



**TRABAJO DE GRADO**  
**Opción Seminario-Diplomado.**

**Big Data aplicado a Empresas de Servicios Públicos de Acueducto Alcantarillado y Aseo**

Profesor:  
Juan Pablo Uribe

Estudiantes:  
Angela Patricia Díaz  
José Beller Suárez Chaparro  
Libardo Quimbayo Peña

Corporación Universitaria Remington.  
Facultad de Ingenierías  
Ingeniería de sistemas - Ingeniería Industrial

Opción de Trabajo de grado Seminario-  
2025

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a nuestros padres quienes con mucho esfuerzo nos han ayudado a terminar esta carrera.

A los miembros de todo el equipo de investigación, que gracias a las tareas encomendadas para cada uno se logra realizar y terminar a satisfacción y a tiempo.

Querida familia, hoy celebro este logro con el corazón lleno de gratitud a Dios por su amor y guía, y a ustedes por ser mi mayor apoyo. Su sacrificio, oración y aliento fueron fundamentales para llegar hasta aquí. Gracias por ser mi familia, Juntos hemos superado obstáculos y hoy celebramos este triunfo con alegría. Su amor y apoyo incondicional son un regalo invaluable.

## **Agradecimientos**

Gracias Dios, por su guía y acompañamiento en este proyecto, Agradecemos su infinita bondad por permitirnos llegar a este logro. Con gratitud, reconocemos su mano en cada paso de este proyecto.

Agradecemos profundamente al profesor Juan Pablo Vélez Uribe, por su invaluable guía y apoyo durante el desarrollo de este proyecto. Su experiencia y conocimientos en Big Data fueron fundamentales para la superación de los desafíos encontrados y para la correcta ejecución de la investigación.

Agradecemos a la empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal por facilitar el acceso a los datos necesarios para la investigación. Su colaboración fue crucial para la obtención de resultados relevantes en el análisis de Big Data.

Finalmente, agradecemos a familiares y amigos por su apoyo incondicional durante este proceso. Su comprensión, paciencia y aliento fueron fundamentales para superar los momentos difíciles y alcanzar esta meta.

## Tabla de Contenidos

Resumen.....	6
Marco Conceptual.....	7
Big Data .....	7
¿Para qué sirve Big Data? .....	7
EAAAAY.....	9
¿Qué implica una desviación significativa?.....	12
SSPD:.....	13
Procedimiento en caso de desviación significativa:.....	13
Tipos de desviaciones: .....	13
IANC, o Índice de Agua No Contabilizada .....	16
IPUF o Índice de Pérdidas por Usuario Facturado .....	17
El PQRS (Peticiónes, Quejas, Reclamos y Sugerencias).....	19
El Sistema Único de Información (SUI).....	19
La anonimización.....	20
Medidor de agua ultrasónico.....	20
Sensores IoT.....	21
Un Dashboard .....	22
Excel .....	22
La seguridad de la información.....	23
Marco Contextual.....	24
Los acueductos en el contexto nacional.....	24
Administración de acueductos según legislación colombiana.....	25
Empresa de Acueducto, Alcantarillado y aseo de Yopal (EAAAAY) en contexto.....	26
La seguridad de la información en el contexto Nacional.....	27
Desarrollo e Implementación del Aprendizaje .....	28
Gestión del acueducto (agua potable) .....	28
Procesamiento y almacenamiento .....	29
Gestión del Alcantarillado (aguas residuales).....	30
Gestión del Aseo (recolección de residuos).....	32
Atención al Usuario y Servicio al Cliente.....	34
Limpieza y Clasificación de Datos .....	35
Análisis de Patrones y Tendencias.....	36
Análisis de Sentimiento .....	36
Modelos Predictivos y Automatización .....	37
Visualización y Reporte.....	37
Infraestructura y Mantenimiento Predictivo .....	38
Ciberseguridad y Protección de Datos.....	38
Retos y consideraciones.....	39
Reportes al SUI (Sistema Único de Información) en empresas de acueducto, alcantarillado y aseo .....	39
Big Data para reducir el IANC .....	41

	5
Big Data usando tablas de Excel.....	44
Herramientas útiles para implementar Big Data.....	47
Conclusiones.....	52
Referencias.....	52

## **Resumen**

Este trabajo de grado propone el uso estratégico de herramientas de Big Data para mejorar la eficiencia operativa, comercial, técnica y administrativa en las empresas de servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo. El objetivo principal es optimizar la gestión de la información para facilitar la toma de decisiones basadas en datos confiables, alineadas con la Ley 142 de 1994, que regula los servicios públicos domiciliarios en el país y establece lineamientos para su adecuada prestación. La implementación de Big Data permite mejorar procesos como la actualización y depuración de catastros de usuarios, la recuperación efectiva de cartera, la identificación oportuna de equipos de medición obsoletos o defectuosos, y el manejo seguro y responsable de la información privada. Además, agiliza el reporte, consolidación y análisis de indicadores ante el Sistema Único de Información (SUI), reduciendo significativamente los tiempos de respuesta y aumentando la eficiencia empresarial de forma sostenida. De esta manera uno de los principales aportes del proyecto es su aplicación directa en la reducción del Índice de Agua No Contabilizada (IANC), también conocido como Índice de Pérdidas por Usuario Facturado (IPUF). Mediante el análisis masivo de datos comerciales y técnicos, este proyecto ofrece una solución práctica para identificar causas de pérdidas y definir estrategias correctivas que permitan reducir sustancialmente dicho índice a través del uso de Big Data, y además modernizar las empresas de servicios públicos y optimizar sus procesos internos, garantizando un mejor servicio a los ciudadanos, a la vez que se reducen costos de operación, mediante decisiones fundamentadas en información real, confiable y permanentemente actualizada.

## **Palabras Clave**

Big Data, eficiencia, servicios, información, optimización, datos.

## Marco Conceptual

### Big Data

Conjuntos de datos extremadamente grandes y complejos que crecen a gran velocidad y que son difíciles de procesar con métodos tradicionales de gestión de datos. Sirve para extraer información valiosa, patrones y tendencias ocultas, que pueden utilizarse para tomar decisiones más informadas en diversos ámbitos como marketing, salud, finanzas y muchos otros. Big Data se caracteriza por cinco dimensiones principales, conocidas como las "5 Vs":

- **Volumen:** La gran cantidad de datos generados y almacenados.
- **Velocidad:** La rapidez con la que los datos se crean, fluyen y se procesan.
- **Variedad:** La diversidad de tipos de datos, incluyendo datos estructurados, no estructurados y semiestructurados.
- **Veracidad:** La calidad y confiabilidad de los datos.
- **Valor:** El potencial de los datos para generar información útil y conocimiento.

### ¿Para qué sirve Big Data?

Las aplicaciones de Big Data son diversas y se extienden a muchos sectores:

- **Marketing y Ventas:** Permite segmentar clientes, personalizar ofertas, predecir el comportamiento del consumidor y optimizar campañas publicitarias.
- **Salud:** Facilita la investigación médica, el diagnóstico temprano de enfermedades, la personalización de tratamientos y la gestión de la salud pública.
- **Finanzas:** Ayuda a detectar fraudes, gestionar riesgos, optimizar inversiones y personalizar servicios financieros.

- **Ciudades Inteligentes:** Permite gestionar el tráfico, optimizar el uso de energía, mejorar la seguridad y ofrecer servicios públicos más eficientes.
- **Agricultura:** Optimiza el uso de recursos, mejora la productividad agrícola y predice el rendimiento de los cultivos.
- **Investigación Científica:** Permite analizar grandes conjuntos de datos para avanzar en diversas áreas del conocimiento.

Big Data no es solo una gran cantidad de datos, sino una herramienta poderosa para extraer conocimiento y valor de ellos, lo que permite a las organizaciones tomar decisiones más inteligentes, mejorar sus productos y servicios, y adaptarse a las necesidades cambiantes de sus clientes y del mercado



**Figura 1.** *¿Qué es Big Data?*  
Fuente: [www.aprendebigdata.com](http://www.aprendebigdata.com)

## EAAAY

Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal S.A. E.S.P. Es una empresa de servicios públicos domiciliarios que opera en el municipio de Yopal, Casanare (Colombia), y se encarga de:

Servicio	Descripción	Que Incluye el Servicio
Acueducto	Se refiere a la distribución municipal de agua apta para el consumo humano.	<p><b>Captación de agua:</b> Obtención del agua de fuentes como ríos, lagos o pozos.</p> <p><b>Procesamiento y tratamiento:</b> Procesos para potabilizar el agua, eliminando impurezas y microorganismos dañinos.</p> <p><b>Almacenamiento:</b> Depósitos para garantizar un suministro continuo.</p> <p><b>Conducción y transporte:</b> Red de tuberías para llevar el agua a los usuarios.</p> <p><b>Conexión y medición:</b> Instalación de medidores y conexiones domiciliarias para cada usuario.</p> <p><b>Suspensión del servicio:</b> La EAAAY es una empresa industrial y comercial del estado, con autonomía administrativa y financiera, y puede realizar suspensiones programadas del servicio de acueducto.</p>
Alcantarillado	Es el sistema de tuberías y conductos que recolecta y transporta las aguas residuales y pluviales desde los hogares, comercios e industrias hasta las plantas de tratamiento para su disposición final.	<p><b>Recolección:</b> Se recogen las aguas residuales y pluviales a través de una red de tuberías que se conectan a las viviendas, comercios e industrias.</p> <p><b>Transporte:</b> Las aguas recolectadas son conducidas a través de tuberías, generalmente por gravedad, aunque en algunos casos se requiere bombeo, hasta las plantas de tratamiento.</p> <p><b>Tratamiento:</b> En las plantas de tratamiento, las aguas residuales son sometidas a diversos procesos para remover contaminantes y hacerlas aptas para su descarga al medio ambiente o para su reutilización.</p> <p><b>Disposición final:</b> Una vez tratadas, las aguas pueden ser descargadas a cuerpos de agua o utilizadas para riego, dependiendo de la calidad del agua y las regulaciones locales.</p> <p><b>Mantenimiento:</b> Además, es importante destacar que el servicio de alcantarillado también puede incluir el mantenimiento de la red de tuberías y la atención de emergencias como obstrucciones o fugas.</p>

