



Universidad de Valladolid

Plan de Proyecto para la transición sostenible de una PTAR en Ecuador

Solange Tite Llerena

MÁSTER EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS
Departamento De Organización De Empresas Y C.I.M.
Universidad De Valladolid
España



INSISOC
SOCIAL SYSTEMS
ENGINEERING CENTRE

2024



Universidad de Valladolid

Plan de Proyecto para la transición sostenible de una PTAR en Ecuador.

Solange Tite Llerena.

MÁSTER EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS
Departamento De Organización De Empresas Y C.I.M.
Universidad De Valladolid

Valladolid, julio 2024

Tutor
Fernando Acebes Senovilla

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento al Programa Iberoamérica + Asia de la Universidad de Valladolid por haberme permitido emprender esta gran aventura académica y personal.

A todo el claustro académico que conforma la Maestría en Dirección de Proyectos por su compromiso de aportarnos una formación sumamente enriquecedora de la más alta calidad, en especial a mi tutor Fernando Acebes por su apoyo y asesoramiento incondicional en mi trabajo.

Al Gobierno de San Pedro de Pelileo por su respaldo y confianza para llevar a cabo este proyecto fin de máster. Así como la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por su disposición de asistir y colaborar en el mismo.

A Dios. A mi familia, quienes siempre estuvieron conmigo dándome ánimos, en especial a mi madre quien ha sido mi principal motivación de esfuerzo y perseverancia.

RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Máster aborda la transición sostenible y la dirección de proyectos con el fin de instaurar el concepto de biofactoría en una planta de tratamiento de aguas residuales convencional mediante un modelo de economía circular a largo plazo, por lo que se propone la implementación de una tecnología innovadora (Sistema SGS-GDM), la tecnología de filtración de lodos granulares aeróbicos (AGS) con membrana impulsada por gravedad (GDM). Este estudio se fundamenta en un análisis minucioso de los desafíos y oportunidades en la implementación de proyectos innovadores con enfoque sostenible aplicando metodologías de la dirección de proyectos para planificar, gestionar y desarrollar un plan de transición detallado. Además, este trabajo tiende a impulsar el desarrollo sostenible y la innovación en la gestión de los recursos hídricos, con especial énfasis en la recuperación de productos de valor agregado, con potencial de hacerle frente al panorama actual de estrés hídrico en América Latina, especialmente en Ecuador Finalmente contribuir a que el país aporte a la mitigación del cambio climático alcanzando las metas establecidas en el ODS 13 'Acción por el clima' y ODS 6: "Agua limpia y saneamiento".

PALABRAS CLAVE

Dirección de Proyectos, Transición sostenible, innovación, modelo de economía circular, recursos hídricos, planta de tratamiento de aguas residuales, Sistema AGS-GSM.

ABSTRACT

This Master Thesis addresses the sustainable transition and project management in order to implement the concept of biofactory in a conventional wastewater treatment plant through a long-term circular economy model, so it is proposed the implementation of an innovative technology (SGS-GDM System), the aerobic granular sludge filtration technology (AGS) with gravity driven membrane (GDM). This study is based on a thorough analysis of the challenges and opportunities in the implementation of innovative projects with a sustainable approach by applying project management methodologies to plan, manage and develop a detailed transition plan. In addition, this work aims to promote sustainable development and innovation in water resources management, with special emphasis on the recovery of value-added products, with the potential to address the current scenario of water stress in Latin America, especially in Ecuador. Finally, it contributes to the country's contribution to climate change mitigation by achieving the targets set in SDG 13 'Climate Action' and SDG 6: "Clean Water and Sanitation".

