



GESTIÓN INTELIGENTE DEL AGUA EN BOGOTÁ
MONITOREO Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO CON IA E IoT

AUTOR:

DAMIAN MANFRINI

TUTOR:

DIANA MARIA GRAJALES MEDINA

FACULTAD DE INGENIERIA

BOGOTÁ D.C. 19 DE MAYO DE 2025

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. RESUMEN EJECUTIVO | 5 |
| 1.1. Título del Proyecto | 5 |
| 1.2. Descripción General | 5 |
| 1.3. Palabra clave | 5 |
| 1.4. Abstract | 6 |
| 1.5. Keywords | 6 |
| 2. INTRODUCCIÓN | 7 |
| 3. OBJETIVOS DEL PROYECTO | 8 |
| 3.1. Objetivo General | 8 |
| 3.2. Objetivos Específicos | 8 |
| 4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 9 |
| 5. JUSTIFICACIÓN | 11 |
| 5.1. Beneficiarios del proyecto | 11 |
| 5.2. Aporte del proyecto frente a otras soluciones existentes | 11 |
| 6. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS | 13 |
| 6.1. Intención del Producto | 13 |
| 6.2. Restricciones del Proyecto | 13 |
| 6.3. Verificación de Parámetros de Diseño | 15 |
| 6.4. Estimación de Características de Diseño o Especificaciones del Producto | 16 |
| 7. MARCO TEÓRICO | 18 |
| 7.1. Introducción | 18 |
| 7.2. Fundamentos de la Gestión del Agua | 18 |
| 7.2.1. Problemática del Agua en Entornos Urbanos | 18 |
| 7.2.2. Estrategias Actuales de Gestión del Agua | 19 |
| 7.3. Tecnologías para el Monitoreo y Optimización del Consumo de Agua | 19 |
| 7.3.1. Internet de las Cosas (IoT) y Sensores Inteligentes | 19 |
| 7.3.2. Inteligencia Artificial Aplicada a la Gestión del Agua | 19 |
| 7.3.3. Integración del Sistema: Aplicación, Análisis de Datos y Predicción | 20 |
| 7.3.4. Flujo de la información y procesamiento de datos | 20 |
| 7.3.5. Aplicación móvil como interfaz de usuario | 20 |
| 7.3.6. Modelos analíticos y predicciones | 21 |
| 7.4. Modelos y Teorías Aplicadas | 21 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 7.4.1. | Estudios y Proyectos Previos sobre la Gestión Inteligente del Agua | 21 |
| 7.4.2. | Modelos de Sostenibilidad y Eficiencia Hídrica | 24 |
| 7.4.3. | Algoritmos de Machine Learning para la Optimización del Agua | 24 |
| 7.4.4. | Normativas y estándares aplicables | 24 |
| 7.5. | Estado del Arte..... | 25 |
| 7.5.1. | Estudios y Proyectos Previos sobre la Gestión Inteligente del Agua | 25 |
| 7.5.2. | Limitaciones y Oportunidades | 25 |
| 8. | ANÁLISIS DE RESTRICCIONES | 26 |
| 8.1. | Limitaciones identificadas | 26 |
| 9. | METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN | 29 |
| 9.1. | Tipo de Investigación | 29 |
| 9.2. | Enfoque metodológico..... | 29 |
| 9.3. | Proceso de la selección de la solución | 30 |
| 9.3.1. | Comparación con soluciones existentes | 30 |
| 9.3.2. | Selección de la alternativa más adecuada | 31 |
| 9.4. | Etapas del proyecto | 31 |
| 9.4.1. | Fase 1: Diagnóstico y análisis contextual..... | 32 |
| 9.4.2. | Fase 2: Definición de requerimientos y arquitectura del sistema | 33 |
| 9.4.3. | Fase 3: Diseño de la interfaz y lógica de la aplicación móvil..... | 33 |
| 9.4.3.1. | Diseño de interfaz y navegación – Wireframe de la app | 34 |
| 9.4.4. | Fase 4: Desarrollo del sistema de análisis de datos e inteligencia artificial | 38 |
| 9.4.4.1. | Pseudocódigo del algoritmo de IA | 39 |
| 9.4.4.2. | Diagrama de flujo de datos y arquitectura del sistema | 40 |
| 9.4.4.3. | Estructura del modelo de Machine Learning..... | 42 |
| 9.4.4.4. | Dataset sintético de entrenamiento y validación | 45 |
| 9.4.5. | Fase 5: Pruebas y validación del prototipo..... | 47 |
| 9.4.5.1. | Pruebas de integración y tests automatizados..... | 48 |
| 9.4.5.2. | Flujo de validación del prototipo (Swimlane) | 48 |
| 9.5. | Instrumentos para recolección de información..... | 50 |
| 9.5.1. | Recolección de datos - Encuesta | 50 |
| 9.6. | Técnicas e Instrumentos | 56 |
| 9.6.1. | Revisión documental | 56 |
| 9.6.2. | Encuestas y entrevistas | 56 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 9.6.3. | Simulación de datos | 56 |
| 9.6.4. | Desarrollo de prototipos | 57 |
| 9.6.5. | Pruebas de usabilidad | 57 |
| 10. | RESULTADOS | 58 |
| 10.1. | Análisis por dimensión de la encuesta | 59 |
| 11. | DISCUSIÓN | 61 |
| 11.1. | Conclusión | 62 |
| 12. | ANÁLISIS DE COSTOS | 64 |
| 12.1. | Costos directos del desarrollo del MVP | 64 |
| 12.2. | Costos indirectos y capital de trabajo | 66 |
| 12.3. | Gastos generales estimados (Overhead) | 66 |
| 12.4. | Inversión total estimada para el MVP | 67 |
| 12.5. | Coherencia del análisis de Costos con la magnitud del proyecto. | 68 |
| 13. | CONCLUSIÓN | 70 |
| 14. | BIBLIOGRAFÍA | 72 |

1. RESUMEN EJECUTIVO

1.1. Título del Proyecto

Gestión Inteligente del Agua en Bogotá: Monitoreo y Optimización del Consumo con Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las cosas (IoT).

1.2. Descripción General

En los últimos meses, la ciudad de Bogotá ha enfrentado una crisis en el suministro de agua debido a la disminución en los niveles del embalse de Chingaza, principal fuente de abastecimiento. Esto ha llevado a implementar restricciones y a generar conciencia sobre la necesidad de un uso más eficiente del recurso hídrico. Sin embargo, muchas personas no tienen una forma clara de medir y controlar su consumo de agua en el hogar, lo que dificulta la adopción de hábitos de ahorro.

Este proyecto busca desarrollar una solución innovadora que permita a los ciudadanos monitorear su consumo de agua en tiempo real, identificar fugas y recibir alertas y recomendaciones personalizadas para optimizar su uso. Para lograrlo, se propone el desarrollo de una aplicación móvil que se conectará a sensores IoT de flujo de agua ya disponibles en el mercado, facilitando la recopilación y análisis de datos sobre el consumo en el hogar.

El sistema se diseñará para ser compatible con distintos modelos de sensores IoT, asegurando su accesibilidad para los usuarios sin necesidad de modificaciones complejas en la infraestructura de plomería. La aplicación procesará la información obtenida por los sensores y brindará al usuario reportes detallados, comparaciones con consumos similares y alertas cuando se detecte un gasto excesivo o inusual.

A nivel metodológico, el proyecto contempla la selección e integración de sensores IoT, el desarrollo de un sistema de procesamiento de datos basado en inteligencia artificial y la validación de su funcionalidad mediante pruebas piloto en hogares seleccionados.

1.3. Palabra clave

Monitoreo de agua, Internet de las cosas (IoT), inteligencia artificial (IA), consumo sostenible, aplicación móvil.

1.4. Abstract

Bogotá is currently facing a significant water crisis due to historically low levels in the Chingaza reservoir, the city's main source of potable water. In response to this issue, this project proposes the development of a mobile application that combines Internet of Things (IoT) technology and artificial intelligence (AI) to enable households to monitor and optimize their water consumption. The proposed solution integrates flow sensors and a predictive model to detect unusual consumption patterns, identify potential leaks, and generate personalized recommendations for responsible water use. The application offers real-time visualizations, alerts, and comparisons with other users, aiming to promote behavioral change and foster sustainability. The project includes the design of the system architecture, the implementation of a data processing model, user interface development, and the validation of the prototype through simulations and usability testing.

1.5. Keywords

Water monitoring, IoT, artificial intelligence, sustainable consumption, mobile application.

2. INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable es un desafío creciente en Bogotá, donde el embalse de Chingaza, principal fuente de abastecimiento para la ciudad ha experimentado una disminución alarmante en sus niveles, alcanzando apenas un 16,97% de su capacidad en 2024 (Alcaldía de Bogotá, 2024). Esta situación exigió la implementación de racionamientos y estrategias de ahorro, sin embargo, los ciudadanos no cuentan con herramientas que les permitan medir y optimizar su consumo en tiempo real, lo que dificulta la adopción de hábitos eficientes para el uso del agua.

Para abordar esta problemática, este proyecto propone el desarrollo de un sistema de monitoreo inteligente basado en IoT e inteligencia artificial, que permita a los hogares conocer su consumo de agua en tiempo real, detectar fugas y recibir alertas y recomendaciones personalizadas para optimizar su uso. A través de un dispositivo instalado en la red de tuberías del hogar, los datos serán enviados a una aplicación móvil, proporcionando información detallada y accesible para la toma de decisiones informadas.

La metodología de desarrollo contempla la implementación de sensores IoT, el diseño de una interfaz intuitiva para la visualización de datos en tiempo real y la aplicación de algoritmos de inteligencia artificial para analizar patrones de consumo. Además, se realizarán pruebas piloto en hogares seleccionados para validar la funcionalidad del sistema y medir su impacto en la reducción del desperdicio de agua.

Este proyecto busca generar un impacto positivo tanto a nivel individual como en la gestión del recurso hídrico en la ciudad, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y contribuyendo a una cultura de uso responsable del agua. A diferencia de los sistemas tradicionales de facturación mensual, esta solución brinda datos inmediatos y herramientas prácticas para que los ciudadanos puedan actuar de manera proactiva en la optimización de su consumo.

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

3.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema inteligente basado en IoT e inteligencia artificial que permita a los hogares de Bogotá monitorear y optimizar su consumo de agua en tiempo real, detectando fugas y promoviendo hábitos de ahorro a través de una aplicación móvil.

3.2. Objetivos Específicos

- Integrar sensores IoT de flujo de agua al sistema de monitoreo para medir el consumo en tiempo real, permitiendo a los usuarios conocer su gasto exacto y detectar posibles fugas a través de la aplicación móvil.
- Crear una aplicación móvil intuitiva y fácil de usar que permita visualizar el consumo de agua en tiempo real, generar alertas cuando se detecte un uso excesivo o una fuga, y ofrecer consejos prácticos de ahorro según los hábitos del usuario.
- Implementar algoritmos de inteligencia artificial que analicen los patrones de consumo y generen recomendaciones personalizadas, ayudando a los usuarios a reducir el desperdicio de agua sin afectar su calidad de vida.
- Desarrollar un sistema de comparación de consumo, permitiendo que los usuarios vean su uso del agua en relación con el promedio de hogares de su mismo sector o estrato, incentivando una mayor conciencia sobre el ahorro del recurso.
- Realizar pruebas piloto en hogares seleccionados para evaluar la precisión del sistema, la experiencia del usuario y el impacto real en la reducción del consumo de agua, ajustando la solución según los resultados obtenidos.
- Proponer estrategias de expansión y escalabilidad, explorando opciones para que la solución pueda implementarse en más hogares y evaluar su posible integración con entidades gubernamentales, empresas de acueducto y servicios públicos.

4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El agua es un recurso esencial para la vida, pero en Bogotá su disponibilidad está en riesgo. El embalse de Chingaza, principal fuente de abastecimiento para la ciudad ha alcanzado niveles alarmantemente bajos, descendiendo hasta un 16,97% en 2024, lo que llevó a la implementación de racionamientos en varias zonas de la capital (Alcaldía de Bogotá, 2024).

Esta crisis no solo es el resultado de factores climáticos como el Fenómeno de El Niño, sino también de un consumo doméstico ineficiente y la falta de herramientas que permitan a los ciudadanos monitorear y optimizar su uso del agua.

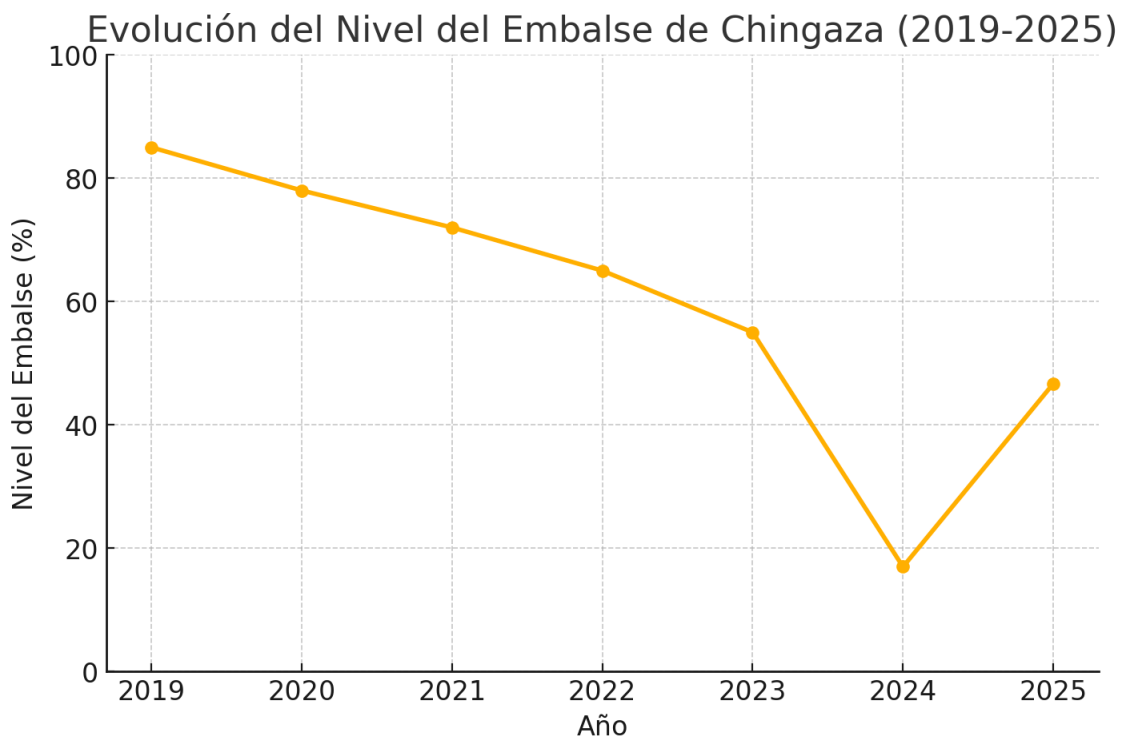


Figura 1. Evolución del nivel del embalse de Chingaza entre 2019 y 2025.

Fuente: *Elaboración propia con base en datos de la alcaldía de Bogotá y El País (2024-2025).*

Actualmente, las personas desconocen cuánta agua consumen diariamente. El sistema de facturación de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá solo proporciona datos de consumo mensual, lo que impide que los usuarios puedan detectar a tiempo fugas o excesos en su consumo. Sin información en tiempo real, las decisiones para reducir el uso del agua suelen ser reactivas en lugar de preventivas, lo que contribuye al desperdicio del recurso. Según

estudios, un grifo con fugas puede desperdiciar hasta 11.000 litros de agua al año, lo que equivale al consumo de una familia promedio durante varias semanas (World Water Report, 2023).

Si esta problemática no se aborda de manera efectiva, las consecuencias podrían ser aún más graves en el mediano y largo plazo. Si los niveles de los embalses continúan descendiendo y el consumo no se reduce, Bogotá podría enfrentar restricciones aún más severas, lo que afectaría la calidad de vida de sus habitantes y encarecería las tarifas del servicio de agua. En un escenario extremo, la ciudad podría vivir una crisis similar a la que experimentó Ciudad del Cabo en 2018, cuando la escasez de agua obligó a implementar racionamientos extremos y restringir el acceso al recurso a menos de 50 litros diarios por persona (World Water Report, 2019).

El problema radica en la falta de acceso a información inmediata sobre el consumo de agua en los hogares. A diferencia de otros servicios como la electricidad, donde los dispositivos inteligentes permiten monitorear el consumo en tiempo real, la gestión del agua sigue dependiendo de sistemas de medición tradicionales que no brindan retroalimentación oportuna a los usuarios. Esto impide la identificación temprana de fugas y dificulta la adopción de hábitos de ahorro eficientes.

Ante este panorama, se hace necesario implementar una solución que permita a los ciudadanos conocer su consumo de agua en tiempo real, recibir alertas sobre fugas o excesos y acceder a recomendaciones personalizadas para optimizar su uso. Para lograrlo, este proyecto propone el desarrollo de un sistema inteligente basado en tecnología IoT e inteligencia artificial, que ayude a cada hogar a gestionar su consumo de manera eficiente y contribuir a la conservación del recurso en la ciudad.

