# VIABILIDAD FINANCIERA DE INVERTIR EN REDUCIR LA CARGA CONTAMINANTE EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. CASO DE ESTUDIO EMPRESA DE OBRAS SANITARIAS DE CALDAS, EMPOCALDAS

Financial feasibility of investing in reducing the pollutant load in a Public Utilities Company Case Study Empresa de Obras Sanitarias de Caldas, Empocaldas

ESTEFANÍA LONDOÑO OSORIO

Tesis de grado

Asesor
César Augusto Orozco Echeverry

UNIVERSIDAD EAFIT
Escuela de Economía y Finanzas
Maestría en Administración Financiera
Pereira
2023

© 2023 por Estefanía Londoño Osorio

Todos los derechos reservados

## RESUMEN

Las actividades antropogénicas producen impactos ambientales que afectan tanto a la biota como al medio abiótico; entre dichos impactos se encuentra la generación de aguas residuales domésticas. A lo largo del tiempo se han identificado diversas estrategias para reducir la carga contaminante de los vertidos en las fuentes receptoras, sin embargo, el porcentaje de tratamiento de las aguas servidas es relativamente bajo en muchos casos, lo que indica que hay una gran oportunidad para la implementación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas por parte de las empresas prestadoras del servicio público. No obstante, la viabilidad financiera de dicha inversión es incierta, lo que puede generar temor a la hora de realizar esfuerzos financieros de este tipo. En este sentido, la presente investigación, a través del análisis costo-beneficio, se erige como una oportunidad para la generación de un panorama sobre la conveniencia financiera de invertir en la reducción de cargas contaminantes, algo que podría estimular a los prestadores de servicios públicos para que puedan implementar infraestructuras adecuadas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

**Palabras clave:** Viabilidad financiera, cargas contaminantes, empresa de servicios públicos domiciliarios, Objetivo de Desarrollo Sostenible, proyecto de reducción de carga contaminante.

**ABSTRACT**

Anthropogenic activities produce environmental impacts related to the biota and the abiotic environment; among them, the generation of domestic wastewater. Over time, various strategies have been identified to reduce the pollutant load of the discharges generated in the receiving sources; however, the percentage of wastewater treatment is relatively low in many cases, which indicates that there is a great opportunity for the implementation of Domestic Wastewater Treatment Plants by the Public Service Providers. However, the financial viability of such investment is uncertain, which may generate fear at the time of making financial efforts of this type. In this sense, the research through cost-benefit 4roject4 is an opportunity to generate an overview of the financial convenience of investing in the reduction of pollutant loads, something that could stimulate public service providers to implement adequate infrastructure for the treatment of domestic wastewater.

**Keywords:** Financial viability, pollutant loads, domestic utility, Sustainable Development Goal (SDG), pollutant load reduction 4roject.

**CONTENIDO**

Introducción ..... 8
Planteamiento del problema ..... 9
Objetivos ..... 11
General ..... 11
Específicos ..... 11
Marco de referencia ..... 11
Riesgos asociados a la contaminación ambiental ..... 12
Normatividad ambiental en Colombia ..... 16
Evaluación económica y financiera ..... 19
Diseño metodológico ..... 23
Desarrollo del trabajo ..... 24
Resultados ..... 43
Conclusiones ..... 44
Referencias ..... 45

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología regulada por las Resoluciones CRA 688 de 2014, CRA 821 de 2017 y CRA 908 de 2019. ..... 34

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Consolidado cancelado por concepto de tasa retributiva Empocaldas ..... 25
Tabla 2. Costo de construcción PTAR Guarinocito ..... 27
Tabla 3. Cálculo aproximado de costo de personal operador de planta. ..... 28
Tabla 4. Cálculo aproximado de costo de personal trabajador de mantenimiento. ..... 29
Tabla 5. Costo acumulado de personal ..... 29
Tabla 6. Cálculo aproximado de consumo eléctrico de equipos y alumbrado ..... 30
Tabla 7. Cálculo aproximado de consumo de combustible. ..... 31
Tabla 8. Caracterización de lodos ..... 31
Tabla 9. Adecuaciones ..... 32
Tabla 10. Póliza ..... 32
Tabla 11. Alcantarillado ..... 39

# INTRODUCCIÓN

La gestión de aguas residuales domésticas se refiere al sometimiento de dichas aguas a procesos físicos, químicos y biológicos con el fin de eliminar la totalidad o una parte de los agentes contaminantes que surgen como resultado de las actividades humanas.

En Colombia, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios identificó, en su estudio sectorial de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado, que de los 1.123 municipios registrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Dane) solo 715 tienen algún tipo de planta incorporada al sistema de alcantarillado público o administrado por los municipios.

Actualmente, existe una gran incertidumbre relacionada con la construcción y la operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y su sostenibilidad, debido a la escasez de estudios que relacionen los costos de construcción, operación y mantenimiento, en comparación con los beneficios directos de reducción de cargos por vertimientos regulados en el territorio nacional.

Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo realizar un análisis de costo-beneficio para el desarrollo de inversiones en la reducción de cargas contaminantes procedentes de aguas residuales municipales, con la intención de proporcionar un insumo técnico financiero para la toma de decisiones en las empresas de servicios públicos de acueducto y alcantarillado, evaluando el tiempo de retorno de la inversión mediante el estudio de alternativas convencionales.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia se han implementado diversas políticas y lineamientos para proteger y conservar el medioambiente. Desde 1997 se reglamentó la aplicación de tasas retributivas para controlar la contaminación hídrica y, posteriormente, con la Ley 1819 del 2016 se establecieron incentivos tributarios para estimular inversiones en control, conservación y mejoramiento del medioambiente.

Concretamente, las aguas residuales son vertidas en los ríos, los lagos y las quebradas, lo que hace que se contaminen con materia orgánica, metales pesados, disolventes, grasas y aceites, detergentes, fertilizantes y otros productos. Estas descargas resultan ser críticas para el equilibrio de la biota y la salud humana, y limitan el recurso hídrico para usos potenciales, en contravención con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Objetivo 6. Agua limpia y saneamiento, Objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles y Objetivo 14. Vida submarina.

Por esta razón, se diseñaron tasas para concientizar a las empresas sobre la necesidad de cambiar su comportamiento y reducir las cargas contaminantes, de manera que sea más rentable económicamente no contaminar que pagar la tasa correspondiente. El objetivo de esta investigación es determinar la viabilidad financiera de los proyectos de inversión orientados a reducir las cargas contaminantes en las fuentes hídricas.

Asimismo, la implementación de prácticas de reducción de cargas contaminantes que pueden mejorar la imagen y reputación de las empresas, lo que resulta en un aumento en la demanda de los productos y la lealtad de los consumidores. Es importante resaltar que la reducción de cargas contaminantes les permite a las empresas cumplir con los estándares y las normas

ambientales de los ODS, lo que a su vez reduce el riesgo de ser sancionados por incumplimiento de la ley y multas asociadas (República de Colombia, 2015; 2018).

# OBJETIVOS

## General

Determinar la viabilidad financiera de un proyecto de inversión destinado a reducir la carga contaminante en una fuente hídrica receptora de aguas residuales municipales en empresas de servicios públicos domiciliarios. Caso de estudio Empresa de Obras Sanitarias de Caldas Empocaldas S. A. E. S. P.

## Específicos

- Analizar los posibles riesgos asociados a la falta de implementación de una planta de tratamiento convencional para reducir la carga contaminante en una empresa de servicios públicos domiciliarios.
- Analizar el costo y beneficio de implementar una planta de tratamiento convencional para reducir la carga contaminante en una empresa de servicios públicos domiciliarios.
- Determinar la rentabilidad y el tiempo de retorno de inversión empleando un modelo financiero que integre la información de las alternativas identificadas en el análisis costo-beneficio, para la implementación de una planta de tratamiento convencional en una empresa de servicios públicos domiciliarios. Identificar las posibilidades de financiamiento y las fuentes de recursos disponibles para implementar un proyecto de reducción de carga contaminante en una empresa de servicios públicos domiciliarios. Marco de referencia

# MARCO DE REFERENCIA

## Riesgos asociados a la contaminación ambiental

El daño al medioambiente es un problema global que requiere la acción conjunta de los gobiernos y la sociedad en general. Es importante conocer los problemas más graves del medioambiente y tomar medidas efectivas para revertir el daño y así proteger el planeta para las generaciones futuras. La adopción de políticas ambientales, la promoción de prácticas sostenibles y la educación ambiental son algunas de las acciones clave para abordar este desafío.