KEYWORDS

Project Management, Sustainable transition, innovation, circular economy model, water resources, wastewater treatment plant, AGS-GSM System

INDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| Objetivo del Proyecto | 1 |
| Alcance del Proyecto | 2 |
| Motivación del Proyecto..... | 2 |
| Estructura del Documento | 3 |
| Capítulo 1 Marco Teórico..... | 5 |
| 1.1 Definición de Proyecto | 5 |
| 1.2 Dirección de Proyectos..... | 6 |
| 1.3 Metodologías de Dirección de Proyectos | 7 |
| 1.3.1 PMBOK..... | 7 |
| 1.3.2 ICB 4 | 11 |
| 1.3.3 PM2 | 13 |
| 1.3.4 PRINCE 2..... | 15 |
| 1.3.5 Metodologías ágiles..... | 16 |
| 1.3.5.1 SCRUM..... | 18 |
| 1.3.5.2 KANBAN..... | 19 |
| 1.3.6 Manual de Oslo | 19 |
| 1.4 Análisis de la sostenibilidad en el sector hídrico..... | 20 |
| 1.4.1 Innovación y sostenibilidad en los recursos hídricos | 21 |
| 1.4.2 Sostenibilidad: Una perspectiva desde las Biofactorías | 21 |
| 1.4.3 Gestión de proyectos: Un enfoque de economía circular | 22 |
| Capítulo 2 Análisis de la planta de tratamiento de aguas residuales | 25 |
| 2.1 Contexto y antecedentes de la planta de tratamiento..... | 25 |
| 2.2 Diagnostico situacional de la planta de tratamiento | 28 |
| 2.3 Análisis de costos operacionales, consumo energético y agua..... | 31 |
| 2.4 Oportunidades y desafíos de la transición sostenible para la planta de tratamiento de aguas residuales. | 32 |
| Capítulo 3 Transición sostenible bajo el modelo de economía circular: Biofactoría. | 35 |
| 3.1 Desafíos de la economía circular en el sector de las aguas residuales. | 35 |
| 3.2 El cambio hacia Biofactoría: un modelo de economía circular..... | 37 |
| 3.3 Propuesta de integración del sistema (AGS-GDM). | 41 |
| Capítulo 4 Plan de Proyecto | 43 |
| 4.1 Dominio de desempeño enfoque | 43 |
| 4.1.1 Enfoque en el valor para el cliente | 43 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4.1.2 | Enfoque en los resultados..... | 43 |
| 4.1.3 | Gestión adaptativa..... | 44 |
| 4.1.4 | Gestión del cambio..... | 44 |
| 4.1.5 | Gestión de riesgo..... | 44 |
| 4.1.6 | Gestión de partes interesadas | 44 |
| 4.1.7 | Enfoque holístico..... | 44 |
| 4.2 | Dominio de desempeño equipo | 44 |
| 4.2.1 | Estructura de desglose de recursos..... | 44 |
| 4.3 | Dominio de desempeño planificación..... | 45 |
| 4.3.1 | Acta de constitución | 46 |
| 4.3.2 | Plan de gestión del alcance..... | 47 |
| 4.3.2.1 | Requisitos del Proyecto..... | 47 |
| 4.3.2.2 | Entregables del Proyecto:..... | 48 |
| 4.3.2.3 | Restricciones del Proyecto | 49 |
| 4.3.2.4 | Hipótesis del Proyecto..... | 49 |
| 4.3.2.5 | Exclusiones del Proyecto | 49 |
| 4.3.2.6 | Creación de la EDT | 50 |
| 4.3.2.7 | Diccionarios de la EDT | 52 |
| 4.3.3 | Plan de gestión del cronograma | 60 |
| 4.3.4 | Plan de gestión de los costes | 63 |
| 4.4 | Dominio de desempeño interesados | 67 |
| 4.4.1 | Plan de involucramiento de los interesados | 71 |
| 4.4.2 | Plan de Gestión de las comunicaciones..... | 72 |
| 4.5 | Dominio de desempeño entrega | 73 |
| 4.5.1 | Plan de Gestión de la Calidad | 73 |
| 4.5.2 | Hojas de Verificación..... | 77 |
| 4.6 | Dominio de desempeño de incertidumbre..... | 80 |
| 4.6.1 | Plan de Gestión de los Riesgos | 81 |
| 4.6.2 | El valor monetario esperado para eventos de mayor ocurrencia (EVM) | 86 |
| 4.7 | Dominio de desempeño trabajo del proyecto | 87 |
| 4.7.1 | Asignación de Responsabilidades | 87 |
| 4.7.2 | Plan de Gestión de las Adquisiciones. | 89 |
| 4.7.3 | Criterios de Selección de las Adquisiciones..... | 91 |
| 4.8 | Dominio de desempeño medición | 95 |
| 4.8.1 | Gráfica de evolución del trabajo | 95 |
| 4.8.2 | Plan de vigilancia simplificado | 96 |