<b>Aseo</b>	Es un conjunto de actividades destinadas a la limpieza y mantenimiento de áreas públicas y la gestión de residuos sólidos.	<p><b>Recolección de residuos:</b> La recogida de residuos sólidos de hogares, comercios y otros lugares.</p> <p><b>Transporte de residuos:</b> El traslado de los residuos recolectados a plantas de tratamiento o sitios de disposición final.</p> <p><b>Tratamiento de residuos:</b> Procesos para reducir el volumen de los residuos, como la incineración o el reciclaje.</p> <p><b>Disposición final de residuos:</b> El depósito seguro de los residuos que no pueden ser tratados o reciclados, generalmente en rellenos sanitarios.</p> <p><b>Barrido y limpieza de vías públicas:</b> La limpieza mecánica o manual de calles, parques y otros espacios públicos para eliminar basura y suciedad.</p> <p><b>Otras actividades complementarias:</b> Corte de césped, poda de árboles, lavado de áreas públicas y otras actividades que contribuyen a la limpieza urbana.</p>
-------------	--	---

**Tabla 1,** *Servicios prestados por la EAAAY*  
Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta a continuación un resumen que consolida los aspectos más relevantes de la EAAAY:

ÁMBITO	DESCRIPCIÓN PRINCIPAL
Naturaleza jurídica	Empresa Industrial y Comercial del Estado local (Yopal)
Intervención gubernamental	Toma de posesión por la SSPD en 2023 por situación crítica
Impacto financiero	Pérdidas millonarias persistentes y cartera vencida alta
Pérdidas de agua (IANC)	Superior al 48 % entre 2019–2022
Medidas implementadas	Acometidas controladas, sanciones, materiales de calidad, dimensionamiento adecuado, reporte ciudadano
Educación ambiental	Programas escolares, limpieza comunitaria y ambiental, campañas culturales
Reconocimientos	Finalista en responsabilidad social de ANDESCO

**Tabla 2,** *Resumen institucional de la empresa de acueducto, aseo y alcantarillado de Yopal (EAAAY)*  
Fuente: elaboración propia con base en información institucional

En octubre de 2023, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) ordenó la toma de posesión administrativa de la EAAAY debido a una situación crítica en su gestión técnico-operativa, administrativa y financiera. (SSPD,2013).

**Los principales problemas de la EAAAY identificados incluyen:**

- Déficits operacionales persistentes entre 2018 y 2022: en 2018, pérdidas equivalentes a aproximadamente \$2 651 millones; en 2022, \$1 779 millones. (Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios, 2013).
- Incumplimiento en inversiones: más de \$11 345 millones del Plan de Obras e Inversiones Regulado (POIR) no ejecutados, afectando redes y sistemas necesarios para la reducción de pérdidas. (SSPD, 2013).
- Elevado nivel de cartera vencida: alcanzó el 71 % en 2022. (SSPD, 2013).
- Aumento en pérdidas de agua: las pérdidas medias crecieron de 12,81 m<sup>3</sup> por suscriptor/mes en el primer semestre de 2022 a 14,77 m<sup>3</sup> en el segundo semestre del mismo año. (SSPD, 2013).
- Durante el periodo 2019–2022, la EAAAY registró un IANC superior al 48 %, lo que refleja graves pérdidas técnicas y comerciales. (Casanare Online, 2025)

Las desviaciones de consumo de acueducto son diferencias significativas entre el consumo real registrado por el medidor en un periodo de facturación y el consumo esperado o promedio histórico del usuario. En otras palabras, es cuando el consumo de agua se sale de lo habitual, ya sea hacia arriba (desviación positiva) o hacia abajo (desviación negativa).

En el contexto de la Ley 142 de Colombia, una desviación significativa en el consumo de servicios públicos se refiere a un aumento o disminución inusual y considerable en el consumo de un usuario, en comparación con su consumo promedio histórico. Este fenómeno activa un procedimiento especial por parte de la empresa prestadora del servicio, quien debe investigar la causa de la desviación antes de facturar. (SSPD, 2025).

## ¿Qué implica una desviación significativa?

**Aumento o disminución drástica:** La desviación se refiere a un cambio abrupto y notable en el consumo de agua, energía eléctrica, gas, etc., en relación con lo que el usuario ha consumido anteriormente.

**Comparación con promedios históricos:** La desviación se determina comparando el consumo actual con el promedio de los últimos tres períodos de facturación (si es bimestral) o seis períodos (si es mensual).

**Investigación obligatoria:** La empresa prestadora del servicio está obligada a investigar la causa de la desviación antes de facturar, para determinar si se trata de un error en la medición, una fuga, un cambio en el comportamiento del usuario o alguna otra circunstancia.

**Marco Legal y Regulación (Ley 142 de 1994):** Esta ley establece las bases para la prestación de servicios públicos domiciliarios en Colombia y, aunque no define explícitamente "desviación significativa", sí establece la obligación de investigar las variaciones en el consumo. (Congreso de la Republica de Colombia, 1994)

**Resoluciones de la CREG:** Según la Resolución CREG 105-007 de 2024, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) ha emitido resoluciones que desarrollan el concepto de desviación significativa y establecen procedimientos para su tratamiento. (Resolución CREG 105-007, 2024).

**SSPD:**

La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios vigila el cumplimiento de la normativa y puede sancionar a las empresas que no investiguen adecuadamente las desviaciones significativas. (SSPD, 1994).

**Procedimiento en caso de desviación significativa:**

1. **Detección:** La empresa identifica un cambio inusual en el consumo del usuario.
2. **Investigación:** La empresa debe investigar la causa de la desviación, realizando visitas técnicas si es necesario.
3. **Facturación:** Mientras investiga, la empresa puede facturar promediando el consumo de los últimos periodos.
4. **Información al usuario:** La empresa debe informar al usuario sobre la desviación y el proceso de investigación.
5. **Resolución:** Una vez aclarada la causa de la desviación, se procede a facturar correctamente, ya sea con base en el consumo real o en un promedio ajustado

**Tipos de desviaciones:**

- **Desviación positiva:** El consumo registrado es mayor al esperado. Puede deberse a fugas antes del medidor, aumento real del uso de agua, errores de lectura, o conexiones no autorizadas detectadas y regularizadas.
- **Desviación negativa:** El consumo registrado es menor al esperado. Puede deberse a medidores defectuosos, errores de lectura, reducción real del consumo, conexiones fraudulentas o fugas después del medidor.

**¿Cómo se calcula?**

Generalmente se usa el treinta y cinco por ciento (35%) para usuarios con un promedio de consumo mayor o igual a cuarenta metros cúbicos (40m<sup>3</sup>). Sesenta y cinco por ciento (65%) para usuarios con un promedio de consumo menor a cuarenta metros cúbicos (40m<sup>3</sup>). Para las instalaciones nuevas y las antiguas sin consumos históricos válidos, el límite superior será 1.65 veces el consumo promedio para el estrato o categoría de consumo y el límite inferior será 0.35 multiplicado por dicho consumo promedio. Si el consumo llegara a encontrarse por fuera de estos límites, se entenderá que existe una desviación significativa. En zonas donde exista estacionalidad en el consumo, la comparación del consumo a la que se refiere este artículo, podrá realizarse con el mismo mes del año inmediatamente anterior. (EAAAY, 2024)

Desviación=Consumo registrado–Consumo esperado

Si el resultado es positivo → se consumió más agua de lo previsto.

Si el resultado es negativo → se consumió menos agua de lo previsto.

**Importancia en el acueducto:** Las empresas de servicios públicos usan las desviaciones para:

- Detectar fraudes o consumos anómalos.
- Programar revisiones y mantenimientos de medidores.
- Mejorar la facturación y control de pérdidas.
- Alimentar indicadores como el IPUF o el IANC, que miden el agua no contabilizada.

Concepto	Descripción	Fórmula	Ejemplo numérico	Posibles causas	Impacto en IPUF
<b>Consumo esperado</b>	Promedio de consumo histórico del usuario (puede calcularse con los últimos 12 meses previos).	$C_{esp} = \frac{\text{Suma consumos historicos}}{n^{\circ} \text{ meses}}$	(12 + 14 + 13) / 3 = 13 m <sup>3</sup>	Actividad normal del usuario.	Base de comparación para detectar desviaciones.
<b>Consumo medido</b>	Lectura medida por el medidor en el período.		9 m <sup>3</sup>	Lectura real del equipo de medición.	Menor registro reduce desviación.

<b>Desviación de medición</b>	Diferencia entre consumo esperado y medido.	$D = C_{reg} - C_{esp}$	$9 - 13 = -4$ $m^3$	Medidor defectuoso, errores de lectura, reducción real del consumo, fraudes, fugas internas después del medidor.	Valor negativo indica menor consumo frente al esperado.
<b>Desviación negativa</b>	Cuando $D < 0$ . Significa que se consumió menos de lo que se esperaba.		$-4 m^3$	Medidor defectuoso, errores de lectura, reducción real del consumo, fraudes, fugas internas después del medidor.	Disminuye volumen de agua no contabilizada, elevando el IPUF.

**Tabla 2,** Parámetros de consumo y su relación con el índice de perdidas por usuario facturado (IPUF)

Fuente, elaboración propia con asistencia de ChatGPT (OpenAI 2025). <https://chat.openai.com/>

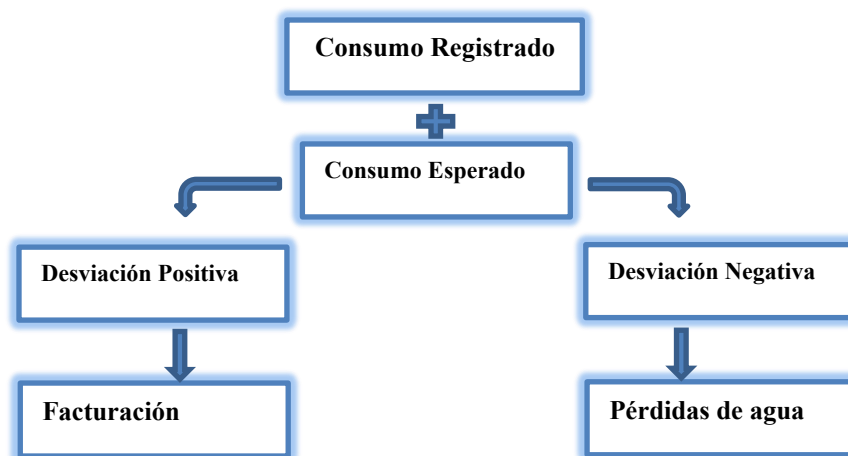
### Ejemplo aplicado de IPUF

$$IPUF = \frac{\text{Volumen de agua no contabilizada}}{\text{Usuarios facturados}}$$

Si una empresa tiene 1000 usuarios y las desviaciones negativas suman  $4000 m^3$  en el mes, ese valor se suma al “agua no contabilizada”.

$$IPUF = \frac{4000}{1000} = 4m^3/usuario$$

Este valor se compara con la meta definida por la CRA.