Algunos de los problemas más delicados del medio biótico incluyen la contaminación del agua, el aire y el suelo, pues representa una de las principales amenazas para la salud humana y los ecosistemas, ya que la contaminación del agua puede ocasionar enfermedades y afectar la vida acuática, mientras que la contaminación del aire puede provocar problemas respiratorios y enfermedades cardiovasculares, y la del suelo puede afectar la calidad de los alimentos y la biodiversidad ("La degradación del medioambiente provocará millones de muertes prematuras", 2019).

Es así como la contaminación hídrica se presenta como un problema que afecta a todo el mundo (Brouwer *et al.*, 2018). Esto se puede derivar de diversas fuentes, incluyendo residuos industriales y aguas residuales urbanas y agrícolas (Brouwer *et al.*, 2018; "VAN y TIR: ¿para qué sirven y cuándo usarlos?", 2019). Para abordar este problema se han propuesto diversos enfoques y estrategias, desde mejoras en los procesos productivos y tecnologías limpias hasta el adecuado tratamiento y disposición de residuos (Lakhani *et al.*, 2018), lo que ha generado diferentes métodos para abordar la contaminación del agua. Uno de los más efectivos es tratar

las aguas residuales a través de una planta de tratamiento (PTAR); un espacio equipado y destinado para llevar a cabo procesos químicos, físicos y biológicos que eliminan los contaminantes presentes en el agua residual (Venegas, 2018).

Estas plantas son fundamentales para el tratamiento y la limpieza del agua usada y las aguas residuales, con el objetivo de devolverlas de manera segura al medioambiente, ya que eliminan los sólidos suspendidos, como plásticos, trapos, arena y partículas más pequeñas que se encuentran en las aguas residuales ("Qué es una PTAR: función y relevancia", 2021). Como se ha mencionado, las PTAR utilizan una combinación de procesos que dan como resultado la eliminación de la carga contaminante presente en el recurso hídrico.

En cuanto a los procesos, estos se dividen en tres categorías:

- Procesos químicos: implican el uso de productos químicos para desinfectar el agua y eliminar los contaminantes presentes en ella. Algunos ejemplos son la coagulación y la floculación, que ayudan a eliminar las partículas sólidas suspendidas en el agua.
- Procesos físicos: consisten en la separación física de los contaminantes presentes en el agua. Algunos ejemplos son la filtración y la sedimentación, que ayudan a separar los sólidos suspendidos del agua.
- Procesos biológicos: permiten el uso de microorganismos para descomponer y eliminar los contaminantes orgánicos presentes en el agua. Uno de los procesos biológicos más comunes es el de lodos activados, donde los microorganismos descomponen la materia orgánica presente en el agua (Rodríguez, 2017).

En Colombia, el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible ha identificado el tratamiento de aguas residuales como una prioridad nacional. A pesar de tener una capacidad

instalada que podría alcanzar el 20 %, en la actualidad solo se trata el 10 % de las aguas residuales del país. Según un estudio de UNICEF, al 2017 había 562 sistemas de tratamiento de aguas residuales instalados, menos del 25 % de los municipios de 21 departamentos cuentan con una planta de tratamiento y solo el 10 % de los sistemas construidos están en adecuado funcionamiento ("¿Cuántas plantas de tratamiento de aguas residuales hay en Colombia?", 2017).

El informe "Estudio Sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado", presentado a finales del 2017 por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Superservicios), revela que solo 541 municipios de los 1.122 registrados por el Dane cuentan con algún tipo de PTAR. Cundinamarca es el departamento con más plantas de tratamiento de aguas residuales, con un total de 137, seguido de Antioquia, Boyacá y Cauca (Venegas, 2018). Esta disparidad en la disponibilidad de plantas de tratamiento subraya la necesidad de ampliar los esfuerzos en todo el país para abordar de forma adecuada la gestión de aguas residuales y la preservación de nuestros recursos hídricos.

La Empresa de Obras Sanitarias de Caldas Empocaldas S. A. E. S. P. cuenta con una PTAR en el municipio de Victoria, en el departamento de Caldas, que utiliza un sistema de tratamiento de lodos activados por aireación, extendida a través de un zanjón de oxidación. En este modelo las aguas residuales ingresan al zanjón de oxidación después de pasar por un desarenador, donde se encuentra un cultivo de microorganismos que se mantiene gracias al suministro de aire mediante los aireadores. Tras un determinado tiempo de retención, el licor mezclado, es decir, los microorganismos y el agua tratada, son separados en el clarificador. Posteriormente, el agua tratada se dispone en la fuente receptora, mientras que una parte de

la biomasa sedimentada debe retornarse al zanjón de oxidación para mantener la concentración de los microorganismos, y el restante se retira del sistema en los lechos de secado. Esta planta procesa el 98 % de las aguas residuales de la población y recibe un caudal de agua de 10 litros por segundo (Empocaldas, 2023).

Por otro lado, existen plantas de tratamiento de aguas residuales de uso industrial, como es el caso del conglomerado del Grupo Nutresa que se preocupa por reducir el impacto ambiental y los riesgos asociados a situaciones de escasez o degradación del recurso hídrico, así como reducir los efectos directos e indirectos sobre el recurso a lo largo de la cadena de valor en todas las operaciones de negocio de la empresa y sus comunidades de influencia. El Grupo Nutresa realiza un constante monitoreo y seguimiento de sus procesos.

En reunión sostenida con los directivos de dicho Grupo, como la jefe de Gestión Ambiental en Negocio Cárnico y la directora del Sistema Integral de Gestión, se considera la calidad del vertimiento del agua como una prioridad en las inversiones para equipos, plantas de tratamiento y operaciones ecoeficientes.

En Colombia se han realizado inversiones por un valor de 11.186 millones de pesos en las plantas de tratamiento de agua residual en los negocios relacionados con café, cárnicos, galletas y helados. Por ejemplo, la planta de tratamiento de aguas residuales de los productos cárnicos de Zenú cuenta con un pretratamiento de trampa de grasas, tamiz y tanque de homogenización, un tratamiento primario en el cual se ajusta el pH, se realiza la coagulación, floculación y separación de sólido-líquido con un sistema de flotación de aire disuelto (DAF primario), un tratamiento biológico anaerobio, un tanque buffer, TAE, DAF secundario y,

por último, un tratamiento de lodos fisicoquímicos en un tanque de acondicionamiento y deshidratación por Screw-Press. Esta planta tuvo una inversión inicial de 5.433 millones de pesos e inició operaciones en el año 2018, tratando 15.000 $m^3$/mes ("Administración del recurso hídrico", 2018).

**Normatividad ambiental en Colombia**

En Colombia hay una trayectoria en materia ambiental, y la importancia de la sostenibilidad se reconoce desde la Constitución de 1991 (Decreto 901 de 1997). Además, existen diversas estrategias propuestas para mejorar la eficiencia en el sector de agua potable y saneamiento. Estas estrategias van desde fortalecer las capacidades técnicas y tecnológicas de las PTAR urbanas hasta incluir la eficiencia en el tratamiento de agua residual en la evaluación de los servicios de acueducto y alcantarillado (CTA, 2017).

La normatividad ambiental en Colombia es un tema de gran importancia debido a la necesidad de proteger y preservar el medioambiente en el país. Por medio de la legislación ambiental se establecen las normas y regulaciones que deben seguir tanto los ciudadanos como las empresas para garantizar un desarrollo sostenible y la conservación de los recursos naturales.

A continuación, se presentan algunas de las leyes y decretos mencionados, junto con una breve descripción de su contenido:

Ley 99 de 1993: considerada el marco general de la legislación ambiental en Colombia. Establece el Ministerio del Medio Ambiente, organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y define los principios y objetivos generales para la gestión y conservación del medioambiente y los recursos naturales renovables.