| | | |
|--------------------------|--|------------|
| 4.8.3 | Monitorización del Método del valor ganado / Earned Value Method. | 98 |
| CONCLUSIONES | | 101 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 103 |
| INDICE DE FIGURAS | | 109 |
| INDICE DE TABLAS | | 111 |

INTRODUCCIÓN

La gestión de las aguas residuales de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se ha vuelto un tema de interés focal en la dirección de proyectos de desarrollo sostenibles, requiriendo cada vez más soluciones innovadoras y eficientes energéticamente, junto con la recuperación de nutrientes y subproductos de valioso interés.

Con el aumento de la población, industrialización y el cambio climático, la presión sobre los recursos hídricos ha aumentado significativamente. Sumando la actual panorámica de escasez hídrica que está afectando al desarrollo económico de América Latina, países como Ecuador enfrenta un desafío significativo para gestionar de manera efectiva este recurso vital. La zona centro-norte del Ecuador enfrenta problemas de disponibilidad y aprovechamiento del recurso hídrico que obstaculizan el desarrollo y la sostenibilidad de la región. Ante esta crisis, se exploran soluciones innovadoras en el presente TFM desde el contexto de la dirección de proyectos.

Este TFM se concentra en una investigación minuciosa para potenciar el cambio de paradigma convencional en torno al funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del centro de faenamiento situado en la provincia de Tungurahua en Ecuador a una Biofactoría, esto implica una apuesta por la innovación para aumentar la eficiencia y sostenibilidad de los procesos de tratamiento. La propuesta consiste en la transición sostenible del modelo convencional y consumidora de energía hacia una planta de tratamiento de aguas residuales productora de energía y nutrientes, reductora de emisiones de carbono para alcanzar la meta de sostenibilidad al servicio de la economía circular. No obstante, esta transformación conlleva un proceso complejo que requiere de las aportaciones que nos ofrece la dirección de proyectos para la planificación, gestión y adaptación al cambio de todos los actores involucrados.

En la actualidad, la dirección de proyectos es clave en entornos circunstancialmente complejos, ya que nos brinda una amplia gama de metodologías, herramientas, técnicas, enfoques y habilidades para la gestión exitosa de los proyectos. En el contexto de la innovación con enfoque sostenible, la dirección de proyectos contribuye significativamente con su aportación académica y experimental para sobrellevar la complejidad e incertidumbre asociada a este tipo de proyectos.

El propósito de este trabajo es ofrecer una visión académica y práctica de abordar los desafíos y oportunidades que se presentan en este tipo de escenarios complejos. De forma muy general, un proceso de transición es un cambio profundo y complejo que requiere de una minuciosa gestión y más aún si es un proyecto, donde requiere mayor control y seguimientos de las actividades para garantizar el éxito de este. A través de este trabajo realizado en la planta de tratamiento de aguas residuales del centro de faenamiento en la región del Ecuador, se espera contribuir a la mitigación del cambio climático, abordando este tipo de iniciativas que contribuyen a reducir el impacto al medio ambiente y de esta forma, alcanzar las metas establecidas en el ODS 13 'Acción por el clima' y ODS 6: "Agua limpia y saneamiento", fijado en la Agenda 2030 de Naciones Unidas.