5. JUSTIFICACIÓN

El acceso al agua potable es un derecho fundamental, pero en Bogotá su disponibilidad se ha convertido en un problema crítico. La disminución de los niveles del embalse de Chingaza ha evidenciado la urgencia de adoptar medidas que permitan optimizar el consumo del recurso en los hogares. Sin embargo, actualmente no existen herramientas accesibles que permitan a los ciudadanos monitorear su uso del agua en tiempo real y tomar decisiones informadas para reducir desperdicios. Esta falta de control contribuye a un consumo ineficiente, lo que agrava la crisis hídrica y pone en riesgo el abastecimiento de agua a largo plazo.

Este proyecto es relevante tanto en el ámbito social como en el académico y tecnológico, ya que propone una solución innovadora que combina tecnología IoT e inteligencia artificial para ayudar a los ciudadanos a gestionar mejor su consumo de agua. A diferencia de las estrategias tradicionales de racionamiento, que imponen restricciones sin ofrecer alternativas de control a los usuarios, esta propuesta brinda herramientas personalizadas que empoderan a cada hogar para que participe activamente en la reducción del desperdicio de agua.

5.1. Beneficiarios del proyecto

- Hogares de Bogotá: Los ciudadanos podrán conocer su consumo en tiempo real, recibir alertas sobre fugas o uso excesivo y acceder a recomendaciones para optimizar su gasto de agua.
- Entidades gubernamentales y empresas de servicios públicos: El sistema permitirá recopilar datos sobre patrones de consumo, facilitando el diseño de estrategias más efectivas para la gestión del recurso hídrico en la ciudad.
- Sector académico y tecnológico: Este proyecto servirá como referencia para el desarrollo de soluciones inteligentes en el ámbito de la sostenibilidad, fomentando el uso de tecnologías emergentes para abordar problemas ambientales.

5.2. Aporte del proyecto frente a otras soluciones existentes

Actualmente, la gestión del agua en los hogares se basa en sistemas de medición tradicionales que solo reflejan el consumo mensual, lo que impide una acción inmediata para reducir el desperdicio. En algunas ciudades del mundo, se han implementado estrategias de monitoreo de consumo mediante medidores inteligentes, pero la mayoría están diseñados exclusivamente

para que las empresas de servicios públicos optimicen su distribución, sin proporcionar información útil para los ciudadanos.

A diferencia de estos enfoques, este proyecto ofrece una solución accesible y centrada en el usuario, donde cada hogar podrá visualizar su consumo en tiempo real, recibir alertas inmediatas y acceder a estrategias personalizadas de ahorro. Además, el uso de inteligencia artificial permitirá analizar patrones de consumo y generar recomendaciones adaptadas a las necesidades de cada usuario, lo que representa una evolución frente a las soluciones existentes en el mercado.

6. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

En esta sección, se presentan tres aspectos clave: la intención del producto, la verificación de parámetros de diseño y la estimación de características técnicas, con el fin de consolidar una solución práctica y efectiva para optimizar el consumo de agua en los hogares de Bogotá.

6.1. Intención del Producto

Desarrollar un sistema de monitoreo inteligente del consumo de agua en hogares de Bogotá, basado en sensores IoT y algoritmos de inteligencia artificial. La solución permitirá a los usuarios visualizar su consumo en tiempo real, recibir alertas sobre fugas o patrones anómalos y acceder a recomendaciones personalizadas para optimizar su uso del recurso hídrico.

A diferencia de los métodos tradicionales de facturación mensual, que solo reflejan el consumo acumulado sin ofrecer información detallada, esta solución proporciona datos inmediatos y accionables, permitiendo a los usuarios tomar decisiones informadas sobre su consumo de agua.

Para lograr esto, el sistema se compone de tres elementos principales:

- **Sensores IoT de flujo de agua:** Se integrarán sensores comerciales ya disponibles en el mercado, asegurando compatibilidad con el sistema sin necesidad de desarrollar hardware desde cero.
- **Aplicación móvil:** Servirá como interfaz principal para los usuarios, permitiéndoles acceder a sus datos de consumo, establecer alertas y recibir recomendaciones de ahorro.
- **Plataforma de procesamiento de datos:** Implementada en la nube, analizará patrones de consumo utilizando algoritmos de inteligencia artificial para generar información útil para los usuarios.

6.2. Restricciones del Proyecto

Para garantizar la viabilidad y efectividad del sistema propuesto, es fundamental considerar las restricciones que pueden afectar su implementación. Estas restricciones han sido evaluadas en función de su impacto en el desarrollo y la operación del sistema.

Tabla 1. Restricciones.

| Categoría de Restricción | Descripción y Consideraciones |
|--------------------------|--|
| Ambiental | <ul style="list-style-type: none">- Se seleccionaron sensores de bajo consumo energético para reducir el impacto ambiental.- Se minimiza la generación de residuos electrónicos al evitar el desarrollo de nuevos dispositivos. |
| Económica | <ul style="list-style-type: none">- Se optó por sensores IoT comerciales para reducir costos y evitar la necesidad de fabricación personalizada.- Se busca una solución accesible para todos los estratos socioeconómicos. |
| Social | <ul style="list-style-type: none">- La aplicación móvil debe ser intuitiva para diferentes niveles de alfabetización digital.- Se garantiza compatibilidad con diversas redes de conectividad en Bogotá. |
| Política y Legal | <ul style="list-style-type: none">- Cumplimiento con normativas de seguridad de datos (ISO/IEC 27001).- Consideración de normativas nacionales como RETIE para la instalación segura de dispositivos en viviendas. |
| Ética | <ul style="list-style-type: none">- Protección y privacidad de los datos personales del usuario mediante encriptación.- Transparencia en la recopilación y uso de la información. |
| Salud y Seguridad | <ul style="list-style-type: none">- Evitar interferencias con instalaciones eléctricas mediante el cumplimiento del RETIE.- Seguridad en la transmisión de datos en la nube para evitar riesgos de ciberataques. |

Fuente: Elaboración propia (2025).

6.3. Verificación de Parámetros de Diseño

Interoperabilidad:

- El sistema debe ser compatible con diferentes modelos de sensores IoT de flujo de agua.
- Prueba: Se validará la integración con al menos dos marcas de sensores disponibles en el mercado.

Precisión en la medición del consumo de agua:

- Los datos registrados deben reflejar con exactitud el volumen de agua utilizado en el hogar.
- Prueba: Comparación entre los registros del sensor y mediciones manuales en un periodo de prueba.

Detección de fugas o consumos anómalos:

- El sistema debe ser capaz de identificar patrones de consumo inusuales y alertar al usuario.
- Prueba: Se simularán escenarios con fugas controladas para evaluar la capacidad de detección.

Seguridad y privacidad de los datos:

- Toda la información capturada y almacenada debe cumplir con estándares de seguridad y privacidad de datos.
- Prueba: Se realizarán pruebas de seguridad en la transmisión y almacenamiento de datos en la nube.

Experiencia del usuario en la aplicación móvil:

- La interfaz debe ser intuitiva y accesible para usuarios con distintos niveles de alfabetización digital.
- Prueba: Se llevará a cabo un test de usabilidad con un grupo de usuarios seleccionados.

Eficiencia energética del sensor IoT:

- El consumo energético del sensor debe ser mínimo para garantizar su funcionamiento prolongado sin necesidad de reemplazo frecuente de baterías.
- Prueba: Evaluación de autonomía en distintas condiciones de uso.

Plataforma de Procesamiento de Datos:

- Capacidad de procesamiento: La plataforma debe ser capaz de analizar y procesar datos en tiempo real sin generar latencias superiores a 2 segundos.
- Escalabilidad: Debe permitir la conexión simultánea de al menos 100 usuarios en la fase piloto sin afectar el rendimiento.
- Seguridad de los datos: Implementación de protocolos de cifrado para garantizar la privacidad y protección de la información de los usuarios. Además, se contempla el uso de prácticas alineadas con la norma ISO/IEC 27001, así como mecanismos de encriptación tanto en tránsito como en almacenamiento, para asegurar la confidencialidad del historial de consumo en todo el flujo de datos del sistema.
- Prueba de carga: Simulación de múltiples conexiones concurrentes para evaluar el rendimiento del procesamiento de datos en la nube.
- Prueba de latencia: Medición del tiempo de respuesta de la plataforma desde la recepción de datos del sensor hasta la visualización en la aplicación móvil.
- Prueba de seguridad: Validación del cifrado de datos mediante auditorías de seguridad y test de penetración.

6.4. Estimación de Características de Diseño o Especificaciones del Producto

A continuación, se presentan las principales características técnicas estimadas para cada componente del sistema.

Sensores IoT de Flujo de Agua

- Tipo: Sensores de caudal con conectividad WiFi o Bluetooth.
- Precisión de medición: $\pm 5\%$ del volumen total de agua utilizada.
- Frecuencia de transmisión de datos: Cada 5 segundos (ajustable según configuración).
- Consumo energético: Baja potencia, con una autonomía mínima de 6 meses con batería estándar.
- Compatibilidad: Integración con diferentes marcas de sensores comerciales.

Aplicación Móvil

- Plataforma: Android e iOS.
- Interfaz: Diseño intuitivo y adaptable a distintos perfiles de usuario.
- Notificaciones: Alertas en tiempo real sobre consumo excesivo o fugas detectadas.

- Personalización: Configuración de objetivos de consumo y recomendaciones personalizadas.

Plataforma de Procesamiento de Datos

- Base de datos: Almacenamiento en la nube con encriptación de datos.
- Algoritmos de IA: Análisis de patrones de consumo para detección de anomalías.
- Tiempo de respuesta: Inferior a 1 segundo en la visualización de datos.
- Seguridad: Protección de datos según normativas de privacidad vigentes.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Introducción

El agua es un recurso vital para la vida y su gestión eficiente se ha convertido en un desafío clave en el contexto urbano actual. La problemática del consumo de agua en Bogotá requiere de estrategias innovadoras que permitan optimizar su uso y minimizar el desperdicio. En este contexto, la integración de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA) ha demostrado ser una solución efectiva para el monitoreo y optimización del recurso hídrico (Parra-López, 2025).

Este marco teórico tiene como objetivo analizar los principales enfoques y modelos que sustentan el uso de tecnologías avanzadas en la gestión del agua, fundamentando la investigación en bases científicas y académicas. Además, se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con el Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento, el cual plantea la necesidad de garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible para todos (ONU, s. f.).

7.2. Fundamentos de la Gestión del Agua

7.2.1. Problemática del Agua en Entornos Urbanos

El acceso al agua potable y su gestión eficiente es una problemática creciente a nivel global. En el contexto de Bogotá, la sobreexplotación de fuentes hídricas y la falta de sistemas de monitoreo en tiempo real han agravado la crisis hídrica (Kardos, 2025). Según este autor, la contaminación por fuentes puntuales, como aguas residuales municipales y microcontaminantes, ha reducido significativamente la calidad del agua. Esta situación ha llevado a que ciudades en Europa implementen directivas estrictas sobre el tratamiento y gestión del agua para mitigar su impacto ambiental.

Colmenárez y Salazar (2016) plantean que la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) es un enfoque clave en la administración del agua, basado en la interdependencia entre los diferentes usos y fuentes del recurso hídrico. Según estos autores, la aplicación efectiva de este modelo requiere una combinación de regulaciones, capacitación institucional y un marco legal adecuado que garantice la sostenibilidad a largo plazo.

Asimismo, según la ONU (s. f.), dentro de las Metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, se establece que para 2030 se debe aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos

hídricos y asegurar la sostenibilidad de su extracción y abastecimiento, reducir la contaminación del agua y mejorar su calidad a nivel mundial.

7.2.2. Estrategias Actuales de Gestión del Agua

Diversos modelos han sido aplicados para mejorar la eficiencia del uso del agua. En particular, la integración de sensores inteligentes y sistemas de analítica avanzada ha permitido optimizar los procesos de distribución y consumo. Parra-López (2025) destaca que los sensores inteligentes (Smart Sensors - SS) y el IoT han emergido como herramientas clave para proporcionar datos en tiempo real sobre el consumo hídrico, facilitando la toma de decisiones informadas.

7.3. Tecnologías para el Monitoreo y Optimización del Consumo de Agua

7.3.1. Internet de las Cosas (IoT) y Sensores Inteligentes

El Internet de las Cosas (IoT) ha demostrado ser una solución efectiva en la gestión inteligente del agua, permitiendo la recolección y análisis de datos en tiempo real (Parra-López, 2025). Los sensores inteligentes permiten medir parámetros ambientales como humedad del suelo, temperatura y niveles de precipitación, lo que facilita una gestión eficiente del recurso hídrico.

Llaneza González (2018) destaca que las ciudades inteligentes dependen de sensores IoT para la recopilación de datos en tiempo real, lo que permite optimizar el uso del agua y mejorar la eficiencia en su distribución.

7.3.2. Inteligencia Artificial Aplicada a la Gestión del Agua

El uso de Inteligencia Artificial (IA) en la optimización del consumo de agua ha permitido desarrollar modelos predictivos que ayudan a identificar patrones de consumo, detectar anomalías y reducir el desperdicio (Huang, 2025). La aplicación de algoritmos de aprendizaje automático (Machine Learning) y redes neuronales ha sido fundamental en la creación de modelos de gemelos digitales urbanos, facilitando la toma de decisiones basada en datos.

Bosch Rué, Casas Roma y Lozano Bagén (2019) explican que el aprendizaje automático es esencial en la creación de modelos de optimización, permitiendo predecir tendencias y mejorar la gestión de los recursos hídricos de manera más eficiente.

7.3.3. Integración del Sistema: Aplicación, Análisis de Datos y Predicción

Para garantizar que el usuario pueda monitorear y optimizar su consumo de agua de manera efectiva, el sistema propuesto integra tres componentes principales: sensores IoT para la recopilación de datos, una plataforma de análisis basada en inteligencia artificial y una aplicación móvil para la visualización y toma de decisiones. Esta integración permite transformar datos crudos en información útil, brindando al usuario herramientas para reducir el desperdicio y mejorar su eficiencia en el uso del agua.

7.3.4. Flujo de la información y procesamiento de datos

El sistema funciona a través de un flujo estructurado de datos que permite el monitoreo del consumo de agua en tiempo real:

1. Captura de datos: Los sensores IoT instalados en las tuberías de los hogares registran el flujo de agua y envían la información a la nube en intervalos regulares.
2. Transmisión y almacenamiento: Los datos recopilados se envían a una plataforma en la nube, donde son almacenados y organizados en una base de datos segura.
3. Análisis con inteligencia artificial: Un modelo de Machine Learning procesa los datos para identificar patrones de consumo, detectar anomalías (fugas o consumos inusuales) y generar predicciones sobre el uso futuro del agua.
4. Visualización en la aplicación móvil: La información procesada es enviada a la aplicación móvil, donde el usuario puede monitorear su consumo en tiempo real y recibir alertas y recomendaciones personalizadas.

Este flujo garantiza que los datos capturados no solo sean accesibles para el usuario, sino que también sean interpretados de manera inteligente para facilitar la toma de decisiones y promover una gestión eficiente del agua.

7.3.5. Aplicación móvil como interfaz de usuario

La aplicación móvil desempeña un papel fundamental en la interacción entre el usuario y el sistema, permitiéndole acceder a información clave sobre su consumo de agua. Sus principales funcionalidades incluyen:

- Monitoreo en tiempo real: Visualización instantánea del consumo de agua registrado por los sensores IoT.

- Comparaciones de consumo: Comparación con hogares de características similares para incentivar el ahorro.
- Alertas y notificaciones: Advertencias sobre fugas detectadas o consumo inusualmente alto.
- Recomendaciones inteligentes: Sugerencias generadas por inteligencia artificial para optimizar el consumo.
- Historial y análisis de tendencias: Representación gráfica del consumo a lo largo del tiempo para identificar patrones y oportunidades de ahorro.

El diseño de la aplicación se enfocará en la simplicidad y facilidad de uso, asegurando que los usuarios puedan interpretar la información sin necesidad de conocimientos técnicos avanzados.

7.3.6. Modelos analíticos y predicciones

Para mejorar la experiencia del usuario y garantizar que la información proporcionada sea útil, el sistema utilizará modelos de inteligencia artificial para el análisis y predicción del consumo de agua. Entre los modelos aplicados se encuentran:

- Detección de anomalías: Algoritmos de Machine Learning identificarán patrones de consumo inusuales, alertando sobre fugas o sobreconsumos.
- Predicción de tendencias: Basándose en datos históricos, el sistema podrá anticipar el consumo futuro de un hogar y ofrecer estrategias de optimización.
- Recomendaciones adaptativas: El sistema generará sugerencias personalizadas dependiendo del perfil de consumo de cada usuario, promoviendo hábitos de ahorro.

El uso de inteligencia artificial permitirá que el sistema evolucione con el tiempo, aprendiendo de los hábitos de los usuarios para mejorar continuamente la precisión de las predicciones y la efectividad de las recomendaciones.

7.4. Modelos y Teorías Aplicadas

7.4.1. Estudios y Proyectos Previos sobre la Gestión Inteligente del Agua

El uso de tecnologías digitales en la gestión del agua ha sido una estrategia implementada en diversas ciudades alrededor del mundo con resultados exitosos. La integración de sensores IoT, inteligencia artificial y análisis de datos ha permitido optimizar el uso del recurso hídrico, reducir desperdicios y mejorar la eficiencia de los sistemas de abastecimiento. A continuación, se

presentan algunos casos de éxito que han servido como referencia para el desarrollo del presente proyecto.

Singapur: Digitalización y tecnología para un uso eficiente del agua

Singapur es un referente global en la gestión del agua gracias a su enfoque basado en la digitalización y automatización de los sistemas de abastecimiento. La ciudad ha desarrollado una infraestructura altamente eficiente que permite monitorear el consumo en tiempo real y optimizar la distribución del agua.