Ley 1333 de 2009: establece el procedimiento sancionatorio ambiental y las sanciones y medidas que se pueden aplicar en caso de incumplimiento de las normas ambientales.

Ley 430 de 1998: dicta las normas prohibitivas en materia ambiental, especialmente referentes a los desechos peligrosos. Establece las medidas y restricciones para el manejo adecuado de estos desechos y las sanciones en caso de incumplimiento.

Decreto 1076 de 2015: este decreto es el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en Colombia; contiene las normas reglamentarias para la aplicación de la legislación ambiental en diferentes aspectos, como licencias ambientales, evaluación del impacto ambiental, manejo de residuos, entre otros.

Resolución 1096 del 2000 y sus modificatorios Resolución 0330 de 2017 y Resolución 0799 de 2021: se refiere al reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico, el cual se puede definir como el conjunto de normas y directrices establecidas por la autoridad competente para regular y estandarizar los aspectos técnicos relacionados con la provisión de los servicios públicos mencionados en términos de calidad, seguridad y eficiencia.

En Colombia, la tendencia actual en el tratamiento de aguas residuales se inclina hacia el uso de tratamientos secundarios, como lagunas de estabilización (44 %), sistemas de aireación extendida (9,4 %) y filtros biológicos (7 %). No obstante, el país tiene como aspiración tratar el 68,6 % de las aguas residuales urbanas para el año 2030. Para lograr este objetivo se han implementado medidas para fomentar la inversión en tecnologías más eficientes, destacando la adopción de una taxonomía verde nacional (“Saneamiento de vertimientos”, 2021).

Además, existen otras herramientas y disciplinas útiles para mejorar la gestión hídrica en empresas de servicios públicos. Por ejemplo, la biomimética, que se inspira en la naturaleza para solucionar problemas técnico-económicos de manera sostenible ("¿Qué se entiende por biomímesis?", 2008), y la justicia ambiental, que se enfoca en la distribución equitativa de costos y beneficios entre distintos grupos socioculturales (Mies y Vandana, 1998). En este contexto, uno de los grandes retos para el país es avanzar en la sostenibilidad, y una de las formas de medir este progreso es a través del cumplimiento de los ODS trazados por la Organización de las Naciones Unidas para el 2030, que se basan en pilares económicos, sociales y ambientales (ONU y CEPAL, 2019).

Dentro de estos ODS, el Objetivo número 6 reviste una importancia fundamental, ya que busca garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, (UNESCO, 2020). El compromiso con estos objetivos no solo es esencial para el desarrollo sostenible de Colombia, sino también para contribuir con la agenda económica global, que se centra en la convergencia de aspectos económicos, sociales y ambientales en pro de un futuro más equitativo y sostenible.

A pesar de los desafíos en cuanto a la gestión de aguas residuales y el acceso al saneamiento en todo el mundo, es fundamental reconocer que la descontaminación del agua puede ser una medida efectiva para garantizar su uso potable a escala planetaria ("Agua", s. f.). En este contexto, la tasa retributiva por vertimientos puntuales emerge como un instrumento económico para el control de la contaminación hídrica y la inversión en proyectos de descontaminación y monitoreo del recurso (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023). Además de los tributos por descargas, un acertado análisis de costo-beneficio de la implementación de tratamientos convencionales puede ser el punto de partida para que las

empresas de servicios públicos den un paso adelante con la adquisición de estos sistemas. No obstante, es esencial considerar su viabilidad financiera a largo plazo (Saad *et al.*, 2019).

Por lo tanto, se hace evidente que el análisis costo-beneficio se convierte en una herramienta fundamental, ya que permite evaluar la rentabilidad de un proyecto al comparar los beneficios a lo largo de su vida útil (Brouwer *et al.*, 2018).

Adicionalmente, es crucial asegurarse de que estos proyectos se ajusten a los criterios de sostenibilidad, es decir, que cumplan las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas propias (Eschenhagen, 1998). Desde esta perspectiva, la economía circular se presenta como una estrategia útil al permitir la reducción de residuos y la máxima utilización de los recursos disponibles ("Economía circular", 2023).

Es importante destacar que la falta de saneamiento no solo afecta la salud de las personas, sino que también tiene un impacto económico significativo en los países, ya que los servicios deficientes generan costos que ascienden a miles de millones de dólares anuales. Por lo tanto, la evaluación de proyectos de agua y saneamiento desde una perspectiva económica y financiera puede ser clave para garantizar su viabilidad y sostenibilidad ("Saneamiento de vertimientos", 2021).

**Evaluación económica y financiera**

La evaluación económica y financiera de los proyectos de agua y saneamiento exige un análisis riguroso que permita la identificación de los gastos y las ventajas a largo plazo. Diferentes enfoques y metodologías se utilizan para lograr este objetivo, como el análisis costo-beneficio, el análisis costo-efectividad y el análisis financiero. Cada uno de estos

enfoques tiene sus ventajas y desventajas y se deben utilizar adecuadamente para evaluar los méritos financieros de los proyectos.

La información obtenida del análisis costo-beneficio debe integrarse para determinar la rentabilidad y el tiempo de retorno de inversión mediante un modelo financiero acorde a la necesidad. Por lo tanto, para evaluar el rendimiento y la viabilidad de un proyecto como los STARD (Estándares para la Presentación de Estudios de Precisión Diagnóstica) es esencial utilizar diversos indicadores como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). El análisis costo-beneficio implica la identificación y medición de los costos y beneficios del proyecto, tanto en términos monetarios como no monetarios. Por su parte, el análisis costo-efectividad implica la identificación y medición de los costos y el número de personas beneficiadas del proyecto, midiendo el costo por persona beneficiada. Finalmente, el análisis financiero evalúa la viabilidad financiera del proyecto, considerando factores como los costos de operación y mantenimiento, la capacidad de pago de los usuarios y los posibles subsidios gubernamentales (Aguilera, 2017).

El VAN es un indicador financiero que se utiliza para evaluar la rentabilidad de una inversión. Representa el rendimiento actualizado de los flujos positivos y negativos generados por una inversión a lo largo del tiempo, permitiendo determinar si una inversión es rentable y comparar diferentes oportunidades de inversión ("VAN y TIR: ¿para qué sirven y cuándo usarlos?", 2019).

La TIR es otro indicador fundamental para evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión. Esta tasa representa el porcentaje de beneficio o pérdida que se obtendrá de una inversión a lo largo del tiempo, siendo complementario al Valor Presente Neto (VPN). Su

cálculo implica igualar la tasa de descuento al momento inicial con la corriente futura de cobros y pagos para que el VAN sea igual a cero (Velayos, 2022).

Teniendo en cuenta lo anterior, para asegurar la sostenibilidad de un proyecto es necesario identificar las posibilidades de financiación y las fuentes de recursos disponibles. Las fuentes de financiación pueden ser de diversos tipos, incluyendo financiación propia, financiación externa, líneas de crédito y financiación alternativa, como el *crowdfunding*, el *crowdlending* y la financiación de capital riesgo.

A continuación, se presentan algunas definiciones de lo ya mencionado:

- Financiación propia: estas fuentes de financiación provienen de los recursos internos de la empresa, como los aportes de los socios o el beneficio después de impuestos.
- Financiación externa: estas fuentes de financiación provienen de terceros, como las entidades financieras.
- Líneas de crédito: son acuerdos con entidades financieras que les permiten a las empresas acceder a fondos de manera flexible, según sus necesidades.
- Financiación alternativa: estas fuentes de financiación son opciones no tradicionales que han surgido en los últimos años. Algunas opciones de financiación alternativa incluyen:
    - *Crowdfunding*: en la cual las empresas obtienen fondos a través de donaciones o inversiones de un gran número de personas.
    - *Crowdlending*: en la cual las empresas obtienen préstamos a través de plataformas en línea, donde los inversores prestan dinero a cambio de intereses.

- Financiación de capital riesgo: implica la obtención de fondos de inversores que están dispuestos a asumir un alto nivel de riesgo a cambio de una participación accionaria en la empresa.

La investigación, con la integración de su análisis financiero, puede asociarse a la toma de decisiones técnicas en la formulación de proyectos que cumplan con los requisitos normativos en el territorio nacional, contribuyendo así a la creación de territorios sostenibles.

# DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología propuesta para el presente estudio consiste en una investigación exploratoria y descriptiva que permite identificar las múltiples facetas relacionadas con la reducción de carga contaminante en una empresa de servicios públicos domiciliarios. Para alcanzar los objetivos específicos se utilizará una combinación de técnicas de investigación cualitativa y cuantitativa.

Entre las técnicas disponibles se incluye la aplicación de entrevistas a expertos y directivos de la empresa, con la finalidad de identificar y evaluar las fuentes de contaminación. Adicionalmente, se llevará a cabo un análisis de costos y beneficios de las diversas tecnologías y estrategias disponibles para minimizar la carga contaminante.

Para evaluar la rentabilidad y el tiempo de retorno de inversión, se considera la realización de un estudio financiero que contempla el cálculo de costos de inversión y las proyecciones de ingresos y ahorros en costos a largo plazo. Asimismo, se llevará a cabo una revisión de las posibilidades de financiamiento y las fuentes de recursos disponibles para implementar el proyecto de reducción de carga contaminante. Con esta serie de herramientas se espera tener un diagnóstico exhaustivo que permita abordar el problema de forma adecuada.

## DESARROLLO DEL TRABAJO

Para el desarrollo del presente trabajo fue necesario llevar a cabo las siguientes actividades:

1. Establecer los riesgos asociados a la falta de implementación de una planta de tratamiento convencional para reducir la carga contaminante en una empresa de servicios públicos domiciliarios.

Para lograrlo se partió de la revisión de la normatividad y la literatura ambiental, permitiendo establecer que además de la contaminación ambiental y los riesgos para la salud humana, así como los riesgos reputacionales, existe un riesgo de carácter legal que puede ocasionar grandes multas y sanciones para las empresas de servicios públicos que no cumplan con la normatividad ambiental. En Colombia, mediante la Ley 1333 de 2009, se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se determinan las sanciones y medidas que se pueden aplicar en caso de incumplimiento de las normas ambientales. Quien contamine las aguas superficiales, marítimas o subterráneas de manera que genere un efecto nocivo en el ambiente y ponga en peligro la salud humana y los recursos naturales, puede ser castigado con prisión de 69 a 140 meses, y multa de 140 a 50.000 salarios mínimos legales mensuales vigentes ("Recuerde cuáles son los delitos ambientales que se penalizan en Colombia", 2022).

También existe la tasa retributiva por vertimientos puntuales, que, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ("Tasa retributiva por vertimientos puntuales", 2023) "es un instrumento económico que contribuye al control de la contaminación hídrica. Busca cambiar el comportamiento de los agentes contaminantes, generando conciencia del daño

ambiental que ocasionan tanto las actividades diarias como los diferentes sectores productivos".

Empocaldas ha cancelado en los últimos cinco años, por concepto de tasa retributiva, a Corpocaldas, la autoridad ambiental, la suma de 7.931 millones de pesos. Dentro de esta tasa se incluye un factor regional según el Decreto 901 de 1997. El valor inicial del factor regional es 1 y se incrementa 0,5 cada semestre. La autoridad ambiental dejará de incrementar el factor regional en el semestre siguiente a aquel en el cual la reducción del total de la contaminación en el cuerpo de agua alcance la meta, y continuará cobrando la tasa retributiva con base en el valor del factor regional con el cual se alcanzó la meta. La cancelación del factor regional en una tasa retributiva puede ocurrir cuando se llega al objetivo de reducción de la contaminación en el cuerpo de agua. Esta cancelación es temporal, y el factor regional puede volver a incrementarse si la carga contaminante aumenta nuevamente o si se establece una nueva meta de reducción de carga contaminante (tabla 1).

Tabla 1. Consolidado cancelado por concepto de tasa retributiva Empocaldas

| Seccionales | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Victoria | 389.414 | 2.513.883 | 659.457 | 1.217.672 | 2.416.249 | 7.196.675 |
| Marmato | 1.194.375 | 1.207.764 | 1.220.664 | 2.410.091 | 3.554.721 | 9.587.615 |
| Kilómetro 41 | 4.610.294 | 5.135.590 | 5.300.535 | 7.235.576 | 3.245.820 | 25.527.815 |
| Marulanda | 5.077.930 | 5.982.191 | 6.287.154 | 6.514.552 | 4.480.118 | 28.341.945 |
| Arma | 4.212.761 | 8.988.255 | 9.327.666 | 2.007.860 | 10.133.352 | 34.669.894 |
| San José | 7.662.880 | | 13.762.624 | 14.120.094 | 7.778.290 | 43.323.888 |
| Filadelfia | 18.860.993 | 19.657.495 | 20.266.730 | 20.620.349 | 22.369.616 | 101.775.183 |
| Risaralda | 18.986.082 | 32.031.136 | 32.994.757 | 33.799.137 | 23.937.689 | 141.748.801 |
| Palestina | 23.560.758 | 31.928.097 | 33.348.088 | 33.944.138 | 29.074.486 | 151.855.567 |
| Marquetalia | 26.494.800 | 29.766.857 | 29.691.598 | 31.605.478 | 35.243.677 | 152.802.410 |
| Belalcázar | 18.921.891 | 29.314.802 | 40.752.702 | 43.945.428 | 22.903.205 | 155.838.028 |
| Samaná | 21.290.583 | 32.624.782 | 32.814.743 | 33.217.262 | 43.356.248 | 163.303.618 |
| Arauca | 25.855.523 | 46.428.822 | 51.345.649 | 49.109.788 | 25.173.518 | 197.913.300 |
| Viterbo | 40.195.277 | 42.653.965 | 44.319.800 | 46.254.599 | 57.546.794 | 230.970.435 |

| Seccionales | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Salamina | 39.920.388 | 44.089.106 | 41.825.090 | 45.774.448 | 61.542.880 | 233.151.912 |
| Supía | 50.679.336 | 52.816.257 | 55.375.633 | 56.395.518 | 69.194.560 | 284.461.304 |
| Aguadas | 48.396.300 | 54.294.901 | 56.102.752 | 63.894.485 | 62.141.295 | 284.829.733 |
| Manzanares | 34.841.502 | 73.859.439 | 77.132.783 | 74.219.825 | 43.493.441 | 303.546.990 |
| Riosucio | 79.069.210 | 85.527.990 | 89.782.727 | 137.640.282 | 141.061.461 | 533.081.670 |
| Anserma | 85.820.696 | 96.831.674 | 101.289.197 | 104.428.153 | 163.161.549 | 551.531.269 |
| Neira | 69.404.306 | 141.420.953 | 168.009.585 | 197.228.711 | 105.080.801 | 681.144.356 |
| La Dorada | 261.824.429 | 387.674.703 | 334.648.744 | 362.078.462 | 341.352.177 | 1.687.578.515 |
| Chinchiná | 217.031.175 | 391.068.984 | 388.851.301 | 410.472.169 | 519.401.583 | 1.926.825.212 |
| **Total** | **1.104.300.903** | **1.615.817.646** | **1.635.109.979** | **1.778.134.077** | **1.797.643.530** | **7.931.006.135** |

Fuente: elaboración propia.

Después de consolidar los pagos realizados por la empresa en concepto de tasa retributiva, se puede evidenciar que, en el municipio de Victoria, en los últimos 5 años, esta asciende a la suma de 7 millones de pesos, y es la cifra más baja de todas las secciones, ya que es en este municipio donde Empocaldas cuenta con la planta de tratamiento de aguas residuales, lo que permite trasladar a sus suscriptores un menor valor a pagar por dicha tasa a través de la factura de acueducto y alcantarillado.

2. Analizar el costo y beneficio de implementar una planta de tratamiento convencional para reducir la carga contaminante en una empresa de servicios públicos domiciliarios.