**Figura 2,** Desviación de consumo de acueducto.

Fuente: Elaboración propia.

## **IANC, o Índice de Agua No Contabilizada**

Es un indicador que mide las pérdidas de agua en un sistema de acueducto, tanto técnicas como comerciales, según estudios de análisis de agua no contabilizada. Un IANC alto indica ineficiencia en la gestión del agua y puede afectar la calidad del servicio y la sostenibilidad de la empresa. El IANC se calcula como la diferencia entre el agua que ingresa al sistema y el agua que se factura, expresada como un porcentaje.

### **¿Qué incluye el IANC?**

**Pérdidas técnicas:** Fugas en tuberías, accesorios, tanques, y otros componentes del sistema.

**Pérdidas comerciales:** Consumo no facturado, fraudes, errores en la medición, entre otros.

### **Importancia del IANC**

Cuando el IANC es alto, esto indica ineficiencia en la gestión del agua potable y puede generar pérdidas económicas para la empresa de acueducto, además conlleva a problemas de presión y suministro de agua, como también puede comprometer la sostenibilidad financiera del sistema de acueducto.

### **Reducción del IANC**

Para lograr la reducción del IANC se requiere la implementación de programas de gestión para identificar y reparar fugas en el sistema, como también de medidas para prevenir y detectar fraudes en el consumo de agua, y finalmente asegurar la correcta medición del agua suministrada y facturada, todo esto mediante la realización de inversiones en infraestructura y tecnologías para mejorar la eficiencia del sistema.

**Valores aceptables según normativa:** El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS, 2017) establece como valor aceptable un IANC

máximo del 30 %, incluyendo tanto pérdidas técnicas como comerciales. (Rúa Franco, 2021).

En la regulación tarifaria (Resolución CRA 287 de 2004), también se contempla un nivel máximo de pérdidas aceptable del 30 % para efectos de cálculo de costos. (La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2004)

### **IPUF o Índice de Pérdidas por Usuario Facturado**

Es un indicador utilizado por las empresas de acueducto en Colombia para medir las pérdidas de agua no contabilizadas. Es un reemplazo del antiguo IANC (Índice de Agua No Contabilizada). El IPUF se calcula dividiendo el volumen de agua no contabilizada por el número de usuarios facturados.

El IPUF es importante porque ayuda a las empresas de acueducto a identificar ineficiencias en sus sistemas y a implementar medidas para reducir las pérdidas de agua. La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) establece metas anuales para la reducción de pérdidas en los sistemas de acueducto. (CRA, 2004)

La CRA también ha emitido conceptos y aclaraciones sobre el IPUF, incluyendo la forma de calcularlo y las responsabilidades de los prestadores del servicio. Por ejemplo, la CRA ha aclarado que todos los prestadores, incluso aquellos con menos de 5,000 suscriptores, deben aplicar el IPUF, aunque algunos pueden continuar usando un valor fijo de 6 m<sup>3</sup>/suscriptor/mes (CRA, 2017).

Por su parte, en la Resolución CRA 688 de 2014 se cambió el tipo de indicador empleado para la determinación de las pérdidas de agua. Sobre el particular, es necesario señalar que se cambió el IANC (indicador de tipo porcentual) por el Índice de Pérdidas de Agua por Suscriptor Facturado - IPUF (indicadores de tipo operacional), el cual tiene por objeto medir la gestión operativa de los prestadores en el manejo de las pérdidas, por lo cual los parámetros usados para su construcción buscan cuantificar en volumen y no en costos el nivel de pérdidas de un sistema. (CRA, 2014)

De acuerdo con lo anterior, en el artículo 18 de la Resolución CRA 688 de 2014 se definió la fórmula para calcular el IPUF del año base del suscriptor, la cual se presenta a continuación:

$$IPUF_0 = \frac{AS_0 - AF_{0,ac}}{N_{0,ac} * 12}$$

Donde:

$IPUF_0$ : Índice de pérdidas por suscriptor facturado en el año base (m3/suscriptor/mes).

$AF_{0,ac}$ : Consumo de agua facturada para el servicio público domiciliario de acueducto en el año base (m3/año).

$N_{0,ac}$ : Número de suscriptores facturados promedio en el año base para el servicio público domiciliario de acueducto. En el caso de facturación mensual corresponde al promedio de los doce meses del año base. En el caso de facturación bimestral, corresponde al promedio de los seis bimestres del año base.

$AS_0$ : Agua potable suministrada en el año base (m3/año).

$$AS_0 = AP_0 + RCSAP_0 - ECSAP_0$$

$AP_0$ : Agua producida en el año base (m3/año).

$RCSAP_0$ : Volumen recibido por contratos de suministro de agua potable en el año base (m3/año).

$ECSAP_0$ : Volumen entregado por contratos de suministro de agua potable en el año base (m3/año).

Entonces, para efectos de calcular las proyecciones que permiten determinar los costos de prestación, el artículo 9 de la Resolución CRA 688 de 2014 estableció que las personas prestadoras deberán establecer metas anuales para reducir la diferencia entre el valor del año base y el estándar de servicio, con la gradualidad exigida. De acuerdo con lo anterior, se definió que el estándar de eficiencia para el IPUF, es decir, el IPUF\* -

Índice de Pérdidas por Suscriptor Facturado estándar debe ser menor igual a 6 ms/suscriptor/mes. (CRA, 2014)

En cuanto a las metas de gradualidad, el mencionado artículo estipuló que para el año 5 debe lograrse el 50% de la diferencia entre el IPUF0 y el IPUF\*, y para el año 10 debe lograrse el 75%. Al respecto, es importante señalar que el parágrafo 6 del artículo 9 de la Resolución CRA 688 de 2014 establece que todas las personas prestadoras deberán establecer un Plan de Reducción de Pérdidas detallado para el índice IPUF con metas anuales. (CRA, 2014)

### **El PQRS (Peticiones, Quejas, Reclamos y Sugerencias)**

es un sistema que las empresas utilizan para gestionar la retroalimentación de los clientes. Su objetivo principal es recibir y dar respuesta a las inquietudes de los clientes, ya sea peticiones de información, quejas por insatisfacción, reclamos por incumplimientos o sugerencias para mejorar. El PQRS permite a las empresas identificar áreas de mejora, solucionar problemas y, en última instancia, ofrecer un mejor servicio al cliente. Es una herramienta clave para construir relaciones sólidas con los clientes y mejorar su satisfacción.

### **El Sistema Único de Información (SUI)**

Es una plataforma del gobierno colombiano que recopila, almacena, procesa y publica información sobre los servicios públicos domiciliarios. Este sistema centraliza la información que reportan las empresas prestadoras de servicios y las entidades territoriales, buscando unificar la información y evitar duplicidades.

El SUI se encarga de recolectar, almacenar, procesar y publicar información relevante sobre los servicios públicos domiciliarios. Su objetivo principal es unificar la información proveniente de diferentes fuentes para evitar duplicidades y mejorar la gestión de los servicios públicos. Este aplica a las empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios y a las entidades territoriales que tienen relación con la prestación

de estos servicios, este facilita el acceso a la información sobre servicios públicos para diferentes actores, como el gobierno, las empresas y los usuarios. Se reportan datos relacionados con la prestación de servicios como agua potable, saneamiento básico, energía eléctrica, gas combustible y servicios de aseo.

El SUI se rige por la Ley 689 de 2001, que modificó la Ley 142 de 1994. Esta ley establece que la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) debe administrar, mantener y operar el SUI. (Congreso de Colombia, 2001)

### **La anonimización**

Es el proceso de eliminar o modificar datos personales para que no puedan ser asociados con una persona específica. Este proceso permite utilizar los datos para análisis y otros fines, sin comprometer la privacidad de los individuos. Es una técnica que se utiliza para proteger la privacidad de los datos personales. Consiste en transformar los datos de tal manera que sea imposible o extremadamente difícil identificar a la persona a la que corresponden. Esto se logra mediante la eliminación de identificadores directos (como nombre, dirección, número de identificación) y, en algunos casos, también de identificadores indirectos (como fecha de nacimiento, código postal).

### **Medidor de agua ultrasónico**

Es un dispositivo innovador y de alta precisión que utiliza tecnología ultrasónica para medir el flujo de agua. Estos medidores son livianos, construidos con materiales resistentes como composite o poliamida, y están diseñados para una variedad de aplicaciones. Son conocidos por su alta precisión (R400) y pueden operar bajo presiones de hasta 1.6 MPa. El diámetro nominal de 1/2" (DN15) se refiere al tamaño de la tubería en la que se instala el medidor. El transductor genera una señal ultrasónica que atraviesa la pared de la tubería hacia el líquido que fluye; el transmisor convierte la diferencia entre sus frecuencias de salida y entrada en pulsos electrónicos. Procesados, escalados y totalizados, los pulsos proporcionan una medición del caudal.



**Figura 3,** *Medidor Ultrasónico – UP*

Fuente: [https://equysis.com/Producto/medidor-ultrasonico-up\\_11](https://equysis.com/Producto/medidor-ultrasonico-up_11)

## **Sensores IoT**

Son dispositivos que miden datos físicos (como temperatura, humedad, presión, etc.) y los transmiten a través de una red para su análisis y uso en sistemas automatizados o de toma de decisiones. Son componentes esenciales del Internet de las Cosas (IoT) que permiten la conexión entre el mundo físico y el digital.

### **¿Cómo funcionan?**

- **Captura de datos:** Los sensores IoT detectan y miden variables físicas o ambientales, como temperatura, humedad, presión, movimiento, luz, sonido, etc.
- **Transmisión de datos:** Los datos capturados se transmiten a través de una red (generalmente inalámbrica, como Wi-Fi, Bluetooth o redes móviles) a un sistema de procesamiento o plataforma en la nube.
- **Análisis y acción:** Los datos son analizados para generar información útil, activar alertas, predecir necesidades o automatizar tareas.