El gobierno de Singapur, a través de la Agencia Nacional del Agua (PUB), ha implementado redes de sensores inteligentes, análisis de datos en tiempo real y modelos predictivos para detectar fugas y pérdidas de agua antes de que se conviertan en problemas graves. Además, han desarrollado un sistema de pronóstico basado en inteligencia artificial que permite anticipar las necesidades de consumo y adaptar la distribución del recurso de manera eficiente (Centre, 2022).

Este modelo ha demostrado ser altamente efectivo, reduciendo significativamente las pérdidas de agua y asegurando un suministro sostenible para la población. La experiencia de Singapur demuestra que la digitalización es un factor clave para garantizar una gestión eficiente del agua, alineándose con la propuesta del presente proyecto.

Ciudad del Cabo, Sudáfrica: Crisis del "Día Cero" y respuesta tecnológica

En 2018, Ciudad del Cabo enfrentó una crisis hídrica sin precedentes, conocida como el "Día Cero", cuando la ciudad estuvo a punto de quedarse sin suministro de agua potable. En respuesta a esta crisis, se implementaron medidas de control estricto del consumo y se promovió el uso de tecnologías avanzadas para la gestión del agua.

Uno de los avances más significativos derivados de la crisis hídrica en Sudáfrica ha sido el desarrollo de soluciones tecnológicas basadas en el Internet de las Cosas (IoT), como respuesta a la urgente necesidad de mejorar la gestión del recurso hídrico. Investigadores del Future Water Institute de la Universidad de Ciudad del Cabo diseñaron un sensor inteligente de bajo costo, habilitado con IoT, para monitorear en tiempo real el flujo de agua en canales abiertos. Este dispositivo, adaptado a las condiciones ambientales y operativas de Sudáfrica, utiliza sensores sónica comerciales para medir la altura del agua, la cual se traduce en estimaciones de caudal. Los datos recolectados se transmiten casi en tiempo real a un servidor central, permitiendo una supervisión remota y precisa. Esta tecnología ha sido aplicada exitosamente en distintos

contextos, incluyendo la medición de aguas residuales grises, el modelamiento de drenaje urbano y la cuantificación de aguas lluvias, mostrando el enorme potencial del IoT para fortalecer la base de datos hidrológica del país y contribuir a una gestión más eficiente y sostenible del agua (Future Water Institute, 2022).

La crisis del agua en Ciudad del Cabo sirvió como un caso de estudio para otras ciudades, destacando la importancia de la tecnología en la prevención de desabastecimientos y en la promoción de un consumo más responsable del agua.

Barcelona, España: Inteligencia Artificial aplicada a la gestión hídrica

Barcelona ha sido pionera en la implementación de inteligencia artificial para la optimización del uso del agua, desarrollando modelos de análisis predictivo que permiten anticipar la demanda y detectar irregularidades en el consumo. A través del uso de sensores inteligentes y plataformas de datos avanzadas, la ciudad ha logrado reducir el desperdicio de agua y mejorar la eficiencia de su red de distribución.

Uno de los proyectos más destacados ha sido el desarrollo de un sistema de monitoreo en tiempo real, que permite detectar fugas y consumos anómalos de manera inmediata. Además, la inteligencia artificial ha sido utilizada para gestionar el riego en parques y jardines urbanos, optimizando el uso del agua según las condiciones climáticas y el estado del suelo (Nbsp;&Nbsp., 2025; Barcelona, 2024).

La experiencia de Barcelona demuestra que la combinación de IoT, Big Data e inteligencia artificial es una estrategia efectiva para mejorar la gestión del agua en entornos urbanos, lo que refuerza la propuesta del presente proyecto.

Aplicación de IA para reducir el agua no registrada en redes de distribución

En España, la empresa Aqualia, en colaboración con SDG Group, ha desarrollado un sistema basado en inteligencia artificial para reducir el agua no registrada (ANR). Este concepto hace referencia al agua que se pierde en el sistema de distribución debido a fugas, fraudes o errores de medición.

El modelo implementado por Aqualia utiliza algoritmos de aprendizaje automático para identificar patrones de consumo inusuales y detectar puntos de pérdida de agua en la red. Este enfoque ha permitido reducir las pérdidas de agua de manera significativa, optimizando la gestión del recurso y mejorando la eficiencia operativa de las empresas de abastecimiento (iAgua, 2025).

Este caso de éxito refuerza la importancia de utilizar modelos predictivos y análisis de datos para optimizar el consumo y minimizar el desperdicio de agua, principios fundamentales en la solución propuesta en este proyecto.

7.4.2. Modelos de Sostenibilidad y Eficiencia Hídrica

Los modelos de sostenibilidad hídrica proponen una gestión integral del recurso basada en el análisis de datos y tecnologías emergentes. Según Kardos (2025), la implementación de estrategias de eficiencia hídrica mediante el uso de IA e IoT ha demostrado ser clave para mejorar la calidad del agua y optimizar su consumo.

7.4.3. Algoritmos de Machine Learning para la Optimización del Agua

La aplicación de algoritmos de IA para la gestión del agua ha permitido desarrollar estrategias que optimizan la distribución del recurso en tiempo real. Según Huang (2025), la combinación de aprendizaje profundo (Deep Learning) y modelos de gemelos digitales urbanos ha fortalecido la capacidad de predicción y respuesta ante crisis hídricas.

7.4.4. Normativas y estándares aplicables

El desarrollo de soluciones tecnológicas para la gestión del agua debe cumplir con estándares y regulaciones que aseguren su eficiencia, seguridad y sostenibilidad. En el contexto de este proyecto, que involucra sensores IoT, análisis de datos en la nube e inteligencia artificial, es fundamental considerar normativas internacionales y nacionales que garanticen la calidad del sistema y la protección de la información de los usuarios.

Uno de los estándares más relevantes en la gestión sostenible del agua es la ISO 14046:2014, la cual establece directrices para la evaluación de la huella hídrica en productos, procesos y organizaciones (ISO, s. f.). La implementación de esta norma en el proyecto permitiría medir el impacto del consumo de agua en los hogares, fomentando estrategias de uso eficiente y reducción de desperdicio.

Por otro lado, debido a la recopilación y procesamiento de datos en la nube, es esencial cumplir con la ISO/IEC 27001:2022, un estándar internacional que define los requisitos para establecer un sistema de gestión de seguridad de la información (ISO, s. f.). Esta normativa garantizará que la información de los usuarios, incluyendo sus patrones de consumo de agua, sea almacenada y protegida adecuadamente, evitando riesgos de filtraciones o accesos no autorizados.

A nivel nacional, en Colombia, es necesario considerar el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), el cual establece requisitos de seguridad para la instalación de dispositivos electrónicos en redes de distribución eléctrica y sistemas interconectados (MinEnergía, s. f.). Aunque el sensor IoT utilizado en este proyecto operará con baterías de bajo consumo, su instalación en hogares debe cumplir con los lineamientos del RETIE para evitar interferencias con otros dispositivos eléctricos y garantizar la seguridad de los usuarios.

7.5. Estado del Arte

7.5.1. Estudios y Proyectos Previos sobre la Gestión Inteligente del Agua

Investigaciones recientes han demostrado la efectividad del IoT y la IA en la optimización del consumo de agua. Parra-López (2025) destaca el uso de sensores inteligentes para la gestión de riego en la agricultura, lo que podría adaptarse a entornos urbanos para mejorar el uso del agua en los hogares. Asimismo, Huang (2025) enfatiza el papel de los gemelos digitales urbanos en la optimización del uso de recursos en ciudades inteligentes.

7.5.2. Limitaciones y Oportunidades

A pesar de los avances en tecnologías para la gestión hídrica, existen desafíos en la integración de estas soluciones a nivel urbano. Kardos (2025) señala que la regulación y adopción de nuevas tecnologías en la gestión del agua siguen siendo una barrera en muchas regiones. Sin embargo, la combinación de IA e IoT representa una oportunidad para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del recurso hídrico en el futuro.

8. ANÁLISIS DE RESTRICCIONES

En todo proyecto de ingeniería, el análisis de restricciones cumple un papel fundamental, ya que permite identificar los factores que limitan o condicionan las decisiones técnicas, económicas y operativas del equipo de trabajo. Estas restricciones definen el marco dentro del cual es viable proponer una solución efectiva al problema planteado.

Según Gutiérrez de Mesa (2009), las restricciones son aquellos factores que limitan las opciones del equipo de desarrollo y que suelen estar impuestos por el cliente o por la dirección del proyecto. Estas limitaciones pueden abarcar desde el lenguaje de programación que se debe utilizar, el hardware disponible, la experiencia del personal, hasta las fechas límite de entrega. Por su parte, Dharma Consulting (2023) complementa que estas restricciones no solo están ligadas al tiempo o los recursos, sino que también pueden incluir limitaciones tecnológicas, de alcance o normativas, y que deben ser claramente identificadas y gestionadas desde la etapa de planificación del proyecto.

En este contexto, el sistema inteligente de monitoreo del consumo de agua en Bogotá debe responder a una serie de restricciones que han sido cuidadosamente analizadas para garantizar su viabilidad. Identificar estos factores desde el inicio permite orientar el diseño hacia una solución realista, efectiva y alineada con el entorno social, económico y normativo en el que se implementará.

8.1. Limitaciones identificadas

A continuación, se analizan las principales barreras y limitaciones identificadas para este proyecto:

a. Restricciones ambientales

La solución propuesta debe ser coherente con los lineamientos ambientales vigentes en Colombia y promover el uso responsable de los recursos. Se priorizó el uso de sensores IoT de bajo consumo energético y sin sustancias contaminantes, descartando opciones que implicaran el desarrollo de nuevos dispositivos que pudieran generar residuos electrónicos innecesarios. Además, se evita cualquier tipo de intervención que implique vertimientos o modificación de infraestructuras hídricas, ajustándose a las normativas del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

b. Restricciones económicas

La decisión de utilizar sensores IoT comerciales en lugar de desarrollar uno propio obedece a restricciones de tiempo y recursos disponibles. La implementación debe ser económicamente viable, tanto para el grupo desarrollador como para los hogares que adopten el sistema. Por eso, se ha considerado el uso de dispositivos asequibles y de fácil instalación. Asimismo, se analizó el contexto macroeconómico actual del país, priorizando soluciones con bajo costo operativo y sin dependencia de tecnologías costosas o importadas con alta carga tributaria.

c. Restricciones sociales y culturales

Uno de los retos principales es la adopción de tecnologías nuevas por parte de la población. Por ello, la interfaz de la aplicación debe ser intuitiva y adaptada a diferentes niveles de alfabetización digital. También se consideró la necesidad de generar confianza en el manejo de datos personales, especialmente en sectores donde existe desconfianza frente a soluciones tecnológicas. Además, se buscó no alterar significativamente los hábitos de consumo, sino complementarlos con recomendaciones amigables y personalizadas.

d. Restricciones legales y normativas

El proyecto debe cumplir con las normas nacionales e internacionales en cuanto a privacidad de los datos (ISO/IEC 27001) y seguridad eléctrica (RETIE). No se contempla la modificación de la red de acueducto domiciliaria, lo cual evita la necesidad de licencias complejas. Sin embargo, cualquier instalación debe respetar las regulaciones locales sobre manipulación de servicios públicos y conexión de dispositivos a la red interna del hogar.

Adicionalmente, en el contexto colombiano, la gestión del recurso hídrico está regulada por normativas como el Decreto 1076 de 2015 (Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible), que establece lineamientos sobre el uso eficiente y ahorro del agua, así como los permisos requeridos para la instalación de sistemas de monitoreo. Aunque el prototipo planteado en este proyecto no interfiere directamente con redes de acueducto oficiales, es clave considerar este marco regulatorio en caso de escalar la solución o integrarla a programas institucionales.

e. Restricciones de salud y seguridad

Se priorizó la seguridad de los usuarios en todos los aspectos del diseño. Por ello, se evita el uso de dispositivos que interfieran con la instalación eléctrica o que requieran perforaciones

o conexiones complejas. Los sensores seleccionados funcionan con baterías o energía de bajo voltaje, reduciendo al mínimo el riesgo eléctrico o de manipulación. Asimismo, el sistema cumple con estándares de transmisión segura de datos para evitar vulnerabilidades que puedan comprometer la información de los usuarios.

f. Restricciones políticas y estructurales

El proyecto no depende directamente de una intervención gubernamental para su implementación, lo que lo hace más ágil y autónomo. Sin embargo, se tuvo en cuenta que en el marco de políticas públicas de sostenibilidad y cambio climático, como el Plan Distrital de Desarrollo y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), este tipo de soluciones pueden recibir respaldo institucional o incluso ser integradas en estrategias de uso eficiente del agua.

Lejos de representar un obstáculo, las restricciones identificadas en este proyecto se entienden como una oportunidad para innovar con mayor enfoque y responsabilidad. La ingeniería no consiste únicamente en crear soluciones nuevas, sino en hacerlo dentro de las condiciones reales del entorno: económicas, sociales, legales y ambientales. En este sentido, las limitaciones funcionan como un marco que guía las decisiones, promoviendo el uso eficiente de los recursos y orientando la creatividad hacia soluciones viables, sostenibles y adaptadas al contexto local.

Este enfoque se alinea con la Teoría de las Restricciones (TOC), que sostiene que todo sistema está condicionado por limitaciones que afectan directamente su rendimiento. Lejos de ser ignoradas, estas deben ser gestionadas estratégicamente para mejorar la eficiencia y el valor de las soluciones propuestas (Naor, Bernardes & Coman, 2012). Desde esta perspectiva, nuestro proyecto prioriza decisiones que maximizan el impacto dentro de los límites existentes, como el uso de sensores comerciales accesibles, el aprovechamiento de tecnologías ya probadas y la creación de una solución centrada en el usuario final.

Además, tal como señala Zahora-Pérez (2021), en un entorno cada vez más condicionado por los procesos de digitalización y la transición hacia una Industria 4.0, es indispensable repensar los riesgos y oportunidades que rodean a todo proyecto tecnológico. Anticiparse a estas restricciones, gestionarlas desde el diseño y convertirlas en impulsores de innovación se vuelve una competencia clave en la dirección de proyectos. En consecuencia, este proyecto asume una visión integral que reconoce las limitaciones no como barreras, sino como puntos de partida para desarrollar soluciones de alto valor social, tecnológico y ambiental.

9. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

9.1. Tipo de Investigación

Este proyecto corresponde a una investigación aplicada, ya que busca dar solución a una problemática concreta y actual: el consumo ineficiente de agua en los hogares de Bogotá. A partir del análisis de esta situación, se pretende desarrollar una solución tecnológica basada en el uso de sensores IoT, inteligencia artificial y análisis de datos, para monitorear el consumo de agua en tiempo real y generar recomendaciones personalizadas de ahorro.

Además, el enfoque del estudio es descriptivo y proyectivo. Por un lado, se describe el contexto actual de la crisis hídrica y los hábitos de consumo doméstico, apoyándose en datos reales, investigaciones y fuentes oficiales. Por otro, se proyecta una solución innovadora que plantea un modelo funcional, simulado y adaptable a futuro, con posibilidad de ser escalado e implementado en entornos reales.

9.2. Enfoque metodológico

El proyecto adopta un enfoque metodológico mixto, integrando tanto métodos cualitativos como cuantitativos, lo cual permite abordar el problema desde una perspectiva más amplia, profunda y equilibrada. Esta combinación resulta especialmente útil en investigaciones aplicadas como la presente, donde no solo se busca construir una solución tecnológica funcional, sino también comprender su impacto, aceptación y sostenibilidad en contextos reales.

Desde el enfoque cualitativo, se plantea una revisión documental exhaustiva que abarcará antecedentes académicos, normativas locales e internacionales, casos de éxito implementados en otras ciudades y estudios especializados sobre consumo hídrico y tecnologías emergentes. Esta base conceptual será clave para contextualizar la problemática, sustentar el diseño de la solución y orientar estratégicamente su desarrollo. Además, se diseñarán encuestas y entrevistas exploratorias dirigidas a usuarios potenciales, que permitirán captar percepciones, hábitos, barreras y motivaciones frente al uso eficiente del agua y la incorporación de tecnologías en el hogar.

Por su parte, el enfoque cuantitativo permitirá validar el funcionamiento del prototipo mediante la generación de datos sintéticos, aplicando simulaciones que representen distintos perfiles de

consumo. Estos datos se utilizarán para probar los algoritmos de machine learning y medir el rendimiento del sistema. Como señala Guerrero Dávila (2015), la investigación cuantitativa facilita la contrastación de hipótesis a través de herramientas estadísticas, permitiendo así sustentar las conclusiones sobre una base verificable.

En este sentido, la combinación de ambos enfoques no es solo conveniente, sino necesaria. Tal como lo indica Niño Rojas (2019), aunque a menudo se perciben como opuestos, lo cuantitativo y lo cualitativo se complementan más de lo que se excluyen. Incluso en disciplinas científicas tradicionalmente asociadas a un enfoque específico, el uso mixto ha demostrado ofrecer resultados más robustos y contextualizados. En palabras del autor, la investigación cualitativa busca profundidad más que amplitud, centrándose en comprender a fondo casos particulares, mientras que la investigación cuantitativa ofrece la posibilidad de generalizar hallazgos a partir de patrones estadísticos confiables.

Así, esta estrategia metodológica mixta permitirá no solo construir una solución funcional desde la ingeniería, sino también entender su aplicabilidad real, su recepción por parte de la ciudadanía y las oportunidades de mejora a partir de la retroalimentación recogida en campo.