Para alcanzar este objetivo se han evaluado los costos asociados a la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales convencional. Se ha determinado que, para una planta de tratamiento con una capacidad instalada para recibir un caudal de 10 litros por segundo en promedio por hora y un caudal pico esperado de 32 litros por segundo, los costos de capital (CAPEX), que incluyan los gastos relacionados con la construcción de la planta,

los equipos necesarios, la mano de obra y los suministros ascienden a un valor total de 4.271 millones de pesos, discriminados de la siguiente manera (tabla 2):

Tabla 2. Costo de construcción PTAR Guarinocito

| Costo PTAR Guarinocito | Valor |
|---|---|
| Estudios y diseños | 377.184.087 |
| Tanque de almacenamiento primera agua | 363.961.455 |
| Tanque de bombeo agua de entrada | 295.224.637 |
| Cámara para rejillas y trampa de grasas | 24.819.356 |
| Desarenador, canaleta Parshall | 54.187.335 |
| Clarificador primario | 118.886.497 |
| Tanque de bombeo para filtro percolador | 30.088.374 |
| Tanque filtro percolador | 123.806.045 |
| Clarificador secundario | 149.108.409 |
| Tanques digestores | 61.686.434 |
| Lecho de secado de lodos | 60.141.314 |
| Líneas de conexión | 453.432.469 |
| Casetas, obras exteriores y otros | 728.188.101 |
| Instalaciones eléctricas planta de tratamiento | 376.939.982 |
| Suministro e instalación de equipos | 1.053.885.031 |
| **Total, obra civil y suministros** | **4.271.539.527** |

Fuente: elaboración propia.

Los costos de operación y mantenimiento (OPEX), que incluyen el personal, el consumo de energía, los productos químicos utilizados en el proceso de tratamiento, la caracterización y el mantenimiento regular de los equipos, así como otros gastos operativos, se estiman en 496 millones de pesos anuales.

La empresa de servicios públicos del departamento de Caldas, Empocaldas, cuenta actualmente con una planta de 269 colaboradores: 51 empleados públicos y 218 trabajadores oficiales. Los trabajadores oficiales disfrutan de beneficios convencionales, entre los cuales se incluyen auxiliares administrativos, operadores de planta y trabajadores de mantenimiento.

Los costos de operación y mantenimiento estimados del personal son tomados con un cargo de operador de planta y trabajador de mantenimiento (tablas 3 a 5).

Tabla 3. Cálculo aproximado del costo de personal operador de planta

| Asignación mensual | | |
|---|---|---|
| **Cargo** | | Operador de planta |
| **Salario básico** | | 1.835.340,00 |
| **Auxilio de transporte** | | - |
| **Compensatorios** | | 166.653,42 |
| **Horas extras** | | 1.248.577,04 |
| **Total** | | **3.250.570,46** |
| **Seguridad social y parafiscales** | | |
| **Concepto** | **%** | **Valor** |
| Salud | 0,00 | - |
| Pensión | 12,00 | 390.068,46 |
| ARL | 2,44 | 79.183,90 |
| Sena | 0,00 | - |
| ICBF | 0,00 | - |
| CCF | 4,00 | 130.022,82 |
| **Total** | | **599.275,17** |
| **Prestaciones sociales** | | |
| **Concepto** | **%** | **Valor** |
| Prima de servicios | 9,44 | 173.332,57 |
| Prima de Navidad | 11,11 | 206.245,25 |
| Prima de vacaciones | 4,17 | 77.074,35 |
| Prima de antigüedad | | 62.229,87 |
| Cesantías | 8,33 | 156.548,35 |
| Int. a las cesantías | 1,00 | 1.565,48 |
| Vacaciones | 4,17 | 76.472,50 |
| Bonificación recreación | 6,67 | 122.356,00 |
| **Total** | | **875.824,36** |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Cálculo aproximado del costo de personal trabajador de mantenimiento

| Asignación mensual | | |
|---|---|---|
| **Cargo** | | Trabajador de mantenimiento |
| **Salario básico** | | 2.053.050,00 |
| **Auxilio de transporte** | | 140.606,00 |
| **Compensatorios** | | - |
| **Horas extras** | | 250.261,42 |
| **Total** | | **2.443.917,42** |
| **Seguridad social y parafiscales** | | |
| **Concepto** | **%** | **Valor** |
| Salud | 0,00 | - |
| Pensión | 12,00 | 293.270,09 |
| ARL | 2,44 | 59.533,83 |
| Sena | 0,00 | - |
| ICBF | 0,00 | - |
| CCF | 4,00 | 97.756,70 |
| **Total** | | **450.560,61** |
| **Prestaciones sociales** | | |
| **Concepto** | **%** | **Valor** |
| Prima de servicios | 9,44 | 207.172,53 |
| Prima de Navidad | 11,11 | 246.510,80 |
| Prima de vacaciones | 4,17 | 92.121,68 |
| Prima de antigüedad | | 62.229,87 |
| Cesantías | 8,33 | 187.027,13 |
| Int. a las cesantías | 1,00 | 1.870,27 |
| Vacaciones | 4,17 | 91.402,33 |
| Bonificación recreación | 6,67 | 146.243,73 |
| **Total** | | **1.034.578,35** |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Costo acumulado de personal

| Concepto | Vr. estimado mensual | Vr. estimado anual |
|---|---|---|
| Asignación básica | 2.443.917,42 | 29.327.009,00 |
| Seguridad social y parafiscales | 450.560,61 | 5.406.727,38 |
| Prestaciones sociales | 1.034.578,35 | 12.414.940,14 |
| | **3.929.056,38** | **47.148.676,52** |

Fuente: elaboración propia.

El costo asociado al consumo de energía se destina a la activación de los bombeos requeridos en el tanque de bombeo de agua de entrada, el tanque filtro percolador y todas las instalaciones eléctricas de la planta de tratamiento, como se detalla a continuación (tabla 6).

Tabla 6. Cálculo aproximado de consumo eléctrico de equipos y alumbrado

| Equipo | HP | Vatios | Número de equipos | Proceso | Horas laboradas por día | kW por día | kW por mes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electrobomba | 3 | 2.238 | 2 | Aguas negras | 36 | 80,57 | 2.417,040 |
| Electrobomba | 3 | 2.238 | 3 | Agua lluvias | 7,5 | 16,79 | 503,550 |
| Motorreductor | 5 | 3.730 | 1 | Clarificador primario | 24 | 89,52 | 2.685,600 |
| Motorreductor | 5 | 3.730 | 1 | Clarificador secundario | 24 | 89,52 | 2.685,600 |
| Motorreductor | 2 | 1.492 | 1 | Filtro precolador | 24 | 35,81 | 1.074,240 |
| Electrobomba | 5 | 3.730 | 1 | Clarificador primario | 1 | 3,73 | 111,900 |
| Electrobomba | 5 | 3.730 | 1 | Clarificador secundario | 1 | 3,73 | 111,900 |
| Electrobomba | 5 | 3.730 | 1 | Filtro precolador | 24 | 89,52 | 2.685,600 |
| Motorreductor | 2 | 1.492 | 4 | Espesadores digestores | 96 | 143,23 | 4.296,960 |
| Lámparas | | 200 | 16 | Alumbrado exterior | 192 | 38,40 | 1.152,000 |
| Instalaciones Internas | | 1.000 | 1 | Alumbrado y tomas interiores total | 12 | 12,00 | 360,000 |
| UPS | | 3.000 | 1 | Rack | 24 | 72,00 | 2.160,000 |
| Aire Acondicionado | | 2.000 | 2 | Aire acondicionado rack y vivienda | 48 | 96,00 | 2.880,000 |
| **Total** | | | | | | **770,813** | **23.124,390** |

| Tipo de energía | kW | Estimado mensual | Vr kW |
|---|---|---|---|
| Energía activa | 18.787,51 | 12.809.750,00 | 681,82 |
| Energía reactiva | 4.336,88 | 1.005.245,00 | 231,79 |
| Total estimado mensual | 23.124,39 | **13.814.995,00** | |

| | | |
|---|---|---|
| **Estimado anual** | **12** | **165.779.940,00** |

Fuente: elaboración propia.

Para la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales también se requiere combustible, con un consumo aproximado de 12 galones mensuales, como se detalla en la tabla 7.

Tabla 7. Cálculo aproximado de consumo de combustible

| Equipo | Consumo mensual / gal | Vr. aprox ACPM | Vr aprox. mensual |
|---|---|---|---|
| Planta generadora | 12 | 10.000,00 | 120.000,00 |
| | **Estimado anual** | **12** | **1.440.000,00** |

Fuente: elaboración propia.