Objetivo del Proyecto

El objetivo principal de este TFM es desarrollar un plan de proyecto para la transición sostenible de una planta de tratamiento de aguas residuales convencional situada al Sur de la región del Ecuador, para instaurar un modelo de economía circular bajo el contexto de Biofactoría y contribuir a la gestión sostenible de los recursos hídricos en el Ecuador. Para lograr este objetivo principal, se han establecido los siguientes objetivos secundarios:

- Comprender las metodologías de Dirección de Proyectos y su aplicación en la Transición Sostenible en los recursos hídricos.
- Analizar la situación actual de la planta de tratamiento de aguas residuales al sur del Ecuador, mediante una visita de campo, análisis de sus efluentes y ahondar en los desafíos y oportunidades de incorporar un modelo de economía circular en la planta.
- Proponer la implementación de una tecnología innovadora y sostenible, como lo es el sistema SGS-GDM hacia el enfoque de convertir progresivamente la planta en una Biofactoría.
- Desarrollar un plan de proyecto detallado para llevar a cabo esta transición sostenible, utilizando una de las metodologías de Dirección de Proyectos

Alcance del Proyecto

Este TFM cubre una de las metodologías principales de la gestión de proyectos, el PMBOK séptima edición para el desarrollo del plan de proyecto respecto a la propuesta de implementar un sistema innovador y sostenible, con un enfoque conciso de instaurar el concepto de Biofactoría en la planta de tratamiento de aguas residuales del centro de faenamiento localizado al sur de la región ecuatoriana. Además, incluye la identificación y análisis de los desafíos y oportunidades que circundan la propuesta de un modelo de economía circular mediante esta transición sostenible y finalmente, el desarrollo de un plan de proyecto para implementar el sistema SGS-GM.

La propuesta para la implantación de un sistema o tecnología innovadora mediante esta transición sostenible de la planta de tratamiento de aguas residuales es un estudio que pretende servir como guía para futuros proyectos prácticos entorno a la gestión de los recursos hídricos. Además, podría resultar valioso en la dirección de proyectos con carácter sostenible, donde la comunicación, el *feedback* y las lecciones aprendidas son la base para garantizar el éxito de futuros trabajos bajo estas líneas y parámetros de investigación.

Cabe destacar que el plan de proyecto de este trabajo será analizado y estudiado por parte del departamento de obras públicas del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón San Pedro de Pelileo para su futura puesta en marcha como parte del acuerdo establecido.

Motivación del Proyecto

Una de las prioridades de generar esta transición es impulsar el cambio de paradigma en las plantas de tratamiento de agua residual, ya no centrarse únicamente en la funcionalidad de descontaminar y depurar las aguas para cumplir con los parámetros establecidos por las normativas de regulación ambiental para su descarga, sino ir un paso más allá, motivados por la actual realidad que enfrentamos respecto a la escasez de recursos vitales como lo es el agua.

La escasez hídrica, un fenómeno que impacta cada vez más a la actividad económica y el tejido social, una situación cada vez más compleja de abordar únicamente desde la conciencia sobre el uso responsable del agua. La interacción de factores como el incremento poblacional, la industrialización, aumento de la demanda del agua, así como variables geográficas y políticas son el resultado de la actual crisis de escasez hídrica. A esto, se suma uno de los fenómenos más significativo e inquietante en la actualidad, sin atisbo de duda, el cambio climático.

La escasez de agua es una realidad en América Latina. De acuerdo, con el Banco Mundial, estima que más del 80% de la población carece de este recurso, alrededor de 150 millones de personas

viven en regiones con gran escasez de agua, y el cambio climático está empeorando la situación. El gran desafío que enfrenta países como Ecuador en la gestión de sus recursos hídricos, impulsa a la búsqueda de soluciones factibles. Esta situación, plantea la necesidad de impulsar una transición sostenible de infraestructuras convencionales a Biofactorías, creando modelos circulares y sostenibles para las actuales plantas de tratamiento de aguas residuales.