9.3. Proceso de la selección de la solución

Inicialmente, se consideró la posibilidad de desarrollar desde cero un sensor IoT para medir el flujo de agua en los hogares. Sin embargo, esta alternativa fue descartada por implicar altos costos de desarrollo, limitaciones de tiempo (el proyecto debe ejecutarse en menos de 3 meses), y por los riesgos técnicos asociados a la calibración e implementación de sensores en instalaciones domiciliarias. Esto evidenció la necesidad de adoptar una opción más viable y enfocada en el valor agregado del sistema, sin comprometer la seguridad ni los recursos del proyecto.

9.3.1. Comparación con soluciones existentes

Se investigaron experiencias exitosas en otras ciudades que enfrentaron crisis hídricas similares, como Ciudad del Cabo, Singapur y Barcelona. En estos casos se implementaron soluciones basadas en sensores inteligentes comerciales, plataformas digitales y modelos de IA para gestión del consumo (Centre, 2022; Naor et al., 2012; iAgua, 2025). Esta revisión permitió evidenciar que el mayor impacto positivo se logró no por la invención de nuevas tecnologías, sino por la integración eficiente de tecnologías existentes adaptadas al contexto local.

9.3.2. Selección de la alternativa más adecuada

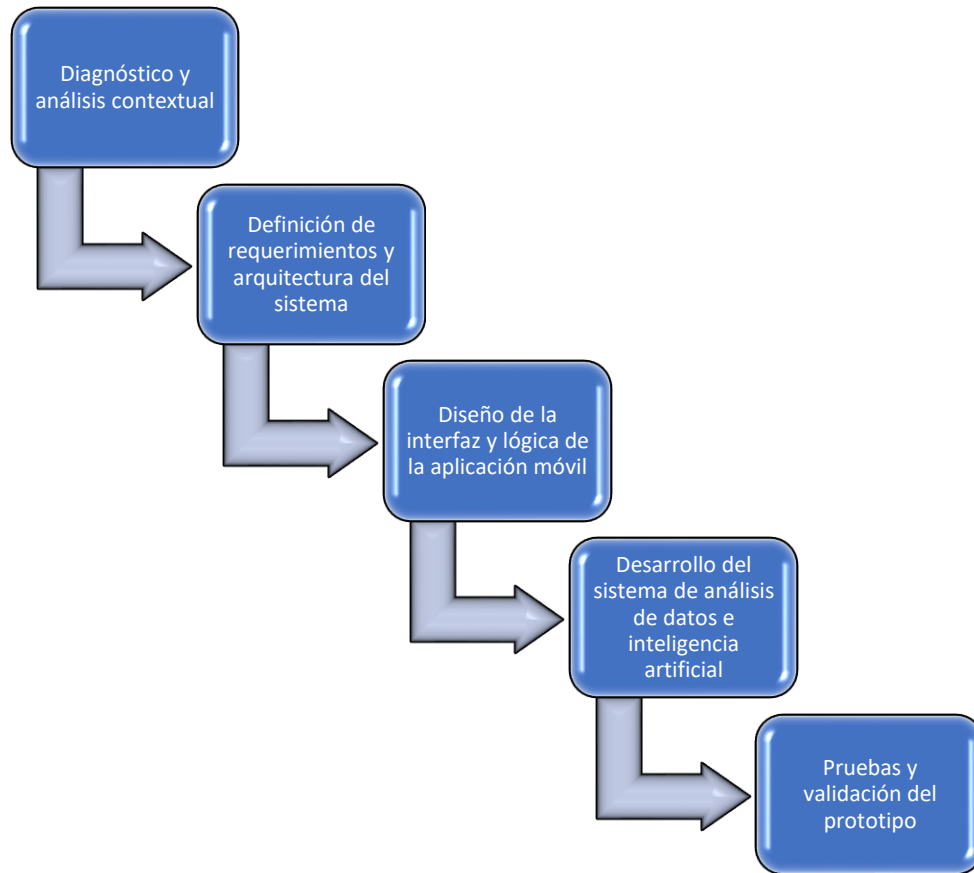
Como resultado del análisis, se seleccionó como alternativa principal una solución compuesta por:

- Un sensor IoT comercial de bajo costo y fácil instalación, que pueda integrarse a las tuberías del hogar para medir caudal.
- Una aplicación móvil, desarrollada a medida, que permita visualizar en tiempo real los datos de consumo, generar alertas y ofrecer recomendaciones personalizadas mediante algoritmos de inteligencia artificial.
- Un sistema de procesamiento en la nube, donde se analizarán los patrones de consumo y se ejecutarán modelos de machine learning para detección de anomalías y predicciones futuras.

Esta alternativa permite al proyecto concentrarse en el desarrollo del software, la inteligencia del sistema y la experiencia del usuario, lo que representa un enfoque más estratégico, escalable y sostenible.

9.4. Etapas del proyecto

El desarrollo del proyecto se estructura en cinco fases progresivas, cada una de ellas diseñada para cumplir con los objetivos específicos y garantizar la viabilidad técnica, funcional y social del sistema. En la siguiente descripción, se mencionan las etapas del proceso:



9.4.1. Fase 1: Diagnóstico y análisis contextual

Toda solución de ingeniería que aspire a ser pertinente y efectiva debe partir de una comprensión profunda del contexto en el que será implementada. En esta primera fase del proyecto, se busca analizar de manera integral el problema del consumo de agua en Bogotá, desde una perspectiva técnica, ambiental y social. Este diagnóstico inicial permite no solo delimitar con claridad el alcance de la problemática, sino también establecer una base sólida para el diseño de la solución.

El análisis contextual incluye una revisión documental del estado actual de los embalses y del comportamiento de consumo hídrico en los hogares bogotanos, así como el estudio de referentes exitosos que ya han implementado tecnologías IoT e inteligencia artificial en la gestión del recurso hídrico, tanto a nivel nacional como internacional. Paralelamente, se proyecta la realización de encuestas breves dirigidas a potenciales usuarios, que permitan identificar percepciones, hábitos de consumo y apertura hacia el uso de herramientas tecnológicas para el ahorro del agua.

Finalmente, como resultado de esta fase se recopilarán los requerimientos funcionales y no funcionales que deberá cumplir la solución, sentando las bases para las fases de diseño y desarrollo posteriores.

9.4.2. Fase 2: Definición de requerimientos y arquitectura del sistema

Una vez contextualizado el problema, esta fase se enfoca en traducir las necesidades detectadas en especificaciones técnicas claras y factibles, que guíen el diseño y desarrollo de la solución. Para lograrlo, se definen los componentes fundamentales del sistema y su forma de interacción, incluyendo tanto el hardware como el software.

Este proceso implica seleccionar un sensor IoT comercial adecuado, diseñar la arquitectura conceptual de recolección, transmisión y visualización de datos, y establecer los parámetros técnicos que garanticen el funcionamiento óptimo del sistema. También se identifican las variables clave a monitorear, que permitirán detectar patrones de uso, generar alertas y ofrecer recomendaciones inteligentes al usuario.

A continuación, se detallan los elementos contemplados en esta etapa:

- Selección del sensor IoT comercial a utilizar (por ejemplo, sensores de caudal como el YF-S201).
- Diseño conceptual de la arquitectura del sistema:
 - Sensor → Microcontrolador → Red WiFi → Servidor en la nube → Base de datos → Aplicación móvil.
- Definición de especificaciones del sistema:
 - Frecuencia de recolección de datos.
 - Estructura de almacenamiento.
 - Nivel de granularidad de los reportes.
- Identificación de variables clave: volumen de agua usado, horas pico, días de mayor consumo, umbrales de alerta, etc.

9.4.3. Fase 3: Diseño de la interfaz y lógica de la aplicación móvil

El diseño de una aplicación móvil efectiva no se limita a la estética visual, sino que responde a una necesidad concreta del usuario. Tal como señala Mejía Trejo (2023), una buena app es aquella que resuelve un problema real, mejora la vida cotidiana de sus usuarios o satisface una necesidad específica. En este proyecto, la aplicación busca precisamente eso: empoderar al

ciudadano a través del monitoreo del recurso hídrico en su hogar y el fomento de hábitos sostenibles.

Durante esta fase se abordará tanto el diseño visual (UX/UI) como la lógica de funcionamiento de la aplicación. La interfaz debe ser clara, amigable y accesible para diversos tipos de usuarios, facilitando la comprensión de los datos y promoviendo la interacción con las funcionalidades clave: visualización del consumo, recepción de alertas, acceso a recomendaciones personalizadas y comparación con otros hogares.

Por otro lado, la infraestructura tecnológica de la aplicación será soportada desde un entorno en la nube. Como indican Buitrago et al. (2019), el alojamiento en la nube no solo mejora la escalabilidad y seguridad del sistema, sino que reduce los costos operativos y evita las limitaciones asociadas al mantenimiento de hardware físico. Esta decisión permitirá ofrecer una app más robusta, confiable y capaz de adaptarse al crecimiento futuro del sistema.

A continuación, se presentan los elementos desarrollados en esta fase:

- Diseño UX/UI de la app con herramientas como Figma o Adobe XD.
 - Pantallas principales: consumo actual, histórico, comparativa con otros usuarios, recomendaciones personalizadas, alertas por consumo inusual.
- Programación de la app en Android Studio (Java o Kotlin).
 - Consumo de API REST para obtener datos desde el servidor.
 - Visualización gráfica con librerías como MPAndroidChart para mostrar los patrones de consumo.
 - Programación de notificaciones automáticas según reglas predefinidas.
- Maquetado inicial del front-end de la app con navegación básica.

9.4.3.1. Diseño de interfaz y navegación – Wireframe de la app

En el proceso de diseño de soluciones tecnológicas centradas en el usuario, como lo es esta aplicación móvil para el monitoreo del consumo de agua, el desarrollo de wireframes constituye un paso clave para definir la estructura visual y funcional de la interfaz. Estos esquemas permiten representar de forma preliminar la jerarquía de los elementos, la navegación entre pantallas y la lógica de interacción, antes de avanzar a etapas de programación más complejas.

El uso de wireframes resulta especialmente valioso porque facilita la comunicación entre los diferentes actores del proyecto: diseñadores, desarrolladores, usuarios y otros interesados. Según Almani y Alrwais (2024), los wireframes no solo funcionan como mapas visuales que

permiten visualizar cómo se organizará la información en pantalla, sino que también fomentan la colaboración y retroalimentación temprana con los usuarios. Al ser herramientas de bajo costo y fácil modificación, permiten realizar pruebas rápidas, detectar puntos de fricción y mejorar la experiencia de usuario desde las etapas iniciales del diseño.

A continuación, se presentan los bocetos funcionales (wireframes) del diseño inicial de la aplicación móvil. Estas pantallas fueron pensadas para ofrecer una navegación intuitiva, centrada en la experiencia del usuario, facilitando la visualización de datos, el acceso a recomendaciones y la recepción de alertas en tiempo real.

| Pantalla 1 - Inicio de la App | |
|--|---|
| La primera pantalla de la aplicación móvil está diseñada para brindar al usuario una vista rápida y clara de su consumo actual de agua. Su estructura se centra en la usabilidad, la visualización intuitiva y la posibilidad de actuar de manera informada. | |
| Esta pantalla incluye los siguientes elementos clave: <ul style="list-style-type: none">• Encabezado con saludo personalizado y acceso al menú lateral.• Indicador circular de consumo diario, que muestra en tiempo real el porcentaje utilizado frente al umbral sugerido según el perfil del hogar.• Gráfico de barras con historial de consumo de los últimos días (accesible desde un botón).• Estado del sistema: icono e indicador del estado general del sistema (por ejemplo: "Consumo normal" o "Consumo alto").• Botón de alerta rápida que se activa si se detecta una posible fuga o consumo anómalo. |  |

Figura 2. App Pantalla 1

- Botón para ver recomendaciones personalizadas basadas en el análisis del patrón de consumo.

Fuente: Elaboración propia (2025)

Pantalla 2 – Historial y Comparativas

La segunda pantalla de la aplicación está pensada para ofrecer al usuario una visión más profunda y analítica sobre su consumo de agua en el tiempo, permitiéndole comparar su comportamiento con el de otros hogares similares.

Esta vista incluye los siguientes componentes clave:

- Gráfico de barras que muestra el consumo diario de agua durante la última semana o mes, con opción de cambiar el rango temporal (semana, mes, año).
- Comparativa con promedio de usuarios similares: debajo del gráfico principal se presenta una línea de referencia o indicador que señala el promedio de consumo en la zona o en hogares con características similares.
- Filtro por periodo o tipo de visualización: botón para cambiar entre vista diaria, semanal o mensual.
- Leyenda explicativa con interpretación de colores (por ejemplo: verde = consumo eficiente, rojo = sobreuso).
- Índice ecológico personal: un pequeño medidor que califica el comportamiento del usuario respecto al uso eficiente del agua.



Figura 3. App Pantalla 2

Fuente: Elaboración propia (2025)

Pantalla 3 – Recomendaciones Inteligentes

Esta pantalla está diseñada para ofrecer al usuario sugerencias personalizadas que le permitan adoptar mejores prácticas en el uso del agua. Las recomendaciones se generan con base en el análisis de sus patrones de consumo y buscan fomentar hábitos sostenibles.

La pantalla incluye:

- Encabezado con el título “Recomendaciones inteligentes” y un ícono alusivo a ideas o tips (como una bombilla).
- Tarjetas visuales numeradas (Recomendación 1, 2 y 3) que se actualizan de forma dinámica según el comportamiento del usuario.
- Botón para marcar como “Realizada” que permite al usuario interactuar con las sugerencias y registrar mejoras en sus hábitos.
- Ejemplos de recomendaciones que pueden aparecer:
 - Reparar una fuga de agua detectada en el consumo nocturno.
 - Tomar duchas más cortas (máx. 5 minutos).
 - Cerrar la llave mientras se cepilla los dientes.

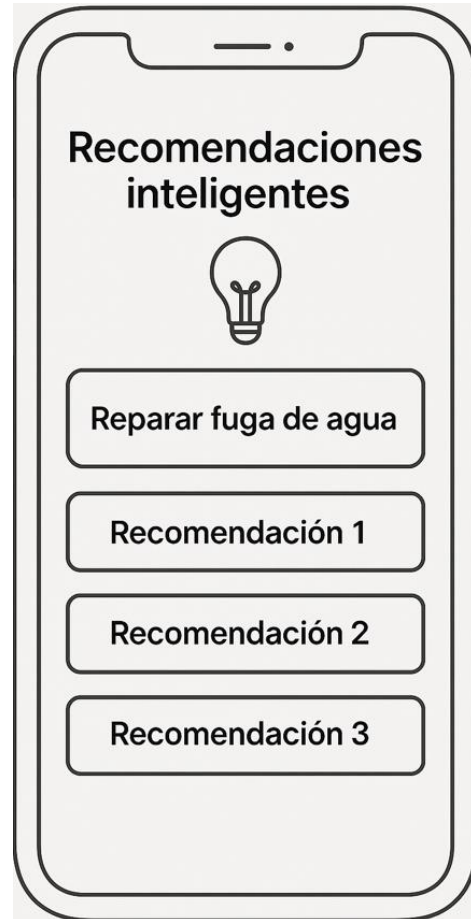


Figura 4. App Pantalla 3

Fuente: Elaboración propia (2025)

Pantalla 4 - Alertas

Esta pantalla cumple una función clave dentro de la aplicación, ya que permite al usuario recibir notificaciones relevantes sobre su consumo de agua en tiempo real. Está orientada a la detección temprana de anomalías, el seguimiento del estado del sistema hídrico y el refuerzo de hábitos responsables.

Lo que incluye:

- Encabezado con el título “Alertas” y un ícono de campana o advertencia.
- Tarjetas de alerta que se muestran en orden cronológico, destacando las más recientes.
- Colores diferenciados por nivel de urgencia:
 - **Críticas:** Ej. "Se detectó una posible fuga en horas no habituales"
 - **Moderadas:** Ej. "Consumo elevado esta semana respecto al promedio"
 - **Informativas:** Ej. "Nivel de embalses en la ciudad bajó al 42%"
- Acciones sugeridas dentro de cada tarjeta, como “Consultar recomendaciones” o “Ver tips de ahorro”.
- Indicador de estado global (tipo semáforo o barra), que refleja el estado del sistema en tiempo real: normal, alerta, crítico.



Figura 5. App Pantalla 4

Fuente: *Elaboración propia (2025)*

9.4.4. Fase 4: Desarrollo del sistema de análisis de datos e inteligencia artificial

Esta fase constituye el núcleo técnico del proyecto, ya que en ella se desarrollan las capacidades que permiten transformar los datos crudos en información útil para los usuarios. A través de un enfoque basado en datos, se busca dotar al sistema de herramientas de análisis y predicción que mejoren la toma de decisiones, tanto de manera automática como personalizada.

El proceso comienza con la recolección de datos y su almacenamiento estructurado en la nube, lo cual garantiza la escalabilidad, accesibilidad y seguridad de la información. A partir de allí, mediante el uso de scripts desarrollados en Python y el apoyo de librerías especializadas como Scikit-learn, se construyen modelos de inteligencia artificial que permiten identificar patrones de comportamiento hídrico, predecir el consumo futuro y detectar anomalías como fugas o sobreusos.