Dentro de la tabla 8 se describen los costos asociados a un conjunto de análisis y pruebas realizadas en lodos residuales o lodos generados en procesos de tratamiento de las aguas residuales. El objetivo de la caracterización de lodos es determinar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Esto puede incluir la medición de la concentración de sólidos, el contenido de nutrientes, la densidad, la viscosidad y otros parámetros relevantes. La caracterización de lodos es esencial para comprender la composición de los lodos y tomar decisiones informadas sobre su manejo, disposición o tratamiento posterior.

Tabla 8. Caracterización de lodos

| Descripción | Costo mensual | Costo anual |
|---|---|---|
| Caracterización de lodos | 2.166.666,67 | 26.000.000,00 |
| Multiparámetro: oxigena, pH, conductividad y temperatura | 2.071.713,05 | 24.860.556,56 |
| Toma de muestras, análisis y gastos logísticos para 4 muestras de ARD, 2 muestras de AS y 4 muestras de lodos | 2.163.722,00 | 25.964.664,00 |
| **Total** | **6.402.101,71** | **76.825.220,56** |

Fuente: elaboración propia.

Los costos adicionales asociados a la operación y el mantenimiento de una PTAR pueden incluir adecuaciones y la póliza de seguros, como puede verse en las tablas 9 y 10.

Tabla 9. Adecuaciones

| Descripción | Costo mensual | Costo anual |
|---|---|---|
| Construcción e instalación sistema de quemado biogás. Antorcha | 3.045.972,92 | 36.551.675,00 |
| Planta de emergencia | 666.666,67 | 8.000.000,00 |
| Bomba de lodos | 7.409.430,88 | 88.913.170,50 |
| **Total** | **11.122.070,46** | **133.464.845,50** |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Póliza

| | |
|---|---|
| Vr PTAR según liquidación contrato | 4.746.155.029,99 |
| Tasa | 0,321% |
| Vr póliza | 15.235.157,65 |

| Descripción | Costo mensual | Costo anual |
|---|---|---|
| Póliza | 1.269.596,47 | 15.235.157,65 |
| | **1.269.596,47** | **15.235.157,65** |

Fuente: elaboración propia.

En resumen, los costos asociados a la operación y el mantenimiento de una PTAR ascienden a un costo mensual de 41 millones de pesos y un costo anual de 496 millones de pesos.

Por otro lado, los beneficios de implementar una PTAR convencional ayudan a reducir la carga contaminante vertida a las fuentes hídricas y mejorar la calidad del agua que se deja en los cuerpos receptores. Esto permite reducir, a largo plazo, el valor que se debe cancelar por concepto de tasa retributiva y disminuir las multas o sanciones por el incumplimiento de los estándares ambientales.

El tratamiento de aguas residuales también posibilita la reutilización del agua tratada para fines no potables, como riego o lavado. Además, contribuye a disminuir las externalidades negativas, como los malos olores y las enfermedades.

Por último, podemos inferir que invertir en infraestructura de tratamiento de aguas residuales no solo es una medida responsable desde el punto de vista ambiental, sino también una inversión que puede generar ahorros a largo plazo y mejorar la calidad de vida de la comunidad.

3. Determinar la rentabilidad y el tiempo de retorno de inversión empleando un modelo financiero que integre la información de las alternativas identificadas en el análisis costo-beneficio, para la implementación de una planta de tratamiento convencional en una empresa de servicios públicos domiciliarios.

Los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo son catalogados como básicos y esenciales según la Constitución nacional. Es así como el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, a través de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), realiza el seguimiento y control de las entidades prestadoras de servicios. Además, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) establece criterios para otorgarles subsidios a los usuarios de escasos recursos, y desarrolla metodologías para fijar las tarifas.

Mediante la Resolución CRA 688 de 2014 y la Resolución CRA 825 de 2017, se establecen los modelos tarifarios para empresas de servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado. Esta metodología tiene los siguientes componentes (figura 1).

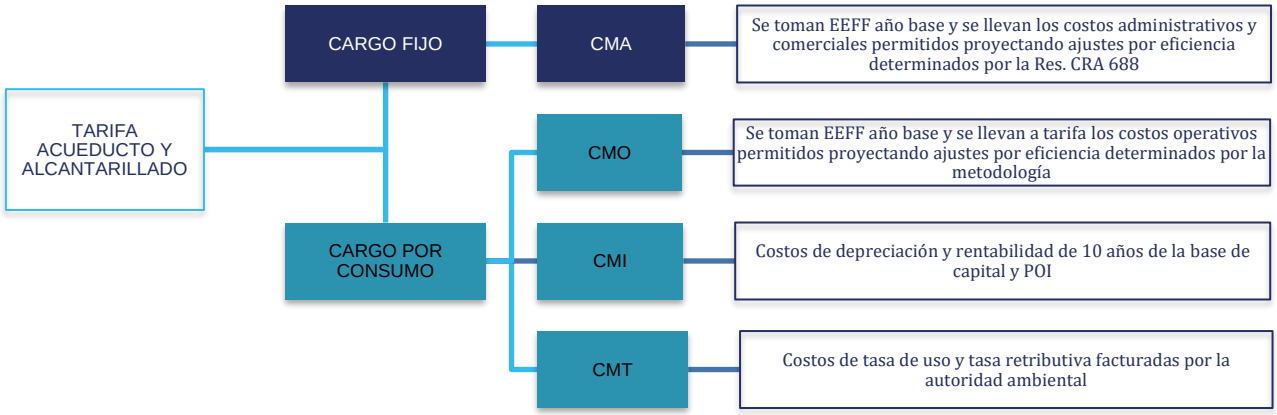


Figura 1. Metodología regulada por las Resoluciones CRA 688 de 2014, CRA 821 de 2017 y CRA 908 de 2019

Fuente: elaboración propia.

En resumen, el cargo fijo de acueducto y alcantarillado se calcula tomando como referencia un año base y se incluyen los costos administrativos y comerciales, tales como:

- Gastos de personal que realice labores administrativas relacionadas directamente con la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
- Gastos relacionados con las contribuciones imputadas y efectivas.
- Gastos de aportes a parafiscales de todo el personal de la empresa que realiza labores administrativas.
- Gastos generales relacionados con el funcionamiento.

- Deberán incluirse únicamente las amortizaciones administrativas directamente relacionadas con la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
- Gastos comerciales propios de la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
- Remuneración de los activos administrativos (depreciación).

Estos costos medios administrativos (CMA) se dividen por el número de suscriptores, y de esta manera se establece el valor mensual que se debe cobrar por cargo fijo.

Los cargos por consumo del servicio de acueducto y alcantarillado se establecen de acuerdo con tres componentes, que son:

El costo medio de operación (CMO), que incluye:

- Costos correspondientes a sueldos y salarios del personal de la empresa que realiza las labores operativas relacionadas directamente con la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
- Costos generales relacionados con el funcionamiento y con la prestación del servicio.
- Costos relacionados con los pagos por contribuciones a los Comités de Estratificación.
- Costos de insumos directos, los costos por mantenimientos y reparaciones de maquinaria y equipo afecto a la prestación del servicio.

- Costos por contratos operativos que realice la persona prestadora para desarrollar actividades operativas.
- Costos de los seguros requeridos para garantizar la operación.
- Costos de órdenes y contratos por otros servicios.
- Amortizaciones de propiedades, planta y equipo, como las de vías de comunicación y acceso internas.
- Costos de arrendamiento de los activos operativos afectos a la prestación del servicio que no sean de propiedad de la persona prestadora.
- Remuneración de los activos operativos de propiedad de la persona prestadora.

El CMO se calcula dividiendo los costos operativos totales entre el consumo.

El costo medio de tasas ambientales (CMT), que corresponde a los valores recaudados para cancelar a la autoridad ambiental. Estos recursos se aplican para compensar los impactos ambientales de la extracción y el tratamiento del agua. Por este concepto se cancela la tasa de uso y por el manejo de aguas residuales se cancela la tasa retributiva.