Este proyecto impulsa a generar un cambio de paradigma profundo a nivel funcional, partiendo de una transformación progresiva de un sistema vetusto que se sigue conservando en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Partiendo, de que aún se mantiene el modelo de economía lineal que cada vez se vuelve insostenible, y sigue despilfarrando recursos y contaminado más. Este trabajo fin de máster, a más de ser un compromiso personal por contribuir al desarrollo y progreso sostenible de mi país, como profesional en la dirección de proyectos, tengo la oportunidad de aplicar y profundizar estas herramientas y conocimientos adquiridos en el máster abordando una problemática real que repercute a una causa de interés económico, social y ambiental.

En definitiva, la motivación de este proyecto reside en la necesidad de gestionar la adaptación al cambio, proponer soluciones para hacer frente a la mitigación del cambio climático, impulsar la oportunidad de innovar y contribuir hacia un futuro sostenible para las futuras generaciones.

Estructura del Documento

Este documento, está organizado de la siguiente manera:

Capítulo 1 “Marco Teórico”: En este capítulo se presenta el marco teórico, una investigación minuciosa y profunda de las metodologías de Dirección de Proyectos, vinculado al contexto de la sostenibilidad. A través de este estudio, se pretende abordar un discernimiento reflexivo de cómo estas metodologías pueden ser aplicadas para gestionar y dirigir proyectos de transición sostenible de manera objetiva, permitiendo una mejor adaptación al cambio y mejora continua.

Capítulo 2 “Análisis de la situación actual de la PTAR”: Se realiza un análisis integral de la situación actual de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la provincia de Tungurahua- Ecuador. Este análisis nos permite destacar los desafíos y las oportunidades que se presentan en el marco de la Transición sostenible. Este análisis detallado impulsa la necesidad de instaurar el cambio de paradigma convencional a Biofactoría desde un enfoque sostenible, dados los actuales escenarios derivados del cambio climático.

Capítulo 3 “Transición Sostenible de la PTAR”: Un Enfoque en la Gestión sostenible de los recursos hídricos. Se presenta una propuesta innovadora para la transición sostenible de la planta de tratamiento de aguas residuales en Ecuador. Instaurando el concepto de Biofactoría, mediante la adaptación al cambio de la funcionalidad de la planta. Esta propuesta considera la divulgación de hallazgos documentados en artículos académicos y científicos de alto valor, analizados y considerados por la viabilidad técnica, económica, sociales y ambiental a largo plazo.

Capítulo 4 “Plan de Proyecto”: Se desarrolla completamente un plan de proyecto que analiza cómo se llevaría a cabo esta transición, mediante la implementación del sistema AGS-GDM. Este plan se fundamenta en la metodología del PMBOK séptima edición, facilitando una guía para llevar a cabo las actividades de forma eficiente en la zona de estudio.

Conclusiones: Se sintetizan las conclusiones relevantes del proceso de valoración y análisis a lo largo de la investigación. Se resume la idoneidad de la Transición sostenible con el caso de estudio, con énfasis en la instauración de una identidad sostenible de la planta de tratamiento a Biofactoría.

Además, se revisa la implementación del plan de proyecto y se enfatizan las estrategias propuestas para garantizar una implementación exitosa.

Capítulo 1 Marco Teórico

En este capítulo se expondrán los contenidos más significativos en Dirección de Proyectos con una inserción en la Transición Sostenible, que proyecta una base sólida para el análisis y desarrollo del plan de proyecto que se llevará a cabo en este Trabajo de Fin de Máster.

El reto de avanzar a la sostenibilidad, tras la creciente repercusión de la crisis climática a nivel global motiva a abordar soluciones prácticas e innovadoras que puedan tener un impacto significativo. La transición sostenible se ha convertido en una herramienta para la gestión oportuna de los recursos hídricos en un panorama cada vez más complejo y variable. La dirección de proyectos desempeña un papel significativo en el desarrollo de iniciativas de transición sostenible, puesto que proporciona a las partes interesadas una estructura de planificación, organización, seguimiento y control para aplicar cambios a gran escala en sus modelos operacionales, empresariales y estructuras organizacionales.