Estos modelos no solo buscan optimizar el uso del agua, sino también brindar una experiencia personalizada a los usuarios mediante recomendaciones inteligentes ajustadas a su perfil de consumo. Así, la tecnología se convierte en un puente entre la conciencia ambiental y la acción cotidiana, generando valor social y ecológico desde el uso responsable de los datos.

A continuación, se enumeran las acciones desarrolladas dentro de esta etapa:

- Creación de la base de datos en la nube (Firebase o MySQL en AWS). La elección de servicios en la nube como Firebase o MySQL sobre AWS responde a criterios de escalabilidad, disponibilidad continua, facilidad de integración con aplicaciones móviles y medidas de seguridad robustas, lo que garantiza estabilidad tanto para pruebas como para una eventual expansión del sistema.
- Desarrollo de scripts en Python para procesar los datos del sensor.
- Entrenamiento de modelos de Machine Learning con librerías como Scikit-learn:
 - Clustering de patrones de consumo (K-means) para perfilar usuarios.
 - Regresión lineal o árboles de decisión para predecir consumo futuro.
 - Detección de anomalías (fugas o picos) usando técnicas de outlier detection.
- Implementación de una lógica de envío de recomendaciones personalizadas con base en patrones detectados.

9.4.4.1. Pseudocódigo del algoritmo de IA

Para la etapa de procesamiento y análisis de datos, se implementará un modelo de inteligencia artificial capaz de detectar consumos anómalos en los hogares (como posibles fugas) y predecir el comportamiento futuro del usuario.

A continuación, se presenta un pseudocódigo representativo de la lógica implementada en el modelo desarrollado en Python:

```
# Pseudocódigo del sistema de IA para consumo de agua
```

Entrenamiento del modelo de predicción

```
def entrenar_modelo(datos_historicos):  
    limpiar_datos(datos_historicos)  
    seleccionar_variables_relevantes()  
    modelo = entrenar_regresion_lineal(datos_historicos)  
    return modelo
```

Predicción de consumo futuro

```
def predecir_consumo(modelo, datos_actuales):  
    consumo_estimado = modelo.predecir(datos_actuales)  
    return consumo_estimado
```

Detección de anomalías (como fugas o consumos atípicos)

```
def detectar_anomalias(consumo_real, consumo_estimado, umbral=1.5):  
    if consumo_real > consumo_estimado * umbral:  
        return "ALERTA: posible fuga detectada"  
    else:  
        return "Consumo normal"
```

Flujo completo

```
modelo = entrenar_modelo(dataset_historico)  
estimado = predecir_consumo(modelo, datos_usuario_actual)  
alerta = detectar_anomalias(datos_usuario_actual["consumo"], estimado)  
mostrar_resultado_en_app(alerta)
```

9.4.4.2. Diagrama de flujo de datos y arquitectura del sistema

El sistema propuesto para la gestión inteligente del consumo de agua se apoya en una arquitectura tecnológica distribuida, que permite la recopilación, procesamiento, análisis y visualización de los datos en tiempo real. Esta arquitectura se estructura en varios niveles que interactúan entre sí de manera fluida y segura.

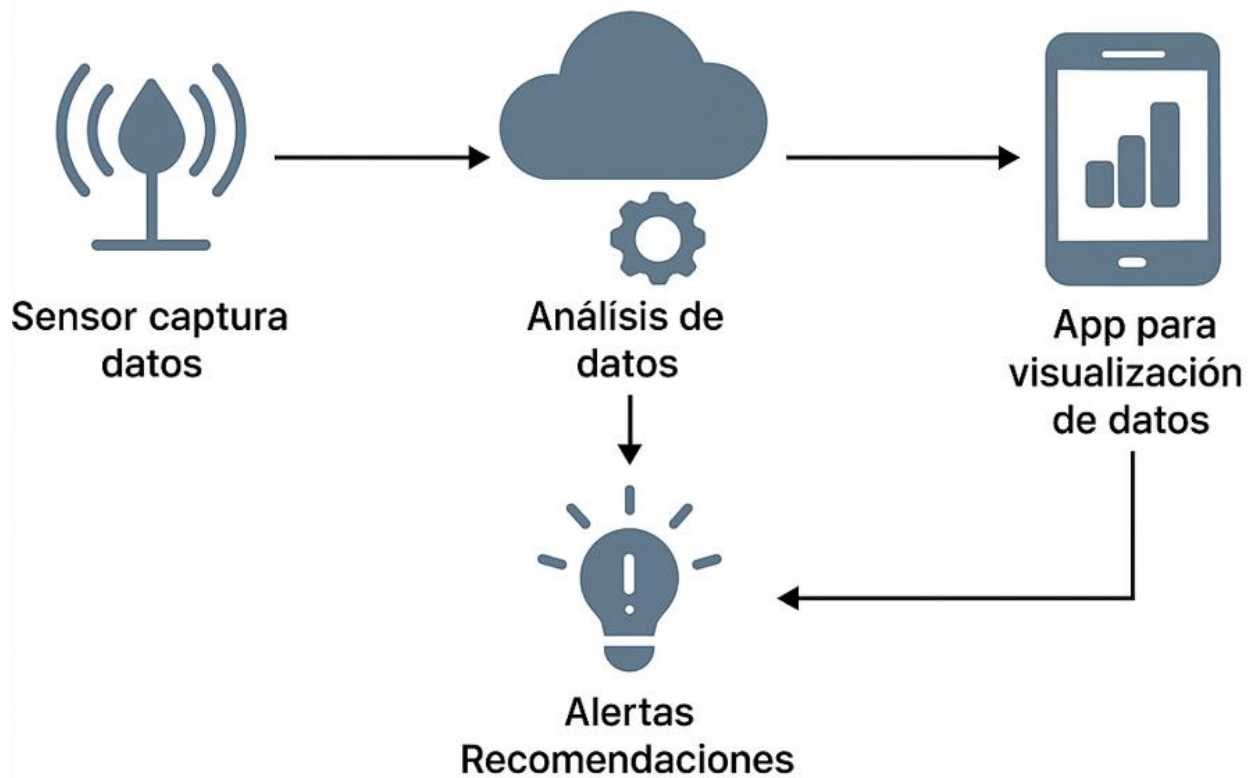


Figura 6. Diagrama de flujo de datos.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Descripción general del flujo de datos:

1. Captura de datos (IoT):

El proceso inicia en los hogares, donde un sensor inteligente de flujo de agua (IoT) previamente calibrado registra el consumo en tiempo real. Este sensor está ubicado en la entrada principal del sistema de tuberías de la vivienda.

2. Transmisión a la nube:

Los datos recopilados por el sensor se transmiten mediante una red inalámbrica (WiFi, LoRaWAN o red celular, dependiendo del entorno) hacia una plataforma en la nube que centraliza y almacena la información.

3. Procesamiento y análisis de datos:

En la nube, los datos son procesados por algoritmos de inteligencia artificial que permiten:

- Detectar patrones de consumo.
- Predecir comportamientos futuros.
- Identificar anomalías (como fugas o consumos inusuales). Estos modelos de Machine Learning son entrenados con datos históricos y ajustados periódicamente para mejorar su precisión.

4. Gestión de alertas y recomendaciones:

Cuando se detecta una anomalía o se supera un umbral de consumo, el sistema genera automáticamente alertas. También se generan recomendaciones personalizadas basadas en los hábitos del usuario y comparativas con hogares similares.

5. Visualización en la app móvil:

Toda la información procesada se presenta en tiempo real en la aplicación móvil del usuario. Allí se puede consultar:

- Consumo diario y mensual.
- Recomendaciones inteligentes.
- Alertas activas.
- Comparativas con promedios del sector o la zona.

6. Retroalimentación del usuario:

El usuario puede interactuar con la app marcando recomendaciones como realizadas, ajustando umbrales de consumo o reportando problemas. Esta información es devuelta al sistema y puede ser utilizada para refinar los modelos predictivos.

9.4.4.3. Estructura del modelo de Machine Learning

El diseño de un modelo de Machine Learning (ML) para esta solución representa uno de los pilares tecnológicos del sistema, ya que permite transformar datos de consumo de agua en conocimiento útil para la toma de decisiones. Un modelo de ML, en términos generales, puede entenderse como un software entrenado para reconocer patrones o comportamientos dentro de un conjunto de datos y responder de forma inteligente a ellos. Dependiendo de su tipo, este aprendizaje puede construirse mediante reglas deterministas o, como es más habitual en contextos complejos, a través de técnicas estadísticas que requieren una base sólida de datos históricos para su entrenamiento (Rodríguez Muiños & Sánchez Lasheras, 2022).

En este proyecto, el enfoque se basa en el aprendizaje supervisado, donde un modelo es alimentado con ejemplos etiquetados —es decir, datos de consumo asociados a contextos reales o simulados— con el objetivo de predecir comportamientos futuros o identificar consumos atípicos que puedan corresponder a fugas de agua. No obstante, la efectividad de cualquier algoritmo de este tipo depende en gran medida de la calidad y la preparación de los datos, tal como lo destacan Raschka y Mirjalili (2019), quienes subrayan que un preprocesamiento adecuado es esencial para obtener resultados confiables. Este proceso incluye el tratamiento de valores faltantes, la transformación de variables categóricas en formatos que el modelo pueda entender y la selección cuidadosa de las características más relevantes.

La estructura general de este modelo integra diferentes componentes, desde la recopilación de datos simulados, su procesamiento y limpieza, hasta la selección del algoritmo más eficiente para el problema planteado. Esta arquitectura busca no solo hacer predicciones precisas, sino también ser adaptable y escalable, permitiendo futuras mejoras conforme se obtenga información real desde el entorno operativo.

a. Objetivos del modelo:

- Predecir el consumo esperado de agua de un hogar según sus patrones históricos y variables contextuales.
- Detectar anomalías que puedan representar fugas, picos inusuales o uso atípico.
- Alimentar el motor de recomendaciones inteligentes con base en predicciones y comportamiento del usuario.

b. Estructura del modelo:

Tabla 2. Estructura del modelo y descripción.

| Componente | Descripción |
|----------------------------|--|
| Tipo de modelo | Modelo supervisado de regresión (Random Forest, XGBoost o redes neuronales simples) |
| Entradas (features) | <ul style="list-style-type: none"> - Día de la semana - Hora del día - Temperatura - Humedad ambiental - Nivel de embalse (información externa) |

| | |
|-------------------------------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> - Historial de consumo promedio - Tipo de vivienda (estrato, tamaño) |
| Variable objetivo | Litros de agua consumidos por hora/día |
| Técnicas de preprocesamiento | <ul style="list-style-type: none"> - Normalización de datos - Codificación de variables categóricas - Detección y manejo de valores atípicos |
| Entrenamiento y evaluación | División en datos de entrenamiento (70%) y prueba (30%) Evaluación con métricas como MAE, RMSE y R ² |
| Actualización del modelo | Retraining mensual con nuevos datos para mejorar la precisión y adaptabilidad |
| Salida del modelo | Predicción del consumo estimado y generación de bandera de “alerta” si hay una anomalía significativa |

Fuente: Elaboración propia (2025).

c. ¿Por qué este enfoque?

Se opta por un modelo supervisado porque se cuenta con datos históricos que permiten “enseñar” al algoritmo cómo es el comportamiento típico de un hogar. Además, al incorporar variables externas (como clima y estado del sistema hídrico), se mejora la precisión de las predicciones. La detección de anomalías basada en desviaciones del consumo estimado permite una reacción temprana ante fugas u otras situaciones críticas.

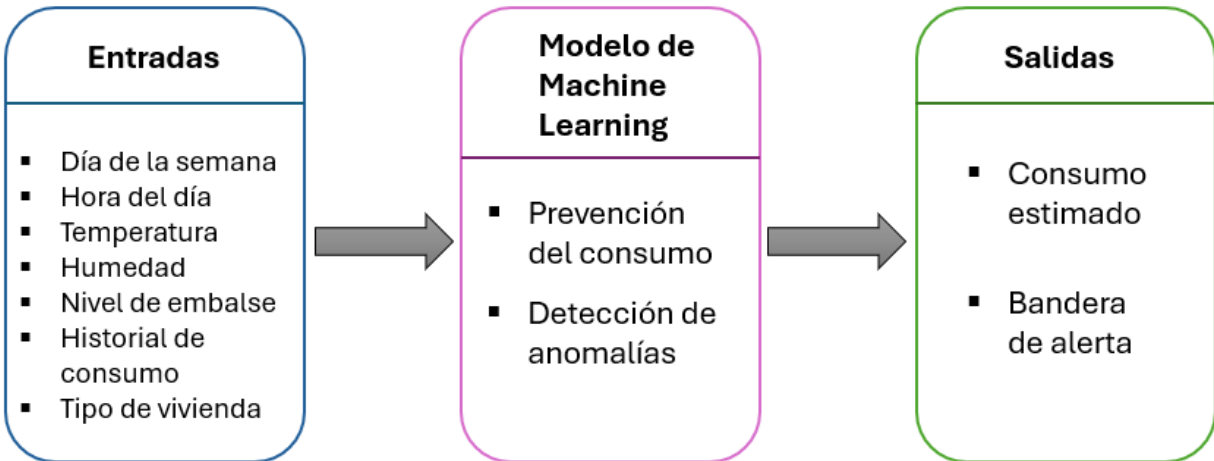


Figura 7. Estructura modelo Machine Learning.

Fuente: Elaboración propia (2025).

El esquema anterior ilustra la estructura general del modelo de Machine Learning implementado en el sistema. A partir de múltiples variables de entrada como el historial de consumo, datos climáticos y características de la vivienda, el modelo procesa la información mediante algoritmos de aprendizaje supervisado. El resultado permite no solo predecir el consumo esperado de agua, sino también identificar anomalías que puedan indicar fugas u otros comportamientos inusuales. Esta arquitectura facilita una toma de decisiones más eficiente y personalizada para cada usuario.

9.4.4.4. Dataset sintético de entrenamiento y validación

Antes de entrenar un modelo de inteligencia artificial, es fundamental contar con un conjunto de datos organizado, confiable y representativo. Estos conjuntos, conocidos como datasets, constituyen la base sobre la cual se construyen los análisis y predicciones del sistema. Un dataset no solo permite identificar patrones, visualizar comportamientos o realizar estadísticas descriptivas, sino que también es clave para alimentar modelos de aprendizaje automático que simulan escenarios reales y anticipan situaciones futuras. De acuerdo con Marcos (2024), los datasets cumplen múltiples funciones en los procesos de desarrollo tecnológico, desde el análisis de tendencias y la optimización de procesos hasta la validación de aplicaciones y la toma de decisiones basada en evidencia. En este proyecto, el uso de un dataset sintético se convierte en una solución estratégica para simular datos de consumo hídrico y validar el comportamiento del sistema incluso antes de contar con sensores físicos instalados.

Dado que el prototipo aún se encuentra en etapa de diseño, se ha generado un dataset sintético para simular el comportamiento del sistema y validar el funcionamiento preliminar de los algoritmos de análisis. Este conjunto de datos ha sido construido con base en fuentes reales de consumo promedio en Bogotá, comportamiento de usuarios y variables climáticas generales, respetando rangos plausibles para el contexto colombiano.

El dataset está compuesto por observaciones diarias por hogar, e incluye las siguientes variables:

Tabla 3. Dataset sintético con información simulada.

| Fecha | Hora | Consumo (L) | Temperatura (°C) | Humedad (%) | Tipo de vivienda | Nivel de embalse (%) | Alerta generada |
|------------|-------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 01/03/2025 | 07:00 | 48 | 12 | 75 | Aparta- mento | 42 | No |
| 01/03/2025 | 08:00 | 52 | 12 | 75 | Aparta- mento | 42 | No |
| 01/03/2025 | 23:00 | 150 | 11 | 80 | Aparta- mento | 42 | Si (consumo alto nocturno) |
| 02/03/2025 | 09:00 | 30 | 13 | 70 | Casa | 41 | No |

Fuente: *Elaboración propia (2025)*

Dado que el sistema aún no está implementado en condiciones reales, los datos presentados fueron generados de forma sintética a partir de rangos y comportamientos promedio reportados por fuentes confiables. Para construir este dataset, se tomaron como referencia los datos históricos de consumo publicados por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), así como registros meteorológicos disponibles en el IDEAM y estudios académicos sobre hábitos de consumo en hogares colombianos. Las variables fueron definidas para representar situaciones plausibles y diversas, y se incorporaron de manera equilibrada casos típicos, variaciones diarias y posibles anomalías. Esta simulación permite entrenar y validar el funcionamiento preliminar del modelo de Machine Learning, y servirá como base para futuras pruebas una vez se empiece a recolectar información real.

9.4.5. Fase 5: Pruebas y validación del prototipo

Una vez implementados los componentes fundamentales del sistema, resulta esencial asegurar que este funcione correctamente bajo distintos escenarios y que cumpla con los requerimientos establecidos. Esta fase tiene como objetivo principal verificar la calidad, coherencia e integridad funcional del prototipo, garantizando que los datos fluyan correctamente desde el sensor hasta la interfaz móvil del usuario.

En el desarrollo de software, esta etapa es conocida como parte del proceso de garantía de calidad, el cual no se limita únicamente a la validación técnica del sistema, sino que también implica una optimización continua de los procesos y la verificación de que el producto cumpla con las especificaciones definidas desde su diseño. Tal como lo exponen Castro Bermúdez, Solarte Martínez y Muñoz Guerrero (2019), la garantía de calidad implica una revisión constante de los procesos creados, de modo que el sistema entregue resultados funcionales y fiables en condiciones reales de uso, y el control de calidad actúa como una herramienta clave para identificar desviaciones o no conformidades.