### **Tipos de sensores IoT:**

Tipo	Descripción
Sensores de temperatura y humedad	Usados en HVAC, agricultura, meteorología y monitoreo ambiental.
Sensores de presión	Usados en aplicaciones industriales, automotrices y meteorológicas
Sensores de movimiento	Detectan presencia y movimiento para seguridad y automatización.
Sensores de luz	Usados para controlar la iluminación y la eficiencia energética.
Sensores de calidad del aire	Monitorean contaminantes y gases para salud y medio ambiente.
Sensores de nivel	Usados para controlar el nivel de líquidos en tanques o depósitos.
Sensores de fugas de agua	Detectan fugas y previenen daños por agua.
Sensores de imagen (cámaras)	Capturan imágenes y videos para seguridad, reconocimiento y vigilancia
Sensores biométricos	Miden parámetros biológicos para control de acceso, seguridad y salud
Sensores de fatiga	Monitorean el estado físico de los conductores para prevenir accidentes
Sensores de nivel de carga	Detectan movimientos inestables en mercancías peligrosas

**Tabla 3,** Tipos de *sensores IoT*  
Fuente: elaboración propia.

## Un Dashboard

Conocido también como cuadro de mando, en el contexto de sistemas de información, es una herramienta de visualización que presenta datos clave de manera gráfica y concisa, permitiendo a los usuarios monitorear el rendimiento, analizar tendencias y tomar decisiones informadas. Se trata de una interfaz que organiza y resume información relevante de diversas fuentes, mostrando indicadores clave de rendimiento (KPIs) y otras métricas importantes para un objetivo o proceso específico.

## Excel

Una base de datos es simplemente una tabla estructurada de datos organizada en filas y columnas. Se utiliza para almacenar y gestionar información de manera organizada, permitiendo realizar diversas operaciones como filtrar, ordenar, analizar y

extraer datos específicos. Aunque Excel no es un sistema de gestión de bases de datos completo como Access o SQL Server, su facilidad de uso y familiaridad lo convierten en una herramienta útil para la gestión de datos en muchas situaciones, especialmente para proyectos pequeños o personales.

### **La seguridad de la información**

se refiere a las prácticas, políticas y controles que buscan proteger los datos frente a accesos no autorizados, modificaciones indebidas o pérdidas, con el fin de garantizar la confianza en los sistemas de información. En Colombia, este concepto se relaciona directamente con la protección de los datos personales, el respeto a la intimidad y el uso responsable de la información en entornos digitales. Además, comprende tanto aspectos técnicos como el uso de herramientas tecnológicas y organizacionales, incluyendo la definición de políticas, responsabilidades y procedimientos dentro de las instituciones (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2016).

## **Marco Contextual**

### **Los acueductos en el contexto nacional**

En Colombia, las empresas de acueducto constituyen un servicio público esencial, regulado por la Ley 142 de 1994, que establece el marco para la prestación de los servicios públicos domiciliarios de agua potable y saneamiento básico (Congreso de la República de Colombia, 1994).

Según el Programa Conjunto de Monitoreo de la Organización Mundial de la Salud y UNICEF, para 2022 el 74 % de la población en Colombia utiliza un servicio de agua potable gestionado sin riesgos (WHO/UNICEF, 2023).

El acceso al agua potable se reconoce como un derecho fundamental en la Constitución Política de Colombia (1991, art. 49) y en desarrollos jurisprudenciales posteriores.

Colombia cuenta con una gran diversidad geográfica e hidrológica, rica en recursos hídricos; sin embargo, la cobertura, calidad y continuidad del servicio de acueducto presentan variaciones significativas entre las zonas urbanas y rurales. Según datos de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) y el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, la cobertura urbana supera el 97 %, mientras que en

áreas rurales oscila entre el 70 % y el 75 %. Esta brecha se debe a factores como dispersión poblacional, limitaciones técnicas y restricciones presupuestales y falta de gestión gubernamental, los acueductos veredales no son viables vía tarifa, debido a su alto costo al producir un metro cúbico de agua potable y la gran inversión de infraestructura, para poder tratar el preciado líquido, el valor de retorno facturado a los usuarios es menor al costo de producción, por tal motivo los acueductos veredales en el caso de los llanos orientales son responsabilidad de su gestión a las alcaldías municipales o por las JAC.(SSPD, 2022; MinVivienda 2022).

### **Administración de acueductos según legislación colombiana**

- Empresas de servicios públicos oficiales Como el caso de la EAAAY Empresa de Acueducto Alcantarillado y Aseo de Yopal (municipales o departamentales).
- Empresas privadas bajo regulación estatal como Aguas de Cartagena.
- Organizaciones comunitarias (Juntas Administradoras de Servicios – JAS). Acueducto Veredal de Morichal, Municipio de Yopal Casanare.
- Modelos mixtos, donde el Estado y privados participan conjuntamente como Acuavalle. (Congreso de la Republica de Colombia, 1994)

La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) es la responsable de establecer el marco tarifario y regulatorio, mientras que la Superintendencia de Servicios Públicos (SSPD) ejerce funciones de vigilancia y control. Por su parte, el Instituto Nacional de Salud (INS) y las secretarías de salud departamentales supervisan la calidad del agua conforme a la Resolución 2115 de 2007, que regula el cálculo del IRCA (Congreso de la República de Colombia, 1994; Ministerio de la Protección Social, 2007).

El índice de agua no contabilizada (IANC) sigue siendo alto en varios municipios del país, afectando su eficiencia y sostenibilidad, en el año 2017, el promedio nacional fue 43,6 %, este porcentaje refleja que más del 40% del agua tratada en los acueductos se está perdiendo, no se está facturando, generando traumas económicos a las empresas, de

hecho, esta es una de las causantes de las intervenciones del estado a los acueductos, como el caso de la EAAAY. (SSPD, 2018).

El Plan Nacional de Desarrollo y los programas de inversión como “Agua al Barrio” o el Plan Departamental de Agua (PDA) buscan aumentar la cobertura, mejorar la eficiencia operativa, reducir el IANC y garantizar la potabilidad. También se promueve el uso de tecnologías como Big Data, telemetría y sistemas de modelación hidráulica para optimizar la gestión. (MinVivienda, 2020; DNP, 2023).

### **Empresa de Acueducto, Alcantarillado y aseo de Yopal (EAAAY) en contexto**

La empresa de servicios públicos domiciliarios Triple A del municipio de Yopal (Casanare, Colombia) se encuentra actualmente intervenida por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Desde el 24 de junio de 2025, fue designado como agente interventor el economista Carlos Andrés Pinzón Garzón, especialista en Finanzas y con amplia experiencia en el sector público (SSPD, 2025)

Para diciembre de 2024, la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal (EAAAY) contaba con 48 519 suscriptores de acueducto, 45 006 de alcantarillado y 37 150 de aseo (EAAAY, Informe de gestión parcial, 2024).

Asimismo, según las proyecciones del DANE, la población de Yopal en 2024 fue de 194 079 habitantes, de los cuales 98 599 eran mujeres (50,8 %) y 95 480 hombres (49,2 %) (DANE, estimaciones municipales 2024).

Según el reporte de los indicadores el IPUF terminó en 16.76 metros cúbicos por usuario facturado las pérdidas, un IANC del 54.90% significando que la EAAAY está perdiendo más del 50% de su agua tratada enviadas por las redes, este valor es demasiado alto, según la regulación el valor máximo aceptado es del 30%, lo que significa que la empresa está siendo ineficiente en el control de sus pérdidas técnicas y Comerciales. (EAAAY, 2024).

## **La seguridad de la información en el contexto Nacional.**

En Colombia, la seguridad de la información está respaldada por la Constitución Política, la cual en su Artículo 15 protege el derecho a la intimidad y al buen nombre, y en el Artículo 20 garantiza la libertad de información y la protección de datos personales (Constitución Política de Colombia, 1991).

### **Este marco constitucional se complementa con una normativa específica:**

- Ley 1581 de 2012, sobre protección de datos personales.
- Ley 1273 de 2009, que tipifica delitos informáticos y protege la información digital.
- Decreto 1072 de 2015, que integra aspectos de seguridad en el trabajo, incluyendo la gestión de la información.
- Decreto 338 de 2022, que fortalece la gobernanza de la seguridad digital en el país.

Asimismo, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) impulsa la Política de Seguridad Digital, con el fin de que ciudadanos, empresas y entidades públicas comprendan los riesgos digitales y apliquen medidas de protección (MinTIC, 2016). Aunque no es ley, la norma ISO/IEC 27001 constituye un estándar internacional ampliamente adoptado para la gestión de la seguridad de la información, aportando lineamientos prácticos a las organizaciones (ISO, 2013).

## **Desarrollo e Implementación del Aprendizaje**

Aplicar Big Data a una empresa de servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo puede generar enormes beneficios en eficiencia operativa, reducción de pérdidas, mejora en la calidad del servicio, y toma de decisiones estratégicas basadas en datos. El proceso para aplicar Big Data en acueducto, alcantarillado y aseo sería el siguiente:

- Recolección y consolidación de datos
- Limpieza y preparación de datos
- Análisis de patrones y detección de anomalías
- Modelos predictivos básicos
- Visualización y reporte
- Mejora continua y escalado

### **Gestión del acueducto (agua potable)**

#### **Datos a recolectar:**

- Sensores IoT: presión en la red, caudalímetros, medidores de presión, turbidez, cloro residual y de flujo.
- Lecturas de consumo en tiempo real (medidores inteligentes).
- Datos meteorológicos y de fuentes de agua: Lluvia, temperatura, humedad, evaporación
- Reportes de fugas y daños.
- Historial de mantenimiento.
- Aplicar telemetría a los medidores de los usuarios
- SCADA: Monitoreo y control en plantas y estaciones de bombeo.

- GIS: Localización y características de redes, válvulas y tanques.
- Reportes de usuarios: Averías, fugas, baja presión.

### **Aplicaciones:**

- Detección temprana de fugas o fraudes mediante análisis de consumo anómalo.
- Predicción de demanda hídrica según clima, estacionalidad y comportamiento del usuario.
- Optimización de bombeo y tratamiento para ahorrar energía.
- Modelos predictivos para mantenimiento preventivo (evitar fallos costosos).
- Localizar desviaciones de consumo negativas que afecta los metros cúbicos facturados a favor de los usuarios
- Balance hídrico en tiempo real para reducir el IANC (Índice de Agua No Contabilizada).
- Optimización energética en bombeos y plantas.
- Alertas tempranas por cambios en la calidad del agua.
- Priorización de mantenimientos según criticidad y riesgo.
- Planificación de inversiones con base en patrones de consumo y fallas históricas.