Este capítulo abordará los principios básicos de la dirección de proyectos, así como las metodologías, técnicas y herramientas más importantes en este campo de estudio. Además, se abordará el estudio de metodologías ágiles, así como el Manual de Oslo que brindan una panorámica para la gestión eficaz de proyectos con enfoque hacia la innovación. En particular, se detallará un análisis de la transición sostenible en el sector de las aguas residuales, la importancia de innovar, sus fundamentos, beneficios, desafíos, así como las actuales tendencias. Además, se analizará cómo repercute la gestión de proyectos en los marcos de la sostenibilidad e innovación con enfoque en los recursos hídricos y cómo afrontar este gran reto en la actualidad.

1.1 Definición de Proyecto

A continuación, se abordará la definición de Proyecto de acuerdo con los diferentes estándares que plantea el campo de la dirección de proyectos:

De acuerdo con el **PMBOK 7aEd** (*Project Management Body of Knowledge*) de PMI (*Project Management Institute*) define un proyecto como el “Esfuerzo temporal que se emplea para crear un producto, servicio o resultado único”(Amaro & Domingues, 2023).

Por otra parte, la **ICB 4.0** (*Individual Competence Baseline*) de IPMA (*International Project Management Association*) define un proyecto como el “Esfuerzo temporal de carácter multidisciplinario y organizado para producir los entregables, acordados cumpliendo con los objetivos y restricciones establecidas” (International Project Management Association, 2015).

En el caso del estándar **ISO 21500** desarrollada por (*Internacional Organization for Standardization*), define un proyecto como “Conjunto único de procesos conformado de actividades coordinadas y controladas, con fechas de inicio y fin, llevadas a cabo para conseguir el cumplimiento de los objetivos definidos” (Bernabé-custodio et al., 2024).

La metodología **PRINCE2** (*Projects IN Controlled Environment*) define un proyecto como “Una organización temporal que se crea con él propósito de entregar uno o más productos de carácter comercial conforme a un Business Case” (Simonaitis et al., 2023).

Finalmente, **PM2** (*Project Management Methodology*) aborda la conceptualización de proyecto como “Una estructura organizacional temporal instaurada para crear un producto o servicio único, denominado entregable con determinadas restricciones tales como tiempo, coste y calidad”

En síntesis, cada una de las metodologías mencionadas enlazan la conceptualización de proyecto como un esfuerzo único y transitorio, emprendido para lograr objetivos planificados, que podrían definirse en términos de productos, resultados o beneficios. En concreto, se considera que un proyecto alcanza el éxito si logra los objetivos de acuerdo con sus criterios de aceptación, dentro de un plazo y un presupuesto establecidos. El tiempo, el costo y la calidad son los pilares de cada proyecto.

1.2 Dirección de Proyectos

La dirección de proyectos juega un papel importante en toda organización próspera. Es un proceso que ayuda a las partes interesadas a finalizar tareas esenciales para el progreso de la organización. Son diversos los procedimientos, herramientas, metodologías y técnicas que integran este campo para llevar a cabo las principales fases o etapas del proyecto, de forma resumida la (Figura 1-1) muestra las etapas más significativas que requieren de un despliegue minucioso en todos sus recursos con el afán de finalizar una tarea, evento u objetivo específico para garantizar a gran medida los resultados finales y éxito del proyecto.



Figura 1-1: Principales fases de la dirección de proyectos. Fuente: Díaz (2021).

En el **PMBOK 7^a** edición del *Project Management Institute* (PMI) describe la dirección de proyectos como “la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas para proyectar actividades a cumplir con los requisitos del proyecto” (Maslennikov et al., 2022). Considerando que la naturaleza de los proyectos es siempre dinámicos, inciertos y variante entre sí mismo y su entorno (Wambura, 2024).