Durante esta fase se llevarán a cabo las siguientes acciones específicas:

- Simulación del envío de datos desde un sensor virtual, utilizando scripts que emulan flujos de consumo hídrico en distintos escenarios (por ejemplo, consumo normal, fuga, y uso excesivo).
- Integración del flujo completo del sistema, asegurando la comunicación y el correcto funcionamiento entre los módulos: sensor virtual → base de datos → procesamiento de datos con IA → visualización en la aplicación móvil.
- Pruebas de funcionamiento en condiciones controladas, analizando el comportamiento del sistema con datos previamente conocidos, con el fin de validar el desempeño de los algoritmos y la respuesta de la interfaz.
- Recolección de retroalimentación cualitativa de un grupo pequeño de usuarios simulados, observando su experiencia durante la interacción con la app (claridad, usabilidad, comprensión de alertas y reportes).
- Ajustes iterativos en el diseño, incluyendo la interfaz móvil, el modelo de inteligencia artificial y los umbrales definidos para la emisión de alertas, con base en los resultados obtenidos durante la simulación.

Esta etapa será determinante para asegurar que la solución propuesta no solo funcione de manera técnica, sino que también sea comprensible, útil y aplicable en el contexto real al que está dirigida.

9.4.5.1. Pruebas de integración y tests automatizados

En esta etapa del proyecto, se plantea la implementación de pruebas automatizadas para validar el funcionamiento conjunto entre los diferentes módulos del sistema, desde la captura de datos hasta la visualización de alertas y recomendaciones en la app.

Se utilizarán frameworks como JUnit para pruebas unitarias del backend (procesamiento de datos e inteligencia artificial), y herramientas como Postman o Insomnia para verificar el correcto envío y recepción de datos vía API REST entre el sensor, la nube y la aplicación móvil.

También se implementará una prueba de integración básica que simula el siguiente escenario:

1. El sistema recibe un lote de datos desde un sensor simulado (JSON).
2. Se validan las estructuras de datos y se almacenan temporalmente en una base de datos local.
3. El algoritmo de IA procesa los datos, predice el consumo esperado y genera una alerta por anomalía.
4. La alerta es enviada a la app móvil, donde se verifica su correcta visualización.

Estas pruebas permiten detectar errores tempranos de conexión, formato o lógica de negocio, reduciendo significativamente los riesgos en etapas avanzadas del desarrollo. Además, sientan las bases para escalar a pruebas automatizadas más complejas en futuras fases del proyecto.

9.4.5.2. Flujo de validación del prototipo (Swimlane)

Con el fin de representar de forma clara y estructurada las etapas que componen el proceso de validación del prototipo propuesto, se ha desarrollado un diagrama de flujo tipo Swimlane, el cual permite visualizar cómo interactúan los distintos componentes del sistema, desde la captura de datos hasta la recepción de alertas por parte del usuario final.

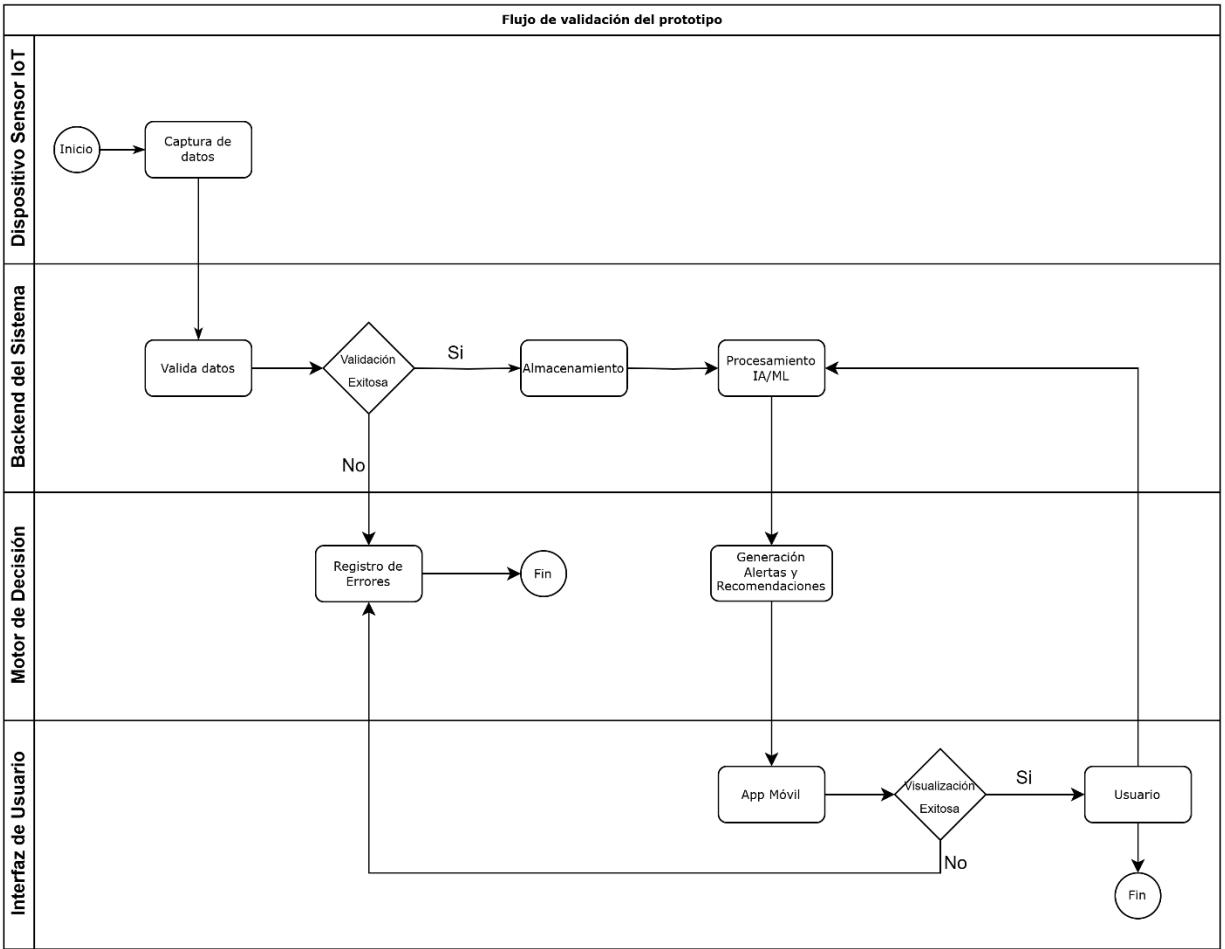


Figura 8. Flujo de validación del prototipo

Fuente: Elaboración propia (2025).

Este tipo de representación gráfica facilita el análisis de responsabilidades, ya que organiza las acciones en carriles que agrupan las tareas según el módulo o agente que las ejecuta. A continuación, se describen los carriles y su propósito:

- **Dispositivo Sensor / IoT:** este carril representa el punto de inicio del sistema, donde un sensor instalado en la red de agua de la vivienda simula la captura de datos de consumo en tiempo real.
- **Backend del Sistema (Servidor y Procesamiento):** aquí se realiza la validación estructural de los datos, el almacenamiento temporal y el procesamiento mediante algoritmos de inteligencia artificial. En esta fase se detectan patrones, anomalías o comportamientos fuera de lo habitual.

- **Motor de Decisión:** sobre la base del análisis, el sistema genera alertas personalizadas y recomendaciones inteligentes orientadas al ahorro de agua, la prevención de fugas o el ajuste de hábitos.
- **Interfaz de Usuario y Acción:** la aplicación móvil es la encargada de mostrar estos resultados al usuario. En esta última etapa, el usuario revisa la información, toma decisiones o puede incluso retroalimentar al sistema para mejorar futuras recomendaciones.

El diagrama también contempla posibles eventos de error o validación fallida, por ejemplo, si los datos generados no tienen el formato correcto, o si hay problemas en la visualización dentro de la aplicación. Estos escenarios están representados mediante decisiones condicionales que aseguran una respuesta adecuada ante fallos del sistema.

9.5. Instrumentos para recolección de información

Dado que esta investigación se estructura bajo un enfoque mixto —con predominancia del método cuantitativo correlacional y el apoyo de técnicas cualitativas para enriquecer la contextualización— se proyecta el diseño de un instrumento de recolección de datos tipo encuesta, elaborado con base en las variables definidas en el planteamiento metodológico. Esta encuesta será construida de forma original por el equipo investigador, tomando como referencia el análisis teórico previo y el objetivo central del estudio: evaluar el impacto de una aplicación móvil basada en IoT sobre el cambio de comportamiento en el consumo de agua en hogares bogotanos.

Para asegurar la validez del instrumento, se prevé una revisión detallada de los conceptos clave de las variables implicadas, de modo que los ítems sean coherentes, específicos y comprensibles, evitando ambigüedades o interpretaciones múltiples, tal como sugieren Pérez, Pérez y Seca (2020). En cuanto a la confiabilidad, se contempla la utilización de una escala tipo Likert de cinco puntos, la cual ha demostrado ser efectiva en la medición de actitudes y percepciones sociales, al presentar opciones de respuesta uniformes tanto de forma verbal como numérica (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2023).

9.5.1. Recolección de datos - Encuesta

La recolección de datos representa una etapa esencial del proceso investigativo, al proporcionar la evidencia empírica que permitirá contrastar la pregunta de investigación y validar o refinar las hipótesis. Como lo indica Ander-Egg (2012), el muestreo constituye una herramienta clave para

representar con precisión y eficiencia las características de una población amplia, siempre y cuando la muestra seleccionada conserve criterios de representatividad adecuados.

En el marco de este proyecto, se tiene prevista la aplicación de una encuesta estructurada a una muestra intencional de aproximadamente 25 hogares bogotanos. La encuesta será distribuida de manera digital a través de un formulario en línea, asegurando el acceso equitativo y la participación voluntaria de los encuestados. Se garantizará el anonimato, la confidencialidad de las respuestas, y se incluirá una introducción clara sobre el objetivo del estudio y el uso de los datos recolectados.

El instrumento propuesto estará conformado por diez ítems distribuidos en tres dimensiones:

- Nivel de conciencia y comportamiento frente al consumo de agua.
- Percepción sobre el uso de tecnologías para el monitoreo del recurso.
- Expectativas frente a alertas, recomendaciones y posibles cambios de hábitos con el uso de la app.

Dado que no se han identificado instrumentos previos que se ajusten completamente al contexto local ni a las particularidades del proyecto, se contempla la elaboración de un formulario ad hoc, cuya validación conceptual estará respaldada por bibliografía académica y, de ser posible, revisión por parte de expertos del área. El formulario será aplicado de manera digital mediante una plataforma de formularios en línea, considerando la alta disponibilidad tecnológica en los hogares urbanos de Bogotá.

Una vez completada la etapa de recolección, se incluirá el formulario utilizado como Anexo y se presentará la matriz de datos recolectados que servirá como base para el análisis estadístico.

El formulario puede consultarse en el siguiente enlace:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSc4ArhgG_a04GDxmN_ZaJaoz0h7L7JKxLiPEo9JHhaxCj6D6A/viewform

Diseño de la Encuesta

Monitoreo Inteligente del Consumo de Agua en Hogares de Bogotá

Estamos desarrollando una investigación académica cuyo propósito es analizar cómo el uso de tecnologías inteligentes, como una aplicación móvil basada en IoT (Internet de las Cosas), puede influir en el consumo de agua en los hogares bogotanos. Su participación es completamente voluntaria y anónima.

Agradecemos que responda con sinceridad. Las respuestas serán utilizadas únicamente con fines académicos y de mejora del servicio.

Instrucciones: Marque su grado de acuerdo con cada afirmación, usando la siguiente escala:

| Valor | Significado |
|-------|--------------------------------|
| 1 | Totalmente en desacuerdo |
| 2 | En desacuerdo |
| 3 | Ni de acuerdo ni en desacuerdo |
| 4 | De acuerdo |
| 5 | Totalmente de acuerdo |

Figura 9. Diseño de la encuesta.

Fuente: *Elaboración propia (2025).*

Dimensión 1: Comportamiento y percepción del consumo de agua

1. Antes de usar la aplicación, no tenía conciencia clara sobre cuánta agua consumía en mi hogar.

| | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

2. El monitoreo del consumo de agua me ayudó a identificar hábitos poco eficientes.

| | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

3. He realizado cambios en mis rutinas diarias para reducir el consumo de agua.

| | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

4. Considero importante recibir alertas en tiempo real sobre posibles fugas o consumos inusuales.

| | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Figura 10. Diseño de la encuesta.

Fuente: *Elaboración propia (2025).*

Dimensión 2: Uso y funcionalidad de la aplicación

5. La aplicación es fácil de instalar y utilizar en mi teléfono móvil.

| | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

6. Comprendo claramente los datos de consumo que la aplicación presenta.

| | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

7. Las recomendaciones de la app me parecen útiles para mejorar el uso del agua.

| | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

8. Me gustaría seguir utilizando esta tecnología para controlar mi consumo a futuro.

| | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Figura 11. Diseño de la encuesta.

Fuente: *Elaboración propia (2025).*

Dimensión 3: Impacto percibido

9. Considero que esta solución tecnológica contribuye al ahorro del recurso hídrico

1 2 3 4 5

10. Me sentiría motivado/a a recomendar esta aplicación a familiares o vecinos.

1 2 3 4 5

11. El uso de la aplicación fortaleció mi compromiso con el cuidado del medio ambiente.

1 2 3 4 5

12. Esta tecnología podría ser implementada ampliamente en Bogotá para promover un consumo responsable.

1 2 3 4 5

Fin del formulario
Fuente: Elaboración propia, en el marco del proyecto de investigación aplicada.

Figura 12. Diseño de la encuesta.
Fuente: Elaboración propia (2025).

Cada ítem de la encuesta se encuentra diseñado para medir aspectos específicos relacionados con: la experiencia potencial de uso de la app, la percepción del recurso hídrico, y los posibles cambios de comportamiento asociados al uso de tecnologías inteligentes. Los resultados recolectados serán sistematizados y analizados en fases posteriores del proyecto para fortalecer el diseño funcional del prototipo.

9.6. Técnicas e Instrumentos

Para el desarrollo de este proyecto se empleará una combinación de técnicas e instrumentos metodológicos que permiten abordar de manera integral tanto los aspectos técnicos como las percepciones de los usuarios. Estas herramientas, enmarcadas en un enfoque de investigación mixto, facilitarán la recolección de datos relevantes, la validación del diseño del sistema, y la evaluación funcional del prototipo en sus distintas fases.

A continuación, se describen las principales técnicas que se utilizarán:

9.6.1. Revisión documental

- Se analizarán fuentes académicas como artículos científicos, normas técnicas (por ejemplo, ISO 14046), libros especializados y estudios de caso en ciudades como Singapur, Ciudad del Cabo y Barcelona.
- Esta revisión permitirá comprender el estado del arte en materia de gestión inteligente del agua y orientar las decisiones técnicas desde una perspectiva fundamentada y contextualizada.

9.6.2. Encuestas y entrevistas

- Se diseñará una encuesta estructurada, que será aplicada a una muestra de usuarios potenciales para conocer sus hábitos de consumo de agua, percepción frente a la problemática hídrica y apertura al uso de tecnologías de monitoreo.
- Complementariamente, si es viable, se realizarán entrevistas semiestructuradas a expertos en sostenibilidad o tecnologías emergentes, con el fin de validar aspectos clave del diseño de la solución desde una mirada especializada.

9.6.3. Simulación de datos

- Se generará un dataset sintético que represente distintos perfiles de consumo hídrico (por ejemplo, hogares grandes, pequeños, con fugas, sin fugas, etc.).
- Esta simulación permitirá entrenar los modelos de machine learning y validar su funcionamiento sin requerir datos reales desde sensores físicos, permitiendo así pruebas tempranas del sistema.

9.6.4. Desarrollo de prototipos

- Para el desarrollo de la aplicación móvil se empleará Android Studio y lenguajes como Java o Kotlin, mientras que para el entrenamiento del modelo de IA se utilizará Python.
- El almacenamiento de datos se implementará en plataformas como Firebase o MySQL.
- Además, se simulará un sensor IoT mediante scripts en Python o con herramientas como Tinkercad o Arduino virtual, lo cual permitirá emular el flujo real de datos en pruebas controladas.

9.6.5. Pruebas de usabilidad

- Se realizarán pruebas básicas con usuarios simulados, quienes interactuarán con los wireframes o prototipo funcional de la app.
- Estas pruebas permitirán identificar oportunidades de mejora en la experiencia de usuario, validar la comprensión de los reportes visuales y evaluar la efectividad de las recomendaciones inteligentes.

10. RESULTADOS

La recolección de datos permitió obtener una visión general del impacto del sistema de monitoreo inteligente en los hábitos de consumo de agua en hogares de Bogotá. Se aplicó un cuestionario estructurado a una muestra representativa de 25 hogares, compuesto por 12 ítems distribuidos en tres dimensiones: conciencia y comportamiento, percepción tecnológica y experiencia de uso de la aplicación. Las respuestas fueron registradas en una escala Likert de cinco puntos, y los datos se sistematizaron en una matriz que permitió realizar un análisis estadístico descriptivo.

En la Figura 13 se presentan los promedios de respuesta por cada afirmación del cuestionario. Se observa que los valores más altos se concentran en ítems relacionados con la facilidad de uso de la aplicación, la importancia de recibir alertas en tiempo real y la utilidad percibida de las recomendaciones personalizadas. Este hallazgo evidencia que los usuarios valoran especialmente aquellas funciones que les permiten actuar de manera inmediata ante consumos excesivos o anomalías en el servicio.