El costo medio de inversión (CMI). Este representa una porción de la inversión realizada por la empresa para la construcción, el mantenimiento y mejoramiento de la infraestructura necesaria para la prestación del servicio. El CMI corresponde a la suma de los flujos de depreciación y rentabilidad de la base de activos. La base de activos se refiere a la totalidad de los activos que la empresa ha invertido en la infraestructura necesaria para la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado. También se suma la rentabilidad de los terrenos y el plan de obras de inversión regulado (POIR); este último es un instrumento regulatorio

que detalla las inversiones que la empresa realizará en su infraestructura durante un periodo de diez años. Debe presentar una descripción de las obras que se van realizar, los costos asociados, el cronograma de ejecución y los beneficios esperados. Además, debe estar alineado con los objetivos estratégicos de la empresa y las necesidades de los usuarios.

Una vez consultada y analizada la normatividad tarifaria aplicada a las empresas de servicios públicos domiciliarios, se procedió a establecer, a partir de los flujos de caja, la rentabilidad y el tiempo de retorno de la inversión.

Para la elaboración del modelo se tomó un caso práctico de la empresa de servicios públicos del departamento de Caldas, Empocaldas. Esta entidad está conformada por una sede administrativa con domicilio en la ciudad de Manizales y 24 seccionales ubicadas en veinte municipios, tres corregimientos y un centro poblado, pertenecientes al departamento de Caldas y 21 municipios; igualmente, cuenta con 22 plantas de tratamiento de agua potable, diez bombeos y una planta de tratamiento de aguas residuales. En su condición de monopolio natural presta de manera integral los servicios de acueducto y alcantarillado en los municipios y corregimientos socios.

Empocaldas, actualmente, suministra el servicio de acueducto en el corregimiento de Guarinocito, perteneciente al municipio de La Dorada, con una población de 3.182 habitantes (proyección para el año 2020 realizada con base en la información de los censos realizados por el DANE), ubicado a una altitud de 170 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con 911 suscriptores, un consumo básico subsidiado de hasta 16 $m^3$ y un consumo promedio por suscriptor de hasta 17 $m^3$. En la actualidad tiene un sistema de recolección de alcantarillado

de uso combinado y una infraestructura para el manejo de agua lluvia que entrega las mismas a la charca de Guarinocito, que atiende una parte de la zona urbanizada.

En la elaboración del modelo, la inversión inicial se tomó del proyecto ejecutado por la Gobernación de Caldas en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales en el corregimiento de Guarinocito. Los ingresos se calcularon de acuerdo con la demanda esperada, tomando como referencia el número de suscriptores que se tienen en el corregimiento desde el año 2019 hasta la fecha. Se estableció una tasa de crecimiento del 1 % en suscriptores, multiplicando el número de suscriptores por el valor del cargo fijo y sumando el consumo promedio esperado por el valor del $m^3$; así, el nivel de consumo se estimó con un crecimiento de 21,34 $m^3$ de acuerdo con el indicador de consumo por usuario facturado. Este se calcula tomando el consumo acumulado por año, dividido por el número de suscriptores y dividido por 12 meses del año, en virtud de lo señalado en el artículo 125 de la Ley 142 de 1994:

> Durante el período de vigencia de cada fórmula, las empresas podrán actualizar las tarifas que cobran a sus usuarios aplicando las variaciones en los índices de precios que las fórmulas contienen. Las nuevas tarifas se aplicarán a partir del día quince del mes que corresponda, cada vez que se acumule una variación de, por lo menos, un tres por ciento (3 %) en alguno de los índices de precios que considere la fórmula (República de Colombia, 1994).

Para el caso de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado, el índice que se debe considerar es el Índice de Precios al Consumidor (IPC).

Al construir una PTAR se espera una reducción en lo que se paga a Corpocaldas por concepto de tasa retributiva. Para estimar este valor se tomó como referencia lo pagado por el

municipio de Risaralda, Caldas, ya que el consumo de agua producía es similar al del corregimiento de Guarinocito.

La vida útil de la PTAR se calculó considerando lo establecido en la Resolución CRA 688 de 2014, en el artículo 49, “Clasificación de activos e inversiones por grupo de activos y asignación de su vida útil regulada”. Los activos e inversiones que conforman la BCR para los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado se clasifican de acuerdo con los grupos de la tabla 11 y les corresponderá la vida útil que tiene asignado dicho grupo de activos.

Tabla 11. Alcantarillado

| Subsistema | Actividad | Activo | Vida útil (Años) |
|---|---|---|---|
| Recolección y transporte de aguas residuales | Recolección y transporte | Tubería y accesorios | 45 |
| | | Canales y box culvert | 35 |
| | | Interceptores | 45 |
| | | Colectores | 40 |
| | Elevación y bombeo | Estación elevadora | 25 |
| | | Estación de bombeo | 25 |
| | | Pondajes y laguna de amortiguación | 45 |
| Tratamiento y disposición final de aguas residuales | Pretratamiento | Desarenación | 35 |
| | | Presedimentación | 35 |
| | | Rejillas | 20 |
| | | Medición | 23 |
| | Tratamiento | Plantas FQ y biológicas | 40 |
| | | Tanques homog y almacenamiento | 45 |
| | | Laboratorio | 30 |
| | | Manejo lodos y vertimiento | 23 |
| | | Estación de bombeo | 25 |
| | Disposición final | Tubería y accesorios | 40 |
| | | Estructura vertimiento | 30 |
| | | Manejo lodos | 23 |
| | | Estación bombeo | 25 |

Fuente: elaboración propia.

En promedio, una PTAR en condiciones normales, considerando cada uno de los componentes de esta infraestructura, puede tener una vida útil de 33 años. Los costos de

operación y mantenimiento fueron tomados de acuerdo con lo establecido en el objetivo anterior, donde se calculan unos costos estimados mensuales por valor de 41 millones y anual por valor de 496 millones.

La tasa de impuesto fue tomada de acuerdo con lo establecido en la Ley 1819 de 2016 y sus modificaciones, en el artículo 240, en el cual establece la tarifa para personas jurídicas por concepto de impuesto de renta, que es del 35 % a partir del año gravable 2022.

Se llevó a cabo el estado de resultados del proyecto con la proyección de la vida útil del activo, realizando incrementos en ingresos, de acuerdo con lo establecido en la normatividad regulatoria y los costos y gastos de acuerdo con los informes de política monetaria del Banco de la República, que espera que la inflación al cierre del año 2023 termine en el 9 % y se reduzca a 3,5 % al cierre del año 2024.

La tasa de descuento se tomó de acuerdo con lo que establece la Resolución CRA 688 de 2014. Esta se obtiene con la metodología del Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC, por sus siglas en inglés) antes de impuestos. De acuerdo con el segmento que corresponde a las personas prestadoras que atienden a un número de suscriptores, entre 5.001 y 100.000 en áreas urbanas, la tasa de descuento anual es del 12,76 %.

Una vez calculado el modelo se pudo establecer que la construcción, operación y mantenimiento de una PTAR no es viable financieramente. Las empresas, según el modelo tarifario diseñado y establecido, deben trasladar el costo de las inversiones realizadas y la operación y el mantenimiento a sus suscriptores. Teniendo en cuenta las características de los usuarios que tiene Empocaldas, donde el 60 % pertenecen al estrato 1 y 2, el 30 % al

estrato 3 y el 10 % restante a estrato 4 e industriales y comerciales, resulta insostenible para estos suscriptores pagar una factura de servicios públicos en los cuales se incluya la construcción de una infraestructura en cada uno de los municipios, corregimientos y centros poblados en los cuales se presta el servicio de alcantarillado. Si bien en el modelo a partir del año 26 se logra un equilibro en los costos de operación y mantenimiento, la inversión en la construcción de la infraestructura no se recupera durante los 33 años establecidos de vida útil, que puede durar en promedio cada uno de los componentes de la PTAR, sin requerir inversión adicional en infraestructura en condiciones normales.

Los retrasos que tiene Colombia en acueducto, alcantarillado y saneamiento básico hacen que las inversiones deban ser prioridades orientadas para cumplir con los indicadores de cobertura, continuidad y calidad del agua.

4. Identificar las posibilidades de financiamiento y las fuentes de recursos disponibles para implementar un proyecto de reducción de carga contaminante en una empresa de servicios públicos domiciliarios.