En términos generales, el **PMBOK 7^a** edición, hace alusión a la aplicación de un compendio de factores como métodos, habilidades y experiencia para lograr objetivos específicos del proyecto sujeto a criterios de aceptación dentro de los parámetros acordados, para lograr el éxito de los proyectos, y basada en enfoques de dominio (Maslennikov et al., 2022).

Por su parte, la metodología **ICB 4.0** (*Individual Competence Baseline*) de IPMA (*International Project Management Association*) enfatiza la conceptualización de la dirección de proyectos como "la competencia individual para la aplicación de conocimientos, habilidades y capacidades hacia la consecución del resultado deseado" (Otegi-Olaso et al., 2021).

Mientras que, la metodología **PRINCE2** (*PRojects IN Controlled Environment*) aborda los elementos claves conforme a las fases, principios y áreas de conocimiento, que definen a la dirección de proyectos como “el proceso organizado y estructurado que permite el seguimiento y control de aspectos significativos como el alcance, tiempo, calidad, riesgos, presupuesto y comunicación” (Aukstuolytr, 2023).

Finalmente, la conceptualización de dirección de proyectos en **PM²** (*Project Management Methodology*), respaldada por la Comisión Europea, enfatiza el propósito de permitir a las organizaciones y equipos administrar sus proyectos de manera efectiva (Marques et al., 2023).

En síntesis, cada una de las metodologías y/o estándares expuestos ofrece un amplio espectro de interpretación desde sus fundamentos técnicos y teóricos, sin embargo, en su mayor parte comparten la finalidad de establecer un marco de trabajo sólido y organizado que permita controlar los recursos Y acompañan al proyecto durante todo su ciclo de vida, manteniendo plenamente los objetivos establecidos para su éxito.

Cabe destacar que el éxito de los proyectos está estrechamente ligado con la comunicación entre las partes interesadas para alcanzar las metas y satisfacer sus expectativas, por lo que es imprescindible considerar las competencias transversales para gestionar eficazmente un proyecto.

En esencia, la dirección de proyectos no se trata sólo de seguir los pasos de un manual. Es un arte, una combinación de intuición, creatividad y adaptabilidad, recurrir a los conocimientos teóricos y aplicarlos activamente, moldeándolos para que se ajusten a los distintos matices de cada proyecto. Y, lo más importante, hay que considerar que todo proyecto tiene un inicio y un final definitivos, que deben ser gestionados a detalle con transparencia y eficiencia. Es básicamente, una sinergia entre la teoría, práctica, creatividad y estructura, lo que hace que el ámbito de la dirección de proyectos sea a la vez desafiante y profundamente gratificante a nivel profesional.

1.3 Metodologías de Dirección de Proyectos

En esta sección se presentarán un compendio de las metodologías y/o estándares ampliamente utilizados en la dirección de proyectos. Estas metodologías nos brindan información estructurada y detallada de principios y prácticas que guían a las organizaciones a que sus proyectos se ejecuten con éxito, garantizando un desempeño óptimo en el cumplimiento de sus objetivos.

Cada uno de los recursos considerados en este apartado, focalizan aspectos particulares que deberán ampliarse al momento de emplearse a efectos prácticos. Sumándole, a que el marco de trabajo que ofrece cada uno de estos recursos es independiente y alega determinados criterios alineados con la gestión del cambio, flexibilidad, valor agregado y otros aspectos relevantes en la gestión de un proyecto exitoso. Por lo tanto, tiene sentido analizar y avalorar con antelación el enfoque del proyecto o la organización para adaptarla a situaciones o coyunturas específicas.

1.3.1 PMBOK

El **PMBOK** (*Project Management Body of Knowledge*) es un estándar que proporciona las pautas necesarias para gestionar con éxito un único proyecto (Antwerpen, 2023), describiendo