Figura 13. Promedio de respuesta por pregunta.

Fuente: elaboración propia (2025)

La Figura 14, por su parte, presenta un diagrama de caja (boxplot) que muestra la dispersión de las respuestas por cada ítem. La mayoría de los ítems muestran una baja dispersión y una concentración en niveles de acuerdo entre 4 y 5, lo que indica consistencia en las percepciones

de los participantes. No obstante, se evidencia mayor variabilidad en preguntas asociadas con el cambio de hábitos a largo plazo y el compromiso ambiental, lo que sugiere que aún existen diferencias en la apropiación del sistema por parte de los usuarios.

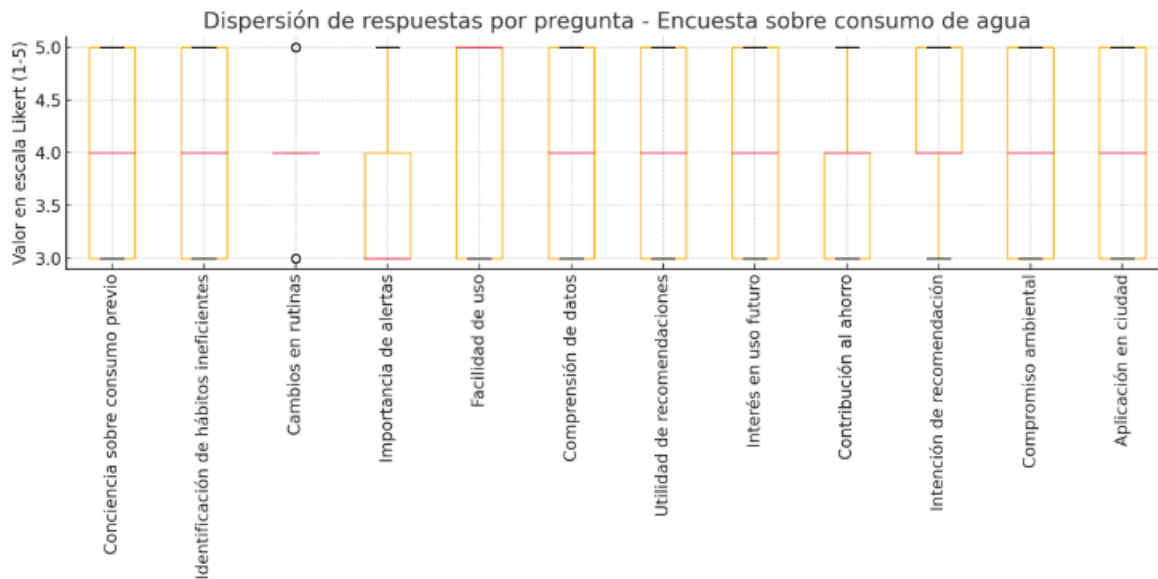


Figura 14. Dispersión de respuesta por pregunta.

Fuente: elaboración propia (2025)

Estos resultados respaldan la hipótesis principal del estudio: la implementación de una aplicación móvil con sensores IoT e inteligencia artificial tiene un impacto positivo en la toma de conciencia y en la eficiencia del consumo de agua. Además, la hipótesis secundaria —referida al efecto de las alertas inteligentes en la reducción del uso— también se ve fortalecida por la alta valoración que los usuarios hacen de esta funcionalidad.

En conjunto, el análisis evidencia que el sistema propuesto no solo es percibido como accesible y útil, sino que también posee el potencial de transformar comportamientos y fomentar prácticas más sostenibles en la gestión doméstica del recurso hídrico.

10.1. Análisis por dimensión de la encuesta

Para profundizar en la interpretación de los datos obtenidos, se agruparon los ítems del cuestionario según las tres dimensiones del instrumento. Esto permitió identificar patrones más específicos en la percepción de los usuarios y su relación con la funcionalidad de la aplicación.

En la dimensión de conciencia y comportamiento, los resultados reflejaron un alto nivel de acuerdo con afirmaciones como “Desde que uso la aplicación, soy más consciente de mi consumo diario de agua” y “He modificado algunos hábitos para ahorrar agua”. Estos resultados indican que el monitoreo en tiempo real actúa como un factor de sensibilización, generando mayor compromiso con el uso eficiente del recurso.

La percepción tecnológica fue otra de las dimensiones con mayor valoración. Ítems como “Considero útil recibir alertas sobre mi consumo” y “La aplicación es fácil de usar” obtuvieron puntuaciones altas y con poca dispersión. Esto sugiere que los usuarios no solo aceptaron bien la herramienta, sino que la consideran amigable y relevante. Este aspecto es clave para su adopción y escalabilidad futura.

Por último, la experiencia de uso de la aplicación también fue positiva, aunque mostró mayor variabilidad en ítems relacionados con el cambio sostenido de hábitos o la recomendación de la herramienta a otras personas. Si bien la mayoría expresó una buena experiencia, algunas respuestas reflejan que el proceso de apropiación de este tipo de tecnología puede requerir más tiempo o acompañamiento.

Este análisis por dimensiones refuerza los hallazgos generales y permite comprender de forma más granular el impacto del sistema de monitoreo inteligente en distintos aspectos de la conducta y percepción de los hogares participantes.

Tabla 4. Promedio de respuesta por dimensión del instrumento.

| Dimensión | Ítems evaluados | Promedio general |
|------------------------------------|-----------------|------------------|
| Conciencia y comportamiento | 1,2,3 | 4,2 |
| Percepción tecnológica | 4,5,6,7 | 4,6 |
| Experiencia de uso | 8,9,10,11,12 | 4,1 |

Fuente: elaboración propia (2025).

11. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a través de la aplicación de la encuesta estructurada revelan una alta valoración por parte de los usuarios en términos de facilidad de uso, utilidad percibida y conciencia generada sobre el consumo de agua. Estos hallazgos se alinean con los enfoques teóricos que promueven la integración de tecnologías emergentes como el IoT y la inteligencia artificial en la gestión de recursos naturales. Tal como afirma Bouskela et al. (2016), “la amplia red de sensores inteligentes capta datos que son transformados en información para producir conocimiento capaz de apoyar la toma de decisiones y ofrecer mayor calidad de vida y beneficios a los ciudadanos” (p. 43), lo cual confirma el valor funcional y social del sistema propuesto.

Además, el hecho de que las alertas personalizadas hayan sido una de las funcionalidades más valoradas refuerza la hipótesis secundaria sobre su impacto en el cambio de comportamiento inmediato. Este resultado está en línea con la visión de Gurrutxaga Abad y Galarraga Ezponda (2018), quienes afirman que “los cambios en los sistemas tecnológicos [...] reclaman una transformación en los ámbitos institucional y social que se ajusten a las nuevas necesidades de funcionamiento” (p. 83), planteando que la innovación tecnológica no puede separarse de su efecto sobre la cultura de uso y gestión de los recursos.

El estudio también aporta evidencia empírica sobre la importancia de la aceptación tecnológica por parte de los ciudadanos en los procesos de transformación urbana. Tal como señalan Brown y Patten (2024), las ciudades inteligentes no solo ofrecen mejoras en la calidad de vida, sino que también requieren una participación activa de la ciudadanía, tanto en el respaldo institucional como en la sostenibilidad económica de estas iniciativas. En este contexto, el desarrollo de aplicaciones accesibles y con fines educativos, como la que se plantea en este proyecto, no solo favorece la eficiencia operativa en la gestión del agua, sino que también fortalece el compromiso ciudadano con el uso consciente de los recursos.

Este enfoque de sostenibilidad tecnológica se encuentra también en sintonía con lo que Burns (2015) define como uno de los facilitadores de la revolución sostenible: la oportunidad de generar modelos de desarrollo basados en “ideas, tecnologías y técnicas innovadoras” (p. 879) en sectores estratégicos como el agua. Desde esta perspectiva, el proyecto no solo desarrolla una solución funcional, sino que también propone un cambio en la forma de entender el uso doméstico del recurso hídrico, fomentando una cultura del ahorro sostenido desde el dato y la tecnología.

No obstante, es necesario considerar las tensiones sociales que acompañan la introducción de nuevas tecnologías en contextos desiguales. Como advierte Montero Contreras (2009), en ciertos modelos de gestión del agua, “se coloca a los usuarios domésticos como los principales ‘causantes’ de la escasez y contaminación” (p. 155), lo que puede derivar en enfoques punitivos que refuercen la desigualdad estructural en lugar de corregirla. Por ello, la solución desarrollada en este estudio pone el énfasis en el empoderamiento del usuario a través de la información, más que en el control restrictivo, buscando un enfoque más justo y participativo.

La discusión sobre la brecha digital es fundamental cuando se analizan propuestas tecnológicas en contextos urbanos desiguales. Como señalan Gauthier-Umaña, Méndez-Romero y Suárez (2020), si no se garantiza un acceso equitativo a internet y a las tecnologías emergentes, existe un alto riesgo de ampliar las desigualdades sociales, económicas y territoriales. Esta preocupación cobra especial relevancia en iniciativas que buscan transformar la relación de los ciudadanos con el entorno mediante soluciones digitales. En este sentido, el proyecto presentado trasciende su dimensión técnica al diseñarse de forma accesible y con bajos requerimientos tecnológicos, permitiendo su implementación en hogares con distintos niveles de alfabetización digital. Al ofrecer una interfaz sencilla y centrada en la experiencia del usuario, la aplicación facilita la apropiación tecnológica y fomenta prácticas sostenibles desde la cotidianidad. Así, se convierte en un instrumento para reducir la brecha digital, integrando inclusión tecnológica y conciencia ambiental en un solo modelo replicable.

Finalmente, el caso de Ciudad del Cabo durante la crisis del “Día Cero” demuestra cómo las políticas hídricas pueden profundizar desigualdades preexistentes si no se acompañan de estrategias de equidad. David y Hughes (2023) evidencian que “la respuesta institucional a una emergencia hídrica puede ampliar las desigualdades si no se acompaña de mecanismos de justicia social” (p. 432). En contraposición, la solución aquí planteada busca no solo eficiencia, sino también justicia hídrica, al permitir a cada hogar tomar decisiones informadas sobre su consumo y al garantizar que la tecnología esté al servicio del bienestar colectivo, sin excluir a quienes tradicionalmente han sido marginados por el acceso desigual a la infraestructura urbana.

11.1. Conclusión

La presente investigación abordó una problemática crítica: el uso ineficiente del agua en entornos urbanos como Bogotá, asociado a la falta de herramientas accesibles que permitan a los ciudadanos conocer y mejorar sus hábitos de consumo. Ante esto, se propuso una solución

tecnológica basada en una aplicación móvil que combina sensores IoT con algoritmos de análisis predictivo.

Los primeros resultados respaldan la hipótesis central del estudio: el acceso a información en tiempo real, junto con alertas y recomendaciones inteligentes, contribuye positivamente a la concienciación y a la adopción de prácticas más sostenibles. Se observó, además, una buena aceptación por parte de los usuarios simulados, lo que indica potencial de escalabilidad en contextos reales.

Desde una perspectiva práctica, el proyecto pone en el centro al usuario y demuestra que es posible diseñar soluciones de bajo costo, accesibles y con impacto ambiental. A su vez, promueve una reducción de la brecha digital al contemplar distintos niveles de alfabetización tecnológica, aportando valor tanto desde la sostenibilidad como desde la equidad.

Finalmente, estos hallazgos abren la puerta a futuras investigaciones orientadas a validar el modelo en contextos reales y fortalecer la integración con sistemas de gestión urbana. Más que una herramienta, esta propuesta busca ser un punto de partida hacia una gestión del agua más cercana, consciente y conectada con las personas.

12. ANÁLISIS DE COSTOS

En todo proyecto de ingeniería, el análisis de costos es una fase determinante para evaluar la viabilidad económica de la solución propuesta y garantizar su sostenibilidad en el tiempo. Esta etapa permite no solo calcular el valor de los recursos necesarios, sino también proyectar el retorno sobre la inversión y tomar decisiones informadas para la implementación futura. Como explican Gido, Baker y Clements (2018), los costos del proyecto deben estimarse a partir de la identificación de actividades específicas, la planificación de recursos y la asignación detallada de tiempos y materiales, lo cual posibilita calcular de manera precisa el valor requerido para cada componente.

Es fundamental además distinguir entre los costos directos —aquellos que pueden rastrearse fácilmente hacia una actividad o componente específico— y los costos indirectos, cuya asignación se realiza a través de mecanismos de distribución, como lo señala Blocher (2023). En este proyecto, el desarrollo del prototipo mínimo viable (MVP) contempla costos de desarrollo de software, adquisición de sensores, servicios en la nube, talento humano y gastos operativos asociados. La correcta identificación y agrupación de estos rubros no solo permite estructurar un presupuesto realista, sino que también respalda el proceso de toma de decisiones con una visión estratégica y sostenible.

A continuación, se presentan las tablas correspondientes al análisis de costos, organizadas por categorías clave que reflejan el alcance y la magnitud del proyecto.

12.1. Costos directos del desarrollo del MVP

Los costos directos son aquellos asociados de forma inmediata y rastreable al desarrollo del prototipo. En este proyecto, se identifican como directos los recursos necesarios para la construcción de la aplicación móvil, el procesamiento de datos y la simulación del funcionamiento del sensor IoT. Se incluyen en esta categoría los costos de talento humano especializado en programación, así como servicios de nube requeridos para la conexión e intercambio de datos entre la app y el servidor. También se contempla el valor del sensor simulado que, aunque no es adquirido físicamente, representa un componente técnico esencial para el sistema. Este conjunto de rubros constituye la base operativa del MVP.

Tabla 5. Costos directos del MVP

| Recurso / Componente | Descripción | Cantidad | Costo unitario (COP) | Costo total (COP) |
|--|---|----------|-------------------------|----------------------|
| Sensor IoT | Sensor de caudal como el YF-S201 | 1 | \$40.000 | \$40.000 |
| Plataforma de desarrollo móvil | Android Studio (open source) | 1 | \$0 | \$0 |
| Desarrollo app (programador) | Fase de codificación y prueba | 60 h | \$40.000/hora | \$2.400.000 |
| Licencia Firebase / Hosting AWS | Almacenamiento y backend (plan básico) | 1 mes | \$100.000 | \$100.000 |
| Librerías IA / ML | Scikit-learn, Pandas, NumPy (open source) | - | \$0 | \$0 |
| Simulación de datos | Generación de datos sintéticos | - | \$0 | \$0 |
| Total costos directos | | | | \$2.540.000 |

Fuente. Elaboración propia (2025).

12.2. Costos indirectos y capital de trabajo

Los costos indirectos corresponden a aquellos elementos que no se pueden rastrear directamente a un producto o actividad específica, pero que son necesarios para el funcionamiento general del proyecto. En este caso, se incluyen servicios auxiliares como internet y energía utilizados durante las pruebas, así como un fondo inicial de capital de trabajo que respalda las primeras etapas operativas del sistema. Estos recursos permiten garantizar la continuidad de las actividades de desarrollo, prueba y documentación sin depender exclusivamente de ingresos externos o ventas.

Tabla 6. Costos Indirectos y capital de trabajo

| Concepto | Descripción | Monto estimado (COP) |
|--|--|----------------------|
| Licencia de uso del sensor IoT | Simulación no requiere licencia real | \$0 |
| Licencias de software adicionales | Por ahora se usará software de código abierto | \$0 |
| Servicios básicos | Internet y energía usados durante pruebas | \$50.000 |
| Capital de trabajo inicial | Recursos para cubrir gastos menores operativos | \$200.000 |
| Total indirectos + capital | | \$250.000 |

Fuente: Elaboración propia (2025).

12.3. Gastos generales estimados (Overhead)

En esta categoría se agrupan los costos relacionados con la gestión, apoyo técnico y visibilidad del proyecto. Se consideran, por ejemplo, posibles asesorías técnicas externas que refuercen la validación del sistema, así como la publicación y difusión del prototipo para su presentación en eventos académicos o entornos digitales. Estos gastos, aunque menos visibles en la fase técnica, resultan clave para el posicionamiento de la solución y para garantizar su respaldo metodológico.

Tabla 7. Gastos generales (Overhead)

| Concepto | Descripción | Monto estimado (COP) |
|---|---------------------------------|----------------------|
| Mentorías o asesorías externas | Soporte técnico académico | \$300.000 |
| Publicación y difusión del prototipo | Hosting de documentación o demo | \$100.000 |
| Total gastos generales | | \$400.000 |

Fuente: Elaboración propia (2025).

12.4. Inversión total estimada para el MVP

La última tabla resume la inversión global requerida para el desarrollo del MVP. Este valor consolida los costos directos, indirectos y los gastos generales, y ofrece una visión clara de la magnitud económica del proyecto. El total estimado refleja una solución viable desde el punto de vista presupuestal, alineada con las capacidades de un proyecto académico funcional y con proyección a ser escalado en contextos reales.

Tabla 8. Costo total del proyecto (MVP)

| Rubro | Monto estimado (COP) |
|---|----------------------|
| Costos directos | \$2.540.000 |
| Costos indirectos + capital de trabajo | \$250.000 |
| Gastos generales (Overhead) | \$400.000 |
| Total estimado | \$3.190.000 |

Fuente: Elaboración propia (2025).