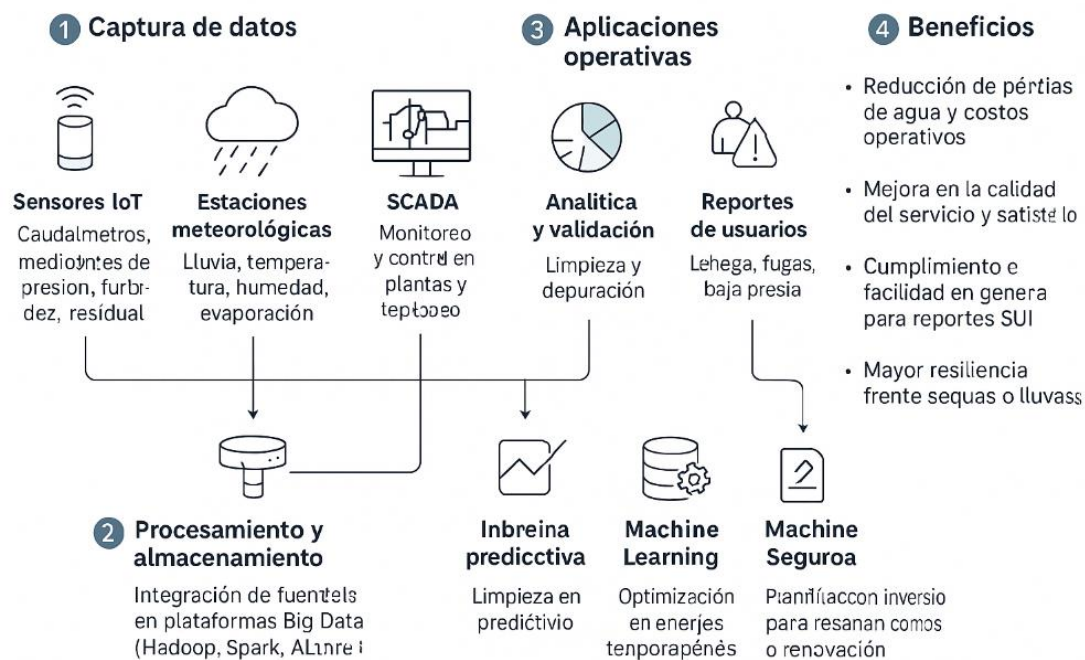
### **Procesamiento y almacenamiento**

- Integración de fuentes en plataformas Big Data (Hadoop, Spark, AWS, Azure).
- Limpieza y depuración para eliminar datos erróneos o duplicados.
- Análisis predictivo: Modelos que anticipan fugas, roturas o sobrepresiones.
- Machine Learning: Optimización automática de presiones y caudales.
- Almacenamiento seguro en Data Lakes y bases analíticas.

### **Beneficios:**

- Reducción de pérdidas de agua y costos operativos.
- Mejora en la calidad del servicio y satisfacción del usuario.
- Cumplimiento normativo y facilidad en la generación de reportes para el SUI.
- Mayor resiliencia frente a sequías o lluvias extremas.

## Big Data en la Gestión del Acueducto



**Figura 3.** Big Data en la Gestión del Acueducto

Fuente: Open AI (2025) generada con ChatGPT, <https://chat.openai.com/>

### Gestión del Alcantarillado (aguas residuales)

#### Datos a recolectar:

- Datos de precipitación y eventos meteorológicos: Lluvia, humedad, tormentas y pronósticos.
- Imágenes o videos de inspección de redes (drones, robots, cámaras).
- Registros de fallas y obstrucciones pasadas.

- Registros históricos: Patrones de consumo, épocas de lluvias y zonas con frecuentes incidencias.
- Imágenes satelitales y drones: Detectan acumulaciones, hundimientos o erosiones.
- Mapas GIS: Información georreferenciada de la red y su antigüedad.
- Sensores IoT en tuberías y estaciones: Miden caudal, presión, nivel de agua, velocidad de flujo y presencia de obstrucciones, calidad del agua residual, detectan pH, turbidez, contaminantes y temperatura.

### **Aplicaciones:**

- Monitoreo en tiempo real de redes de alcantarillado para evitar desbordamientos.
- Predicción de inundaciones urbanas o sobrecarga por lluvias fuertes.
- Identificación de puntos críticos que requieren limpieza o intervención frecuente.
- Análisis de calidad del agua residual para asegurar cumplimiento normativo.

El Big Data aplicado a redes de alcantarillado permite monitorear, predecir y optimizar la operación de los sistemas de drenaje y aguas residuales, evitando problemas como inundaciones, desbordamientos o fallas estructurales.

### **Procesamiento y análisis con Big Data**

- Monitoreo en tiempo real: Detecta anomalías como aumentos súbitos de caudal que puedan indicar fugas o lluvias intensas.
- Modelos predictivos: Anticipan inundaciones y desbordamientos usando datos climáticos e históricos.
- Mantenimiento predictivo: Identifica tuberías o estaciones que están próximas a fallar.
- Optimización de flujo: Ajusta compuertas o bombas automáticamente para distribuir la carga hidráulica.
- Análisis geoespacial: Localiza zonas críticas y planifica obras de mejora.

**Aplicaciones prácticas:**

- Prevención de inundaciones urbanas en época de lluvias.
- Control de vertidos ilegales gracias al monitoreo de la calidad del agua.
- Planificación de renovaciones según la vida útil de los tramos más antiguos.
- Ahorro energético en estaciones de bombeo al gestionar flujos de forma inteligente.

**Beneficios**

- Menos riesgo de inundaciones y daños a la infraestructura.
- Menor costo de mantenimiento gracias a reparaciones planificadas.
- Mejor calidad del agua y control de contaminación.
- Respuesta más rápida ante emergencias.
- Decisiones basadas en datos para inversión y planeación.

**Ejemplo real:** En Copenhague, Dinamarca, el sistema de alcantarillado cuenta con miles de sensores que envían datos a una plataforma Big Data. Con algoritmos de predicción de lluvias, redirigen el flujo y evitan que las plantas de tratamiento se saturen, reduciendo las descargas de aguas sin tratar al mar.

**Gestión del Aseo (recolección de residuos)****Datos para Big Data:**

- Rutas de recolección con GPS en camiones.
- Comportamiento de disposición de residuos por zona.
- Datos de reciclaje y separación en la fuente.
- Datos (sensores IoT) en vehículos contenedores: Miden ubicación (GPS), velocidad, consumo de combustible, tiempos de parada y estado del contenedor (nivel de llenado), temperatura (para residuos orgánicos) y peso

- Datos históricos: Registros de rutas anteriores, incidencias, horarios y volúmenes recolectados.
- Datos externos: Tráfico en tiempo real, clima, obras viales y eventos especiales que afectan el recorrido.
- Participación ciudadana: Reportes de usuarios vía apps o redes sociales sobre puntos de acumulación o problemas.

### **Aplicaciones:**

- Optimización de rutas para reducir consumo de combustible y tiempo.
- Predicción de puntos de acumulación de residuos y planificación proactiva.
- Campañas dirigidas basadas en datos reales sobre malas prácticas de disposición.
- Monitoreo de cumplimiento de recolección por parte de contratistas.
- Ciudades inteligentes: Gestión eficiente de residuos urbanos con rutas adaptativas.
- Empresas de logística: Optimización de rutas para recolección de materiales reciclables.
- Sector agrícola: Recolección de productos perecederos según madurez y ubicación.
- Centros de distribución: Coordinación de recogida de devoluciones o productos dañados.

El Big Data aplicado a rutas de recolección se utiliza para optimizar la logística, reducir costos, mejorar el servicio y minimizar el impacto ambiental en actividades como recolección de basura, reciclaje, transporte de mercancías o distribución de insumos.

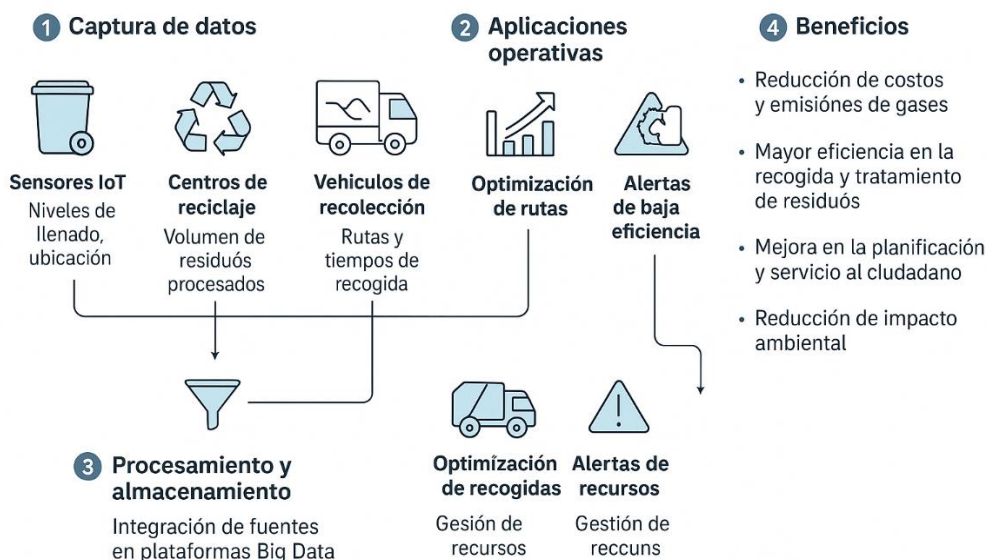
### **Beneficios:**

- Menor costo operativo: Menos combustible y horas hombre.
- Impacto ambiental reducido: Menos emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Mayor puntualidad: Evita retrasos por tráfico o cambios de última hora.
- Decisiones basadas en datos: Reportes y métricas para mejorar continuamente.

- Mejor servicio al ciudadano o cliente: Menos quejas y contenedores desbordados.

**Ejemplo real:** En ciudades como Barcelona y Ámsterdam, los camiones de basura llevan GPS y los contenedores sensores de llenado. El sistema central procesa la información en tiempo real y asigna rutas diferentes cada día, evitando recoger contenedores medio vacíos y priorizando los que están al 90% de su capacidad.

## Big Data en la Gestión del Aseo



**Figura 4,** *Big Data en la Gestión del Aseo*

Fuente: Open AI (2025) generada con ChatGPT, <https://chat.openai.com/>

### Atención al Usuario y Servicio al Cliente.

Proceso paso a paso para aplicar Big Data en la gestión de PQRS (Peticiones, Quejas, Reclamos y Sugerencias) en empresas de acueducto, alcantarillado y aseo

#### Datos a recolectar:

- Quejas y solicitudes (canales digitales, call center).
- Historial de pagos y consumo.

- Interacciones en redes sociales.
- Encuestas de satisfacción.
- Sistema interno de PQRS.
- Call center (grabaciones, registros).
- Formularios web y apps móviles.
- Redes sociales (comentarios, menciones, mensajes directos).
- Encuestas de satisfacción.
- Correos electrónicos y chats.

**En Excel:**

Crear una hoja con campos clave: ID de caso, fecha, canal, tipo (Petición, Queja, Reclamo, Sugerencia), servicio afectado, zona, estado, tiempo de respuesta, satisfacción o si se tiene un software especializado en PQRS es gestionar estas bases con Big Data.

