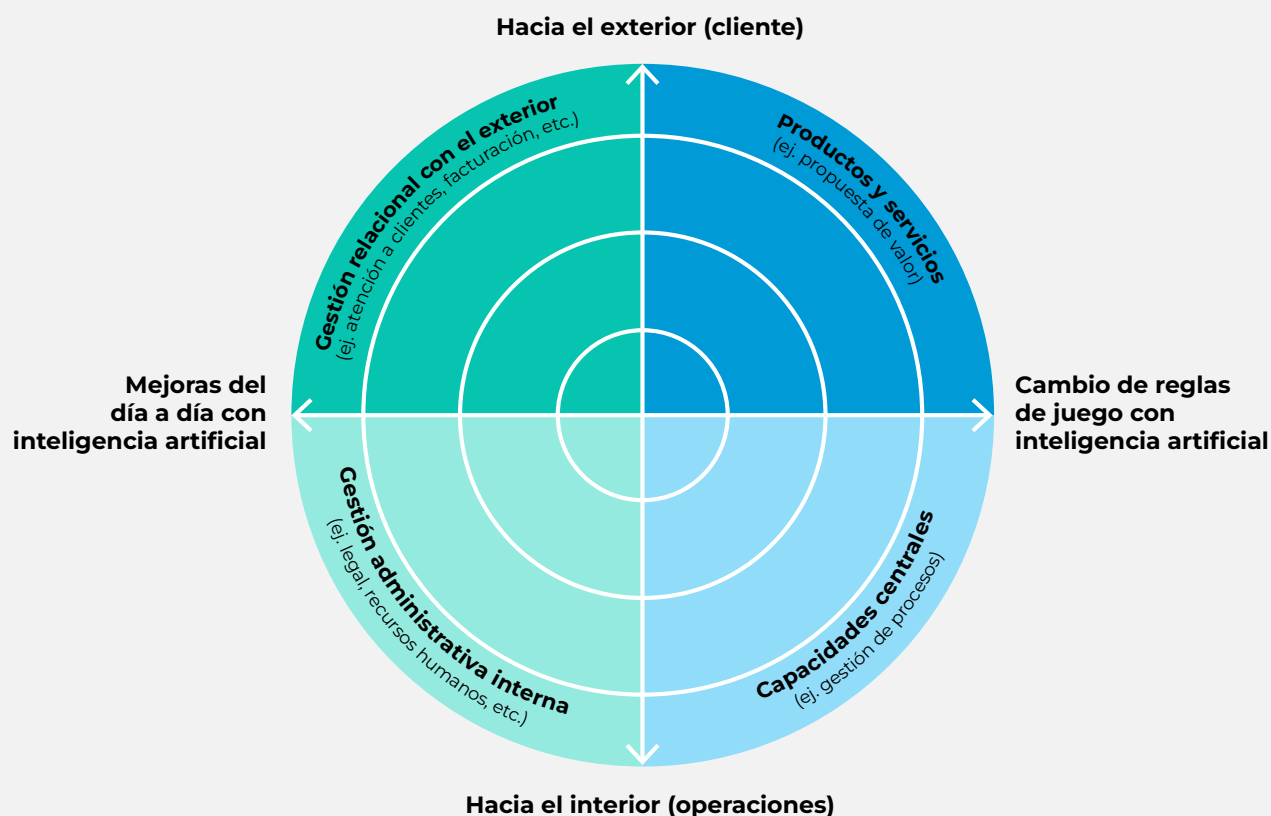
Fuente: Elaboración propia con base en Minatta, Basani y Shaki (2022).

Anexo 2. Determinar el grado de ambición pretendido

Si el objetivo es determinar el grado de ambición de IA de la organización, el radar de oportunidades de IA de Gartner plantea una serie de preguntas que pueden coadyuvar a la inversión óptima: ¿cuál es el nivel de riesgo y la recompensa?, ¿tenemos los recursos para aprovechar la oportunidad de una IA revolucionaria?, ¿qué tan integral es la IA para la estrategia de nuestra organización?, ¿la IA revolucionaria nos sacará del negocio?

Así como la gestión de riesgos es fundamental para una aplicación adecuada de la IA, también es esencial la gestión de datos: su gobernanza ética (determinar principios de utilización), su resguardo seguro, la minimización de sesgos sobre la preparación de datos, el enriquecimiento de los datos (aspectos aritméticos para recuentos, físicos para seguridad, contables para finanzas, etc.), entre otros (Gartner, 2023).

Gráfico A2. Mapa para determinar el grado de ambición de Gartner



Fuente: Traducido por autor de Gartner^[4]

^[4] <https://www.gartner.com/en/information-technology/topics/ai-readiness>

Anexo 3. Vinculación con emprendedores innovadores

La vinculación con emprendimientos también es una forma de impulsar las oportunidades. Por ejemplo, la *startup* argentina Kilimo utiliza la IA para conectar a los agricultores que desean mejorar sus prácticas de riego con empresas interesadas en cumplir sus propios compromisos de seguridad hídrica. Les permite vender sus compensaciones de agua a empresas que se comprometen a ser neutrales en materia de agua. Al compensar a los agricultores por su eficiencia hídrica y proporcionarles herramientas basadas en datos para mejorar su riego, la plataforma ayuda a más de 2.000 agricultores en seis países de la región (desde grandes corporaciones hasta pequeños agricultores) y ha permitido el ahorro de más de 70.000 millones de litros de agua (Holroyd, 2024).