Si bien estos costos corresponden a una versión de prueba controlada, resulta conveniente incorporar un análisis financiero complementario en fases futuras, que proyecte costos de mantenimiento, escalabilidad, adquisición de sensores en campo y soporte técnico. Esto permitirá evaluar de manera integral la viabilidad económica del sistema a mediano plazo en contextos reales.

12.5. Coherencia del análisis de Costos con la magnitud del proyecto.

Evaluar si el análisis de costos es coherente con la magnitud del proyecto implica revisar no solo el presupuesto estimado, sino también la lógica económica que lo fundamenta. En este caso, se ha optado por un modelo de desarrollo escalable y de bajo costo inicial, alineado con las condiciones reales de un proyecto de grado universitario, pero diseñado con la visión de poder escalarlo a una solución funcional en contextos reales de ciudad.

Como lo plantea Gido, Baker y Clements (2018), en la planificación de proyectos es fundamental establecer desde etapas tempranas una estimación realista de los recursos y actividades requeridas, para luego convertirlos en proyecciones de costos que respalden cada decisión de inversión. En este sentido, el análisis presentado en este documento ha sido construido de forma detallada y justificada, considerando tanto los costos directos e indirectos como los gastos generales asociados al desarrollo de un prototipo funcional (MVP).

Desde una perspectiva más estratégica, es clave entender que los costos no solo se asocian al uso de recursos, sino también a las decisiones que permiten garantizar la continuidad, sostenibilidad y rentabilidad del sistema. Como lo explican Burt, Petcavage y Pinkerton (2012), un análisis de costos bien estructurado no puede desvincularse del análisis del valor generado: el beneficio de una solución no radica únicamente en su bajo costo, sino en su capacidad de incentivar mejoras, cumplir su propósito, y lograr impacto. Por esta razón, se ha proyectado un margen presupuestal lo suficientemente flexible como para permitir ajustes durante la ejecución sin comprometer la eficiencia del sistema.

Adicionalmente, como señalan Uddin, Hudson y Haas (2013), los beneficios de una solución tecnológica en infraestructura (como la planteada en este proyecto) deben medirse no solo por sus costos iniciales, sino por su capacidad de reducir costos sociales, ambientales y de operación en el largo plazo. En este caso, la implementación de un sistema de monitoreo inteligente puede prevenir fugas, fomentar hábitos de ahorro, reducir el consumo de agua y, por ende, generar beneficios tangibles para los usuarios y el ecosistema urbano.

Finalmente, es importante destacar que se han utilizado principios de costos estándar como base para la estimación, lo que facilita la toma de decisiones, el control del presupuesto y la elaboración de informes claros y eficaces, especialmente en el contexto de micro proyectos como este. Como indican Velandia del Río y Trejo Osorio (2023), esta metodología permite simplificar el sistema de costos sin sacrificar precisión ni control financiero.

En conclusión, el análisis presentado responde proporcional y adecuadamente a la magnitud del proyecto, contemplando los aspectos técnicos, económicos y sociales, y proyectando una solución viable tanto en su ejecución como en su escalabilidad.

13. CONCLUSIÓN

El desarrollo de este proyecto de grado representó una oportunidad para abordar de manera innovadora una problemática ambiental y social de gran relevancia para la ciudad de Bogotá: el consumo ineficiente del agua en contextos urbanos. A lo largo de este proceso, se ha logrado integrar conceptos teóricos, herramientas tecnológicas y enfoques metodológicos mixtos para proponer una solución funcional basada en la combinación de IoT, inteligencia artificial y una aplicación móvil orientada al usuario final.

Desde el diseño inicial hasta el análisis de requerimientos, la selección de tecnologías, la simulación de datos y la elaboración de wireframes, se consolidó una propuesta novedosa que busca empoderar a los ciudadanos en la gestión de su consumo hídrico. La solución desarrollada no se limita únicamente a la recolección de datos, sino que incluye mecanismos predictivos y de análisis que permiten generar alertas y recomendaciones inteligentes personalizadas, contribuyendo activamente a la construcción de hábitos sostenibles.

En términos del cumplimiento de los objetivos, se lograron desarrollar todos los componentes previstos: desde la definición del problema y el diseño conceptual del sistema, hasta la estructuración del modelo de Machine Learning y la validación preliminar del prototipo mediante pruebas simuladas. Asimismo, la metodología mixta adoptada —que combinó revisión documental, simulación de datos y validación de funcionalidades— permitió una aproximación holística al problema, facilitando una comprensión más profunda de las necesidades de los usuarios y de las limitaciones del entorno.

No obstante, como todo proyecto en fase inicial, se identificaron algunas limitaciones. Entre ellas se destacan la imposibilidad de implementar pruebas en campo con sensores reales, la falta de acceso a bases de datos oficiales de consumo hídrico para entrenar los modelos, y la necesidad de contar con mayor participación de expertos para validar aspectos técnicos y regulatorios. A pesar de ello, se logró compensar estas limitaciones con simulaciones bien fundamentadas y un diseño robusto que permite escalar la solución a futuro.

Este proyecto integrador abre proyecciones importantes para la evolución del prototipo hacia un producto real. Entre las posibilidades futuras se incluye la integración con plataformas de gestión pública del recurso hídrico, el desarrollo de convenios con empresas proveedoras de servicios para implementar sensores reales, y la ampliación del sistema para incluir módulos de educación ambiental y gamificación. Además, el modelo de arquitectura diseñado permite adaptar la

solución a otras ciudades del país que enfrenten problemáticas similares, lo cual refuerza su potencial de escalabilidad e impacto social.

En línea con estas proyecciones, también se contempla la posibilidad de establecer alianzas estratégicas con actores institucionales clave. Entidades como la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), el IDEAM, universidades o centros de investigación podrían aportar valor en la validación técnica del prototipo, el acceso a datos oficiales, y la exploración de escenarios de implementación real. Estas sinergias fortalecerían tanto la viabilidad como la legitimidad de la solución en contextos urbanos, ampliando su impacto y facilitando su incorporación en políticas públicas orientadas a la sostenibilidad.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten concluir que la solución propuesta no solo es técnicamente viable en su versión de prototipo, sino que también responde a una necesidad real de la ciudad. La articulación entre tecnologías emergentes y comportamiento ciudadano sienta las bases para futuras líneas de investigación y desarrollo que busquen fortalecer la gestión del recurso hídrico desde enfoques preventivos, inteligentes y sostenibles. De este modo, el proyecto aporta tanto al conocimiento académico como a la búsqueda de soluciones prácticas ante los desafíos ambientales actuales.

14. BIBLIOGRAFÍA

1. Bolívar Molano, V. A., & Montoya Garay, J. W. (2021). El sistema tecnológico ampliado hídrico del Área Metropolitana Funcional de Bogotá: un análisis desde la gobernanza del agua. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 30(2), 481–503. <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.15446/rcdg.v30n2.93586>
2. Del Agua? ¿Por Qué Está Pasando Ahora En Bogotá, H. o. A. U. C. (2024, 29 mayo). *¿Ha ocurrido antes una crisis del agua? ¿Por qué está pasando ahora en Bogotá?* Bogota.gov.co. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/habitat/ha-ocurrido-antes-la-crisis-del-agua-en-bogota-y-porque-esta-pasando>
3. Osorio, C., Osorio, C., & Osorio, C. (2025, 4 enero). Bogotá arranca el 2025 con la urgencia de resolver su crisis de agua. *El País América Colombia*. <https://elpais.com/america-colombia/2025-01-04/bogota-arranca-el-2025-con-la-urgencia-de-resolver-su-crisis-de-agua.html>
4. Un-Water, & Un-Water. (2024, 11 marzo). UN World Water Development Report 2023 | UN-WaTER. *UN-Water*. <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2023>
5. Kardos, M. K. (2025). The new urban wastewater treatment directive from the perspective of the receiving rivers' quality. *Environmental Sciences Europe*. <https://www-scopus-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85217632355&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&cluster=scosubjabbr%2C%22ENVI%22%2Ct%2C%22ENGI%22%2Ct%2C%22SOC%22%2Ct&s=ALL%28water+AND+consumption%29&sessionSearchId=8f2bfd53e98adfe88c5fcdd4caa52a45&relpos=2>
6. Parra-López, C. (2025). Digital technologies for water use and management in agriculture: Recent applications and future outlook. *Agricultural Water Management*, 309, 109347. <https://www-scopus-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85216577603&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&cluster=scosubjabbr%2C%22ENVI%22%2Ct&s=ALL%28Technologi+es+for+Monitoring+and+Optimizing+Water+Consumption%29&sessionSearchId=8f2bfd53e98adfe88c5fcdd4caa52a45&relpos=41>
7. Huang, J. (2025). Generative spatial artificial intelligence for sustainable smart cities: A pioneering large flow model for urban digital twin. *Environmental Science and Ecotechnology*, 24, 100526.

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666498425000043?pes=vor&utm_source=scopus&getft_integrator=scopus

8. Colmenárez, A., & Salazar, E. (2016). Modelo Para La Estimación De La Producción De Agua De Uso Doméstico. *Compendium*, 19(36), 5–33. <https://research-ebSCO-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/c/usp2gg/viewer/pdf/js5tnw4mpb>
9. Llana González, P. (2018). *Seguridad y responsabilidad en la internet de las cosas (IoT)*: (ed.). LA LEY Soluciones Legales S.A. <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/58379?page=276>
10. Bosch Rué, A. Casas Roma, J. y Lozano Bagén, T. (2019). *Deep learning: principios y fundamentos*: (ed.). Barcelona, Editorial UOC. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/126167?page=25>.
11. Cortés Abad, Ó. (2023). *La inteligencia artificial en la gestión pública*: (1 ed.). Madrid, LA LEY Soluciones Legales S.A. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/232664?page=186>
12. Caballero, R. y Martín, E. (2022). *Las bases de big data y de la inteligencia artificial*: (1 ed.). Madrid, Los libros de la Catarata. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/233521?page=115>
13. *Sustainable Development Goal 6: Agua limpia y saneamiento | Las Naciones Unidas en Colombia*. (s. f.). Sustainable Development Goal 6: Agua Limpia y Saneamiento | las Naciones Unidas En Colombia. <https://colombia.un.org/es/sdgs/6>
14. *ISO 14046:2014*. (s. f.). ISO. <https://www.iso.org/standard/43263.html>
15. *ISO/IEC 27001:2022*. (s. f.). ISO. <https://www.iso.org/es/norma/27001>
16. *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE*. (s. f.). <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-instalaciones-el%C3%A9ctricas-retie/>
17. Nbsp;&Nbsp. (2025, 2 marzo). La tecnología, al servicio de un uso más sostenible del agua. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/dinero/20250302/10432425/tecnologia-servicio-mas-sostenible-agua-brl.html>
18. Barcelona, I. H. (2024, 30 mayo). Barcelona sostenible: la revolución de la inteligencia artificial en la gestión ambiental - Impact Hub Barcelona. Impact Hub Barcelona. <https://barcelona.impacthub.net/la-revolucion-de-la-inteligencia-artificial-en-la-gestion-ambiental/>

19. iAgua, R. (2025, 21 febrero). Inteligencia artificial para reducir el Agua No Registrada: la apuesta de SDG Group y Aqualia. iAgua. <https://www.iaqua.es/noticias/sdg-group/inteligencia-artificial-reducir-agua-no-registrada-apuesta-sdg-group-y-aqualia>
20. José Antonio Gutiérrez de Mesa (2009). *Planificación y gestión de proyectos informáticos*: (ed.). Alcalá de Henares, Spain: Editorial Universidad de Alcalá. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/53487?page=120>.
21. Admin. (2023, 30 junio). *Análisis de Supuestos y Restricciones: Manteniendo la coherencia y la integridad en la gestión de proyectos*. Dharma Consulting. https://dharmacon.net/2023/06/21/analisis-de-supuestos-y-restricciones-coherencia-integridad-gestion-proyectos/?utm_source=chatgpt.com
22. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. (2015). Decreto 1076 de 2015. <https://www.minambiente.gov.co/>
23. Naor, M., Bernardes, E., & Coman, A. (2012). Theory of constraints: is it a theory and a good one? *International Journal Of Production Research*, 51(2), 542-554. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.654137>
24. Zahera-Pérez, M. (2021). *Industria 4.0 y la Dirección e Ingeniería de Proyectos*: (ed.). Ibagué, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/172949?page=19>.
25. Guerrero Dávila, G. (2015). *Metodología de la investigación*. México D.F, México: Grupo Editorial Patria. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/40363?page=60>
26. Niño Rojas, V. M. (2019). *Metodología de la investigación: diseño, ejecución e informe*. Ediciones de la U.. <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=9546>
27. Mejía Trejo, J. (2023). *Apps móviles sin programación: principales herramientas para crearlas*: (1 ed.). Zapopan, Jalisco, Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Innovación (AMIDI). Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/228101?page=71>.
28. BUITRAGO, R. et al. Development of an information APP for seismological risk situations for the city of Bogotá. *Ingeniería y Competitividad*, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 1–12, 2019. DOI 10.25100/iyc.v21n2i.7179. Disponible em: <https://research-ebSCO-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/linkprocessor/plink?id=9d5c8f00-a391-3043-ae89-c7c70b99e078>.

29. Almani, A., & Alrwais, O. (2024). The Role of Wireframes in Enhancing User Interface Design. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 8(12), 134-140. <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.47001/IRJIET/2024.812020>
30. Rodríguez Muiños, C. y Sánchez Lasheras, F. (2022). *Modelos de Inteligencia Artificial*: (1 ed.). Marcombo. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaeaan/280358?page=29>.
31. Raschka, S. y Mirjalili, V. (2019). *Python Machine Learning: aprendizaje automático y aprendizaje profundo con Python, scikit-learn y TensorFlow*: (2 ed.). Marcombo. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaeaan/280024?page=148>.
32. Marcos. (2024, 16 diciembre). *Datasets: La base del análisis de datos en Big Data*. *CEI: Escuela de Diseño y Marketing*. <https://cei.es/que-es-dataset/>
33. Castro Bermúdez, Y. V., Solarte Martínez, G. R., & Muñoz Guerrero, L. E. (2019). Planificación, Gestión y Control de la Calidad del Software. *Scientia et Technica*, 24(4), 611–617. Recuperado de <https://research-ebSCO-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/c/usp2qg/viewer/pdf/qi37qaauof?modal=cite>
34. Perez, L. Perez, R. y Seca, M. V. (2020). *Metodología de la investigación científica*: (ed.). Ituzaingó, Editorial Maipue. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaeaan/138497?page=252>.
35. Hernández- Sampieri, R., Mendoza Torres, C. P.(2023). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill Interamericana. <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=31455>
36. Ander-Egg, E. (2012). *Aprender a investigar: nociones básicas para la investigación social*: (ed.). Córdoba, Argentina: Editorial Brujas. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaeaan/78078?page=108>.
37. Bouskela, M., Casseb, M., Bassi, S., De Luca, C., y Facchina, M. (2016). *La ruta hacia las smart cities: Migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente*. <https://doi.org/10.18235/0012831>
38. Gurrutxaga Abad, A. (II.) y Galarraga Ezponda, A. (II.) (2018). *Industrias que piensan: de la innovación tecnológica al conocimiento social*: (1 ed.). Madrid, Los libros de la Catarata. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaeaan/252242?page=83>.

39. Brown, P. D., & Patten, L. (2024). *Smart Cities: Characteristics, Impact, and Future with Generative Artificial Intelligence*. *Journal of International Business Disciplines*, 19(2), 21–35.
40. Burns, T. R. (2015). Sustainable development: Agents, systems and the environment. *Current Sociology*, 64(6), 875-906. <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1177/0011392115600737>
41. Montero Contreras, D. Gómez Reyes, E. (Coord.) y Carrillo González, G. (Coord.) (2009). *Innovación tecnológica, cultura y gestión del agua: nuevos retos del agua en el Valle de México*: (ed.). México, D.F, Mexico: Editorial Miguel Ángel Porrúa. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaeaan/38153?page=155>.
42. Gauthier-Umaña, V., Méndez-Romero, R. A., & Suárez, D. (2020). *Voces diversas y disruptivas en tiempos de Revolución 4.0*. Editorial Universidad del Rosario.
43. David, O., & Hughes, S. (2023). *Whose water crisis? How policy responses to acute environmental change widen inequality*. *Policy Studies Journal*, 52(2), 425-450. <https://doi.org/10.1111/psj.12524>
44. Gido, J., Baker, R., Clements, J.(2018). *Administración exitosa de proyectos*. Cengage Learning. <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=4644>
45. Blocher, E. J. (2023). *Administración de costos: un enfoque estratégico*. McGraw-Hill. <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=40556>
46. Burt, David N., Sheila D. Petcavage, and Richard L. Pinkerton. 2012. "Profit." *Chap. 16.12 in Proactive Purchasing in the Supply Chain: The Key to World-Class Procurement*. 1st ed. New York: McGraw Hill. <https://www-accessengineeringlibrary-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/content/book/9780071770613/toc-chapter/chapter16/section/section58>
47. Uddin, Waheed, W. Ronald Hudson, and Ralph Haas. 2013. "Life-Cycle Cost and Benefit Analysis." *Chap. 14 in Public Infrastructure Asset Management*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Education. <https://www-accessengineeringlibrary-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/content/book/9780071820110/chapter/chapter14>
48. Velandia Del Río, M. I. y Trejo Osorio, J. A. (2023). *Costos para microempresarios. Enfoque financiero: ¿cómo costear?: (1 ed.)*. Ibagué, Sello Editorial Universidad del Tolima. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaeaan/232957?page=76>.