**Aplicaciones:**

- Análisis de sentimiento para detectar problemas recurrentes.
- Segmentación de usuarios para ofrecer planes o beneficios personalizados.
- Predicción de morosidad y estrategias de cobranza inteligente.
- Automatización de atención mediante chatbots basados en IA.

**Limpieza y Clasificación de Datos**

**Objetivo:** Garantizar que los datos sean claros, estandarizados y útiles.

**Acciones:**

- Estandarizar categorías (ej. “falta de agua” siempre con el mismo nombre).
- Eliminar duplicados.
- Corregir registros incompletos.

**Etiquetar cada caso con:**

- Tipo de servicio afectado: Acueducto, Alcantarillado, Aseo.
- Nivel de prioridad: Alta, Media, Baja.
- Tema recurrente: fuga, facturación, demoras, recolección, etc.

**Análisis de Patrones y Tendencias**

**Objetivo:** Detectar problemas recurrentes y medir desempeño.

Acciones en Excel / Power BI:

- Tablas dinámicas por tipo de caso, canal, zona y servicio.
- Gráficos de tendencia de casos por mes.
- Identificar picos anormales (ej. aumento de quejas por baja presión tras una obra).
- Análisis de tiempos de respuesta promedio vs estándar regulatorio.
- Detectar zonas con mayor número de reclamos.

**Análisis de Sentimiento**

**Objetivo:** Conocer la percepción del usuario a partir de texto libre.

**Acciones:**

- Exportar los textos de PQRS y aplicar herramientas externas de análisis de sentimiento (Power BI con Azure Cognitive Services, Python con librerías como TextBlob o NLTK).
- Clasificar como positivo, neutro o negativo.
- Relacionar sentimientos con servicios y zonas.

## **Modelos Predictivos y Automatización**

**Objetivo:** Predecir y priorizar casos antes de que se vuelvan críticos.

### **Acciones:**

- Modelos simples en Excel con tendencia histórica para estimar volúmenes futuros de PQRS por tipo.
- Sistemas automáticos de alerta temprana cuando el número de casos supera un umbral.
- Chatbots con IA para responder casos repetitivos y liberar al personal humano.

## **Visualización y Reporte**

**Objetivo:** Entregar información clara a gerencia y áreas operativas.

### **Elementos clave en dashboard:**

- Casos por tipo y estado.
- Tiempo promedio de cierre.
- Satisfacción del cliente.
- Zonas críticas.
- Comparación mensual/anual.

## **Mejora Continua**

**Objetivo:** Retroalimentar procesos para reducir PQRS.

### **Acciones:**

- Reuniones mensuales para revisar indicadores.

- Acciones correctivas en servicios con más quejas.
- Capacitación al personal en trato al usuario y solución de problemas.
- Medición de impacto de las mejoras implementadas.

### **Infraestructura y Mantenimiento Predictivo**

- Usa modelos de machine learning para anticipar fallas en equipos, estaciones de bombeo, válvulas o redes.
- Análisis geoespacial con GIS + Big Data para priorizar inversiones en infraestructura deteriorada.
- Digital Twin (réplica digital de la red) para simular cambios o eventos antes de implementarlos.

### **Ciberseguridad y Protección de Datos**

Dado que manejarás grandes volúmenes de información sensible (usuarios, servicios, infraestructura crítica), es vital:

- Aplicar protocolos de seguridad y anonimización de datos.
- Usar plataformas seguras de procesamiento y almacenamiento (cloud, servidores locales encriptados).
- Monitorización de eventos en tiempo real: Análisis de logs, tráfico de red, y comportamiento de usuarios para detectar anomalías.
- Detección proactiva de amenazas (Threat Intelligence): Uso de fuentes externas y modelos predictivos para anticipar ataques.
- Análisis de comportamiento de usuario y entidad (UEBA): Identificación de patrones inusuales que indiquen intrusiones internas o robo de credenciales.
- Correlación masiva de datos: Relacionar datos de diferentes sistemas (firewalls, IDS, aplicaciones, sistemas cloud) para encontrar señales de ataque.
- Respuesta automatizada a incidentes: Activar defensas (bloqueo de IP, aislamiento de sistemas) según indicadores de ataque detectados.

**Beneficios:**

- Detección temprana: Reconocimiento de amenazas antes de que se materialicen.
- Reducción de falsos positivos: Algoritmos que afinan las alertas y evitan sobrecargar a los analistas.
- Investigación forense más rápida: Localización de la causa raíz de incidentes.
- Cumplimiento normativo: Soporte para leyes como Ley 1581 de 2012, Ley de Habeas Data, o ISO 27001 mediante registros detallados y trazabilidad.
- Escalabilidad: Capacidad para manejar datos de múltiples entornos (nube, IoT, sistemas internos) sin perder visibilidad.

**Retos y consideraciones**

- Protección de la privacidad: Asegurar que el análisis de datos no viole derechos de los usuarios.
- Gestión de grandes volúmenes de datos: Necesidad de infraestructura y almacenamiento seguro.
- Falsos negativos: Riesgo de que ciertos ataques pasen desapercibidos si el modelo no está bien entrenado.
- Cumplimiento legal: Asegurar que la recolección y procesamiento cumplan la normativa vigente.
- Recursos y talento especializado: Escasez de expertos en Big Data y ciberseguridad.

**Reportes al SUI (Sistema Único de Información) en empresas de acueducto, alcantarillado y aseo**

Proceso para aplicar Big Data a reportes SUI

**Recolección de Datos, fuentes internas:**

- Facturación.
- Consumos por usuario.
- Registros de PQRS.
- Información operativa (producción de agua, pérdidas, mantenimiento).

#### **Recolección de Datos fuentes externas:**

- Datos normativos del SUI.
- Información meteorológica.
- Datos geoespaciales de redes.

#### **Integración y Limpieza**

- Consolidar todos los datos en un repositorio central (Data Lake o Data Warehouse).
- Eliminar registros duplicados y corregir inconsistencias.
- Estandarizar formatos según los campos exigidos por el SUI.

#### **Procesamiento y Análisis**

- Usar herramientas de Big Data (Hadoop, Spark, Python con Pandas).
- Procesar grandes volúmenes de datos en lotes o en tiempo real.
- Generar métricas claves: continuidad del servicio, pérdidas técnicas y comerciales, indicadores de calidad.

#### **Automatización de Indicadores**

- Crear modelos que calculen automáticamente:
- Índices de agua no contabilizada.
- Porcentaje de quejas resueltas.
- Costos operativos por metro cúbico.

- Vincular con dashboards interactivos (Power BI, Tableau).

### Validación y Control de Calidad

- Comparar resultados con históricos para detectar errores.
- Implementar alertas automáticas si los valores salen de los rangos normativos.

### Generación de Reportes SUI

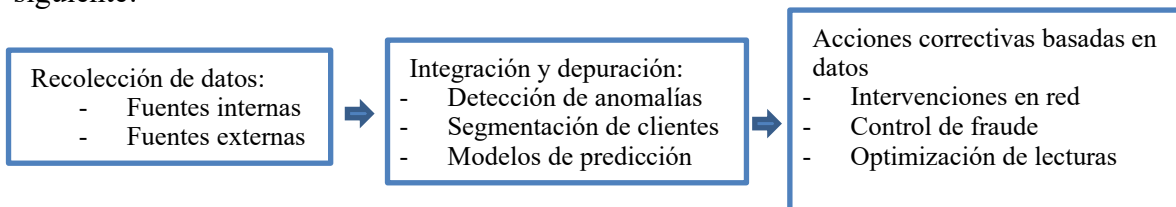
- Exportar datos ya procesados al formato requerido por el SUI (normalmente Excel, CSV o XML).
- Automatizar la carga directa al portal SUI usando scripts o conectores.

### Análisis Predictivo

- Aplicar machine learning para:
- Predecir variaciones en indicadores.
- Detectar posibles incumplimientos antes del reporte oficial.
- Optimizar la gestión operativa y financiera.

### Big Data para reducir el IANC

Para aplicar Big Data para reducir el IANC (Índice de Agua No Contabilizada) y el IPUF (Índice de Pérdidas de Usuarios Facturables) en empresas de acueducto, alcantarillado y aseo, lo más efectivo es estructurar el proceso en cinco fases clave, combinando datos operativos, sensores, modelos analíticos y retroalimentación continua. El proceso es el siguiente:



**Figura 5,** *Diagrama de flujo en reducción de IANC.*

Fuente: elaboración propia

### **Recolección y centralización de datos**

Fuentes de datos:

- Medidores inteligentes (consumo real por hora o minuto).
- SCADA y sensores de presión/caudal en redes.
- Registros de fugas, mantenimientos y reportes de usuarios (PQRS).
- Datos comerciales (facturación, cartera, conexiones ilegales detectadas).
- Imágenes satelitales o drones para detectar zonas de humedad y conexiones clandestinas.

**Objetivo:** tener un Data Lake donde converjan datos históricos y en tiempo real.

### **Limpeza, integración y normalización**

- Eliminar duplicados y corregir datos inconsistentes.
- Cruzar datos técnicos (presión, caudal) con datos comerciales (consumo facturado).
- Georreferenciar toda la información para análisis espacial.

**Ejemplo:** vincular cada usuario con la macrozona o macro ruta, presión promedio, consumo estimado y real.

### **Análisis avanzado con Big Data**

- Detección de fugas físicas:
- Algoritmos de machine learning comparan caudales y presiones para identificar fugas invisibles.
- Detección de fraude y conexiones ilegales:
- Modelos predictivos detectan patrones anómalos en el consumo.
- Análisis predictivo:
- Predecir en qué sectores aumentará el IANC según tendencias y mantenimientos pendientes.
- Mapas de calor:
- Visualizar zonas críticas de pérdidas técnicas y comerciales.

### **Intervención y optimización operativa**

- Sectorización hidráulica para aislar y medir pérdidas en zonas específicas.
- Priorización de mantenimientos en sectores con mayor desviación entre agua producida y facturada.
- Reemplazo focalizado de medidores obsoletos o con sub medición, medidores defectuosos.
- Programas dirigidos contra fraude con apoyo de datos geoespaciales y auditorías.

### **Monitoreo continuo y retroalimentación**

Cuadros de mando (dashboards) en tiempo real para seguimiento del IANC e IPUF.

Indicadores clave:

- Agua producida vs. agua facturada.
- Número de fugas detectadas/mes.
- Recuperación de ingresos por detección de fraudes.
- Uso de IA para recalibrar modelos cada mes con nuevos datos.
- Publicar avances en la reducción de pérdidas para transparencia y control interno.