Para reducir las cargas contaminantes en una empresa de servicios públicos, una de las fuentes de financiación es el Gobierno nacional, el cual, en su Plan Nacional de Gobierno "El Plan de la Gente 2022-2026", incorporó un proyecto de Planta de Tratamiento de Agua Residual para los municipios PDET y las Zonas Más Afectadas por el Conflicto Armado (ZOMAC), dentro del segundo catalizador del plan de desarrollo: "El agua, la biodiversidad y las personas en el centro del ordenamiento territorial". Para la dimensión de la

transformación de ordenamiento del territorio alrededor del agua y justicia ambiental, el Gobierno destinó 28,8 billones de pesos.

Estos recursos pueden otorgarse a la empresa de servicios públicos por medio de la viabilización de proyectos, ante la ventanilla nacional del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

Otra fuente de financiación del Gobierno nacional es aquella que se realiza a través del mecanismo de obras por impuesto. Este mecanismo se estableció con la Reforma Tributaria del 2016 y les permite a las personas naturales y jurídicas, que son contribuyentes del impuesto de renta y complementarios, realizar el pago de dicho impuesto a través de la ejecución de obras o proyectos de inversión pública de trascendencia social. Este mecanismo permite la inversión directa de los recursos destinados al pago de impuestos en proyectos de infraestructura y otras iniciativas que buscan mejorar la calidad de vida de las poblaciones ZOMAC y en los Territorios de Desarrollo Focalizados.

El procedimiento para aplicar el mecanismo de obras por impuestos implica que los contribuyentes presenten una solicitud de ajuste cumpliendo con los requisitos establecidos. Cada solicitud es revisada por la Agencia de Renovación del Territorio (ART) para su posterior aprobación y ejecución de los proyectos.

Además, existen otras entidades de carácter internacional que ofrecen asistencia técnica y financiera a países en desarrollo para proyectos de infraestructura, incluyendo proyectos de saneamiento y manejo de aguas residuales, como el Banco Mundial, el Banco Africano de Desarrollo y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

# RESULTADOS

Una vez desarrollados los objetivos propuestos, se obtuvieron los siguientes resultados.

- La implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales convencional ayuda a reducir la carga contaminante vertida a las fuentes hídricas y mejora la calidad del agua que se vierte en los cuerpos receptores. Esto permite reducir, a largo plazo, el valor que se debe pagar por concepto de tasa retributiva y disminuir las multas o sanciones por incumplimiento de los estándares ambientales.
- Se elaboró un modelo financiero en el cual se evidenció que no es viable financieramente la construcción y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales, ya que los costos son muy elevados para poblaciones pequeñas, donde el valor de estos se debe dividir entre el número de suscriptores.
- Se pudieron establecer dos mecanismos para gestionar recursos del Gobierno nacional y algunas entidades internacionales que brindan asesoría, asistencia técnica y financiera, orientadas a reducir las cargas contaminantes y mejorar las condiciones del medioambiente.

## CONCLUSIONES

- Después de realizar el análisis financiero se determinó que la construcción y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales convencionales en poblaciones pequeñas, como el corregimiento de Guarinocito, no es viable financieramente. Es decir, que los costos asociados a la implementación de la planta son demasiado altos en relación con el número de suscriptores, lo que hace que el retorno de inversión sea insuficiente para justificar el proyecto.
- Una de las ventajas más destacadas de implementar las PTAR se relaciona con la disminución de los costos asociados al pago de tasas retributivas y la reducción de riesgos de posibles sanciones por el incumplimiento de la normatividad ambiental.
- Una PTAR evita la contaminación de los cuerpos de agua receptores permitiendo la preservación de los ecosistemas; en cuanto a los beneficios en salud reduce la propagación de enfermedades y ayuda a mejorar la calidad de vida de los habitantes. Para finalizar, las aguas tratadas se podrán reutilizar para riego y otros usos no potables contribuyendo al desarrollo urbano sostenible.

## REFERENCIAS


Administración del recurso hídrico (2018). https://informe2020.gruponutresa.com/wp content/uploads/2021/03/admon_recursoshidricos_2018.pdf.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2016). Reducción de cargas contaminantes: un enfoque estratégico para la sostenibilidad empresarial. https://www.epa.gov/sites/production/files/201608/documents/reduccion_de_cargas _contaminantes_- _un_enfoque_estrategico_de_sostenibilidad_empresarial.pdf.

Agua (s. f.). *Naciones Unidas*. https://www.un.org/es/global-issues/water.

Aguilera, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofin*, *11*(2), 322-343.

Brouwer, R., Hofkes, M., Linderhof, V. G. y Ruijs, A. (2018). Analysing the impact of investments in pollution abatement on corporate financial performance. *Environmental Resource Economics*, *69*(2), 203-226.

Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA). (2017). Misión crecimiento verde. https://www.dnp.gov.co/LaEntidad_/misiones/mision-crecimiento-verde/Documents/ejes-tematicos/Agua/20180422_DIAGNOSTICO_Vfinal.pdf.

¿Cuántas plantas de tratamiento de aguas residuales hay en Colombia? (17 de septiembre de 2017). *Acuatécnica*. https://acuatecnica.com/cuantas-plantas-tratamiento-aguas-residuales colombia/.

Economía circular: definición, importancia y beneficios (24 de mayo de 2023). *Noticias Parlamento Europeo*. https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios.

Empocaldas (2023). https://empocaldas.com.co/.

Eschenhagen, M. L. (1998). Evolución del concepto “desarrollo sostenible” y su implantación política en Colombia. *INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales,* (11), 111-120.

La degradación del medioambiente provocará millones de muertes prematuras (13 de marzo de 2019). *Noticias ONU*. https://news.un.org/es/story/2019/03/1452781.

Lakhani, A., Vaseghi, S. y Selverajoo, S. K. (2018). The impact of environmental regulations on the corporate social responsibility activities of companies in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, *172*(1), 217-227.

Mies, M. y Vandana, S. (1998). *La praxis del ecofeminismo: biotecnología, consumo y reproducción*. Icaria Editorial.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2020). Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. https://www.unesco.org/en/wwap.

Organización de las Naciones Unidas (ONU) y CEPAL (2019). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales*. CEPAL.

¿Qué se entiende por biomímesis? Una conversación con Jaime Benyus (2008). https://www.terra.org/categorias/articulos/que-se-entiende-por-biomimesis-una-conversacion-con-janine-benyus-14.

Qué es una PTAR: función y relevancia (30 de abril de 2021). https://gctratamiento.mx/que-es-una-ptar/.

Recuerde cuáles son los delitos ambientales que se penalizan en Colombia (5 de enero de 2022). https://www.minambiente.gov.co/recuerde-cuales-son-los-delitos-ambientales-que-se-penalizan-en-colombia/.

República de Colombia (1994). Congreso de Colombia. Ley 142 de 1994. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752.

República de Colombia (1997). Decreto 901 de 1997. https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1729219.

República de Colombia (2014). Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Resolución CRA 688 de 2014. https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_cra_0688_2014.htm.

República de Colombia (2015). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 1076. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153.

República de Colombia (2018). Política de reducción de cargas contaminantes. https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/politica.politica_de_reduccion_de_cargas_conta minantes.pdf.

Rodríguez, H. (13 de marzo de 2017). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes.

Saad, N. M., Muda, Z., Kamaruddin, S. y Suhaimi, R. (2019). Indicators for measuring environmental sustainability of projects: A review. *Journal of Cleaner Production*, *233*(1), 604-617.

Saneamiento de vertimientos (2021). https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/saneamiento-de vertimientos.

Tasa Retributiva por Vertimientos Puntuales (2023). https://www.minambiente.gov.co/negocios-verdes/tasa-retributiva-por-vertimientos-puntuales/#:~:text=La%20tasa%20retributiva%20por%20vertimientos.

VAN y TIR: ¿para qué sirven y cuándo usarlos? (2019). *Esan*. https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/van-y-tir-para-que-sirven-y-cuando-usarlos.

Velayos, V. (2022). Valor actual neto (VAN). https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html.

Venegas, A. (16 de marzo de 2018). Solamente 48,2 % de los municipios cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales. *La República*. https://www.larepublica.co/infraestructura/solamente-48-2-de-los-municipios-cuentan-con-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-2611155.