**Beneficios esperados:**

- Reducción directa del IANC al minimizar fugas y consumos no registrados.
- Disminución del IPUF al facturar correctamente a todos los usuarios reales.
- Mejor planeación de inversiones y mantenimientos.
- Mayor confiabilidad de datos reportados al SUI.

**Big Data usando tablas de Excel**

Proceso paso a paso para aplicar Big Data usando tablas de Excel en empresas de servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.

Aunque Excel no es una plataforma de Big Data “pura”, puede ser el punto de partida para estructurar, limpiar y analizar datos antes de migrar a herramientas más avanzadas como Power BI, Python o bases de datos en la nube.

**Recolección y Consolidación de Datos**

**Objetivo:** Centralizar toda la información relevante en un solo archivo o libro de Excel.

**Acciones:**

- Crear hojas separadas por área:
- Acueducto: consumos, presiones, caudales, fugas reportadas.
- Alcantarillado: niveles de aguas residuales, incidencias, inspecciones.
- Aseo: rutas, volúmenes recolectados, GPS de camiones.
- Importar datos desde:
- Archivos CSV generados por medidores inteligentes.
- Descargas del SUI (Sistema Único de Información).
- Reportes de mantenimiento.
- Encuestas o registros de servicio al cliente.

- Unificar formatos de fecha, unidades (L, m<sup>3</sup>, PSI, km) y nombres de zonas.

## **Limpieza y Preparación de Datos**

**Objetivo:** Asegurar que la información sea precisa y utilizable.

### **Acciones en Excel:**

- Usar Filtros y Formato condicional para detectar datos atípicos o vacíos.
- Aplicar Buscar y reemplazar para estandarizar códigos de zonas o equipos.
- Usar la función =SI.ERROR() para evitar errores en fórmulas por datos faltantes.
- Normalizar unidades:
- Ej.: convertir todos los caudales a L/s.
- Quitar duplicados con Datos → Quitar duplicados.

## **Análisis de Patrones y Detección de Anomalías**

**Objetivo:** Identificar consumos, volúmenes o incidencias inusuales.

### **Acciones en Excel:**

- Crear tablas dinámicas para resumir:
- Consumo promedio por usuario/zona/mes.
- Volumen recolectado por ruta.
- Caudal de entrada vs salida en sectores.
- Usar Gráficos dinámicos para ver tendencias.
- Aplicar fórmulas: Variación porcentual:

$$= (\text{Consumo Actual} - \text{Consumo Promedio}) / \text{Consumo Promedio} * 100$$

Comparación de caudales para detectar pérdidas.

- Usar Segmentadores para filtrar rápidamente por fechas o zonas.

## Modelos Predictivos Básicos

(A nivel inicial en Excel, sin llegar a Machine Learning avanzado)

Acciones:

- Usar la función Pronóstico.ETS para estimar consumos o generación de residuos en los próximos meses.
- Generar tendencias lineales con diagramas de dispersión.
- Calcular indicadores clave:
- IANC/IPUF en acueducto.
- Índice de recolección cumplida en aseo.
- Porcentaje de obstrucciones recurrentes en alcantarillado.

## Visualización y Reporte

**Objetivo:** Convertir los datos en información útil para la toma de decisiones.

Acciones:

- Crear un dashboard en Excel:
- Indicadores clave con colores semáforo (verde = OK, rojo = alerta).
- Mapas básicos insertados como imágenes con sectores coloreados manualmente.
- Usar Power Query para automatizar la actualización de datos.
- Conectar Excel con Power BI para dashboards más avanzados.

## Mejora Continua y Escalado

Acciones:

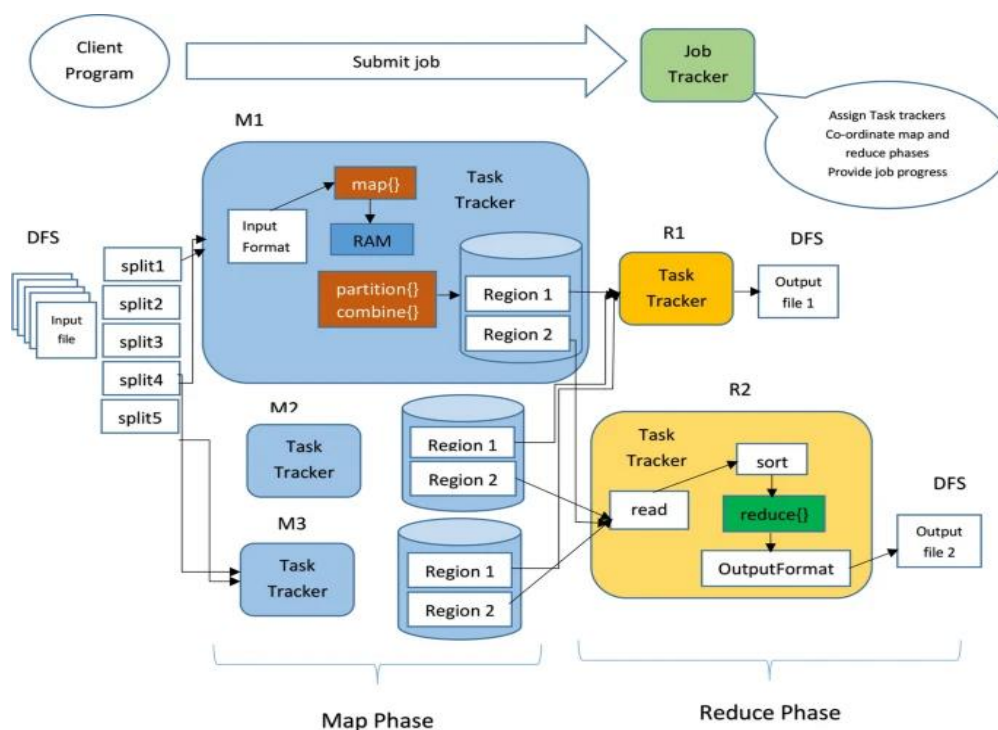
- Documentar el flujo de datos (quién, cómo y cuándo los actualiza).
- Definir frecuencia de actualización (diaria, semanal, mensual).
- Guardar versiones históricas para análisis de largo plazo.
- Cuando el volumen de datos crezca:
- Migrar a bases de datos SQL.
- Usar Python/R para análisis más complejos.
- Integrar IoT y SCADA para datos en tiempo real.

### **Herramientas útiles para implementar Big Data**

- Apache Hadoop / Spark: Procesamiento de grandes volúmenes de datos.
- Power BI / Tableau: Visualización de datos para directivos.
- Python / R: Análisis estadístico, machine learning.
- GIS (ArcGIS, QGIS): Datos geoespaciales para mapas de redes.
- IoT + SCADA: Recolección de datos en tiempo real de sensores.

### **Apache Hadoop / Spark**

Hadoop es un framework de software de código abierto muy popular y útil que permite el almacenamiento distribuido, incluyendo la capacidad de almacenar grandes cantidades de conjuntos de datos en clústeres. Está diseñado para escalar desde un único servidor hasta miles de nodos. Hadoop procesa grandes cantidades de datos simultáneamente y genera resultados rápidos. Sus componentes principales son el Sistema de Archivos Distribuidos de Hadoop (HDFS) y MapReduce. HDFS divide los archivos en pequeños fragmentos, formando bloques, y los guarda en diferentes nodos. MapReduce es un marco computacional que incluye dos operaciones: Mappers y Reducers. Los mappers procesarán archivos basados en la función map y los transferirán a los nuevos pares clave-valor. Luego, los nuevos pares clave-valor se asignan a diferentes particiones y se ordenan según sus claves. (Springer Nature, 2025)

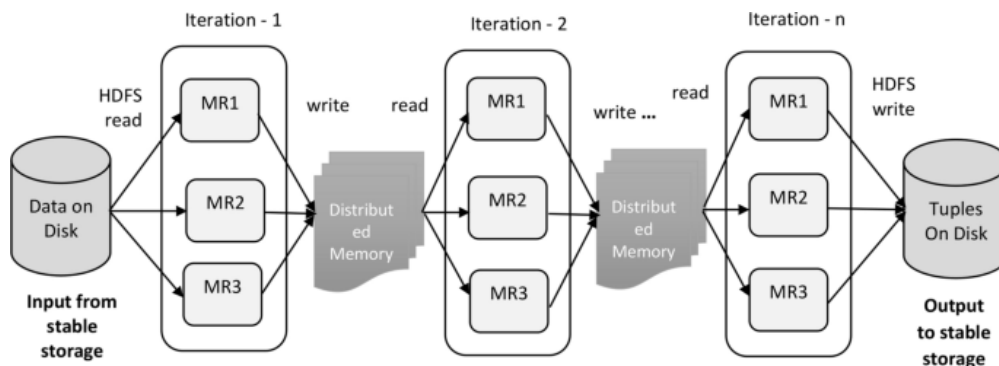


**Figura 6** *Arquitectura de Hadoop MapReduce*

Tomado de: Documentación de Apache Hadoop 2014. <http://hadoop.apache.org/>

Spark se convirtió en un proyecto de código abierto en 2010. Zahari desarrolló este proyecto en AMPLab de UC Berkeley en 2009. Spark ofrece numerosas ventajas para que los desarrolladores creen aplicaciones de Big Data. Spark propuso dos términos importantes: Conjuntos de datos distribuidos resilientes (RDD) y Gráfico acíclico

dirigido (DAG). Estas dos técnicas funcionan juntas a la perfección y aceleran Spark hasta diez veces más rápido que Hadoop en determinadas circunstancias, aunque normalmente solo alcanza un rendimiento dos o tres veces más rápido que MapReduce. Admite múltiples fuentes que tienen un mecanismo de tolerancia a fallos que se puede almacenar en caché y admite operaciones paralelas. (Springer Nature, 2025)



**Figura 7.** Flujo de trabajo de Spark

Tomado de: Documentación de Apache Hadoop 2014. <http://hadoop.apache.org/>

### Power BI / Tableau:

Tanto Tableau como Power BI pueden ayudar a mostrar datos de distintas formas. Proporcionan opciones de visualización, como gráficos de barras y de líneas, mapas de árbol y mapas geográficos. En ambas plataformas, se puede interactuar con estas visualizaciones, por ejemplo, pasando el ratón por encima para obtener más información y aplicando filtros, y también es posible combinarlas para crear paneles interactivos. (Datacamp 2025).

### Python / R:

Python es un lenguaje de programación de alto nivel y propósito general conocido por su sintaxis intuitiva que imita el lenguaje natural del inglés. Puedes utilizar código Python para una amplia variedad de tareas, pero tres aplicaciones populares incluyen:

Ciencia y análisis de datos, desarrollo de aplicaciones web, automatización/scripting. (Coursera, 2025).

R es un entorno de software y un lenguaje de programación estadística creado para el cálculo estadístico y la visualización de datos. Las numerosas capacidades de R tienden a clasificarse en tres grandes categorías: Manipulación de datos, Análisis estadístico, Visualización de datos. (Coursera, 2025).

### **GIS (ArcGIS, QGIS): Datos geoespaciales para mapas de redes.**

Cómo la tecnología geoespacial está revolucionando las ciudades inteligentes a través de una planificación sostenible, movilidad inteligente y mucho más. Las ciudades inteligentes, o smart cities, representan una visión ambiciosa para el futuro urbano, donde la tecnología y las herramientas de GIS digital twin juegan un papel fundamental en la optimización de los recursos, el aumento de la calidad de vida de los ciudadanos y la reducción del impacto ambiental. (BibLus ,2024)

### **IoT + SCADA:**

El IoT (IoT) se refiere a la red de objetos físicos que se conectan a Internet mediante software, sensores y otras tecnologías. Esto permite que estos dispositivos “inteligentes” recopilen e intercambien datos, lo que facilita la comunicación y la automatización. El IoT se extiende más allá de las computadoras y los teléfonos inteligentes para abarcar objetos cotidianos como electrodomésticos, vehículos e incluso ropa. Esta interconexión permite el monitoreo, control y análisis remotos, lo que impulsa la eficiencia, la conveniencia y la innovación en varios sectores, desde hogares inteligentes y atención médica hasta fabricación y transporte.

SCADA (supervisión, control y adquisición de datos) es una categoría de sistemas de control industrial (ICS) que recopila datos de forma remota y en tiempo real de procesos industriales para supervisar y controlar equipos y condiciones. Las herramientas SCADA

permiten a las organizaciones controlar y supervisar sus dispositivos industriales y tomar decisiones basadas en datos sobre sus procesos. SCADA puede utilizarse para gestionar prácticamente cualquier tipo de proceso industrial mediante una interfaz gráfica de usuario (GUI). Tanto SCADA como ICS se engloban en la categoría más amplia de tecnología operativa (TO). Los sistemas SCADA recopilan datos en tiempo real para facilitar la gestión remota de plantas industriales y mejorar la eficiencia y la producción. (TechTarget, 2025).

## **Conclusiones**

La implementación de Big Data en empresas de servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo es una necesidad estratégica para garantizar la sostenibilidad, eficiencia y calidad del servicio. El análisis masivo de datos provenientes de sensores IoT, sistemas SCADA, registros comerciales y fuentes externas permite transformar grandes volúmenes de información en decisiones oportunas.

En el caso de estudio de la EAAY, la integración de estas herramientas representa la oportunidad de reducir significativamente indicadores críticos como el índice de agua no contabilizada (IANC) y el índice de perdidas por usuario facturado (IPUF), optimizar recursos operativos, minimizar pérdidas económicas y cumplir de forma rigurosa con la regulación vigente.

Más allá de la reducción de pérdidas y costos, el uso inteligente de Big Data impulsa una gestión proactiva, anticipa riesgos, fortalece la relación con los usuarios mediante una atención mas eficiente y contribuye a la transparencia institucional. De esta forma las empresas no solo mejoran su desempeño, sino que también generan un impacto positivo en la comunidad y el medio ambiente, asegurando un servicio confiable.

## **Referencias**

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2023, 6 de octubre).

*Superservicios ordena toma de posesión de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal (EAAAY). SSPD.*

*<https://www.superservicios.gov.co/Sala-de-prensa/noticias/superservicios-ordena-toma-de-posesion-de-la-empresa-de-acueducto-alcantarillado-y-aseo-de-yopal-aaaay>*

Casanare Online (2025, 15 de agosto)

*EAAAY tomó medidas energéticas contra la pérdida de agua potable y fugas en Yopal.*

*<https://casanareonline.co/aaaay-tomo-medidas-energicas-contrala-perdida-de-agua-potable-y-fugas-en-yopal/>*

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2025). *Concepto 42 de 2025.*

*[https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/concepto\\_superservicios\\_0000042\\_2025.htm](https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/concepto_superservicios_0000042_2025.htm)*

Congreso de la República de Colombia. (1994). Ley 142 de 1994.

*Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios. Diario Oficial No. 41.433. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>*

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2024).

*Resolución CREG 105-007 de 2024: Establece límites y procedimientos para la investigación de desviaciones significativas en el consumo de energía eléctrica.*

*<https://creg.gov.co/publicaciones/15707/la-creg-estandarizo-mecanismos-para-la-revision-de-las-variaciones-en-los-consumos-de-energia-y-gas/>*

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 1994.

*Según el Artículo 79 de la Ley 142 de 1994, la SSPD tiene facultades para vigilar el cumplimiento de las normas por parte de las empresas prestadoras*

*<https://superservicios.gov.co>*

Rúa Franco (2021)

*Desarrollo de la gestión documental de información para la generación de indicadores del servicio de agua potable: IANC, IRCA, IPUF y continuidad enfocados en la Corporación de Acueducto Multiveredal la Acuarela*

<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/7a755a49-f564-499a-b70c-39fc7e485b52/content>

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2004, 25 de mayo). *Resolución CRA 287 de 2004: Por la cual se establece la metodología tarifaria para regular el cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado.*

[https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/original/documents/Resoluciones\\_PDF20046000002874.pdf](https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/original/documents/Resoluciones_PDF20046000002874.pdf)

Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal Casanare. (2025) *Normatividad – Resoluciones*

<https://www.eaaay.gov.co/institucional/quienes-somos/normatividad/>

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2017, 28 de diciembre) *Resolución CRA 825 de 2017: Por la cual se establece la metodología tarifaria para las personas prestadoras de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado que atiendan hasta 5.000 suscriptores en el área urbana y aquellas que presten el servicio en el área rural independientemente del número de suscriptores que atiendan.*

[https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion\\_cra\\_0825\\_2017.htm](https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_cra_0825_2017.htm)

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2014, 31 de julio) *Por la cual se establece la metodología tarifaria para las personas prestadoras de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado con más de 5.000 suscriptores en el área urbana.*

[https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion\\_cra\\_0688\\_2014.htm](https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_cra_0688_2014.htm)

Congreso de Colombia. (2001 28 de agosto)

*Ley 689 de 2001, “Por la cual se modifica parcialmente la Ley 142 de 1994.”*

*<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4633#:~:text=2.,vigilancia%20de%20los%20servicios%20p%C3%BAblicos>.*

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2016).

*Política de Seguridad Digital en Colombia. Gobierno de Colombia.*

Congreso de la República de Colombia. (1994). Ley 142 de 1994

*Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios. Diario Oficial No. 41.433.*

*<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>*

Constitución Política de Colombia. (1991).

*Constitución Política de Colombia. Diario Oficial No. 47.013.*

*Recuperado de <https://www.constitucioncolombia.com>*

World Health Organization (WHO) & United Nations Children’s Fund (UNICEF).

(2023).

*Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022: Special focus on gender. WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme (JMP).*

*Recuperado de <https://washdata.org>*

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2022).

*Informe de gestión del sector de agua potable y saneamiento básico. SSPD.*

*<https://www.superservicios.gov.co>*

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2022).

*Informe sectorial de agua potable y saneamiento básico. MinVivienda.*

*<https://minvivienda.gov.co>*

Congreso de la República de Colombia. (1994). Ley 142 de 1994

*Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 41.433.*

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>

Ministerio de la Protección Social. (2007). Resolución 2115 de 2007

*Por la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Diario Oficial No. 46.679.*

<https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/Resoluci%C3%B3n%202115%20de%202007.pdf>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2018).

*Informe nacional de desempeño del sector de agua potable y saneamiento básico 2017. SSPD. <https://www.superservicios.gov.co>*

Departamento Nacional de Planeación. (2023).

*Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 Colombia Potencia Mundial de la Vida. DNP. <https://www.dnp.gov.co>*

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2020).

*Plan Departamental de Agua – PDA. MVCT. <https://www.minvivienda.gov.co>*

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021).

*Agua al Barrio: acceso a agua potable para comunidades urbanas. MVCT. <https://www.minvivienda.gov.co>*

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2025, 24 de junio).

*Superservicios posesionó nuevo agente interventor para la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal. Comunicado 26. Recuperado de <https://superservicios.gov.co>*

EAAAY. (2024). Informe de gestión parcial de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal (EAAAY).

DANE. (2024). Proyecciones de población para Yopal, Casanare: Total, mujeres y hombres.

*Estimaciones basadas en el Censo 2018. DANE. <https://telencuestas.com/censos-de-poblacion/colombia/2024/casanare/yopal>*

EAAAY. (2024). Reporte de indicadores de gestión 2024  
*Índice de pérdidas y eficiencia operativa. Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal (EAAAY)*

Constitución Política de Colombia. (1991). Artículos 15 y 20.

Congreso de la República de Colombia. (2009). Ley 1273 de 2009.

Congreso de la República de Colombia. (2012). Ley 1581 de 2012.

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones – MinTIC. (2016).  
*Política de Seguridad Digital en Colombia. Gobierno de Colombia.*

Presidencia de la República de Colombia. (2015). Decreto 1072 de 2015.

Presidencia de la República de Colombia. (2022). Decreto 338 de 2022.

International Organization for Standardization – ISO. (2013). ISO/IEC 27001:2013  
*Information technology – Security techniques – Information security management systems*

Springer Nature Link (2025).

*Un análisis exhaustivo del rendimiento de Apache Hadoop y Apache Spark para conjuntos de datos a gran escala utilizando HiBench)*

<https://link.springer.com/article/10.1186/s40537-020-00388-5>

Datacamp (2025).

*Power BI vs. Tableau: ¿cuál es la mejor herramienta de inteligencia empresarial en 2024?*

<https://www.datacamp.com/es/blog/power-bi-vs-tableau-which-one-should-you-choose>

Coursera (2025).

*Python vs. R para el análisis de datos*

<https://www.coursera.org/mx/articles/python-or-r-for-data-analysis>

BibLus (2024).

*Planificación y diseño con el enfoque integrado BIM-GIS*

<https://biblus.accasoftware.com/es/planificacion-y-diseno-con-el-enfoque-integrado-bim-gis/>

TechTarget (2025).

*¿Qué es SCADA?*

<https://www.techtarget.com/>

FORTINET (2025).

*¿Qué es IoT? Definición del Internet de las cosas*

<https://www.fortinet.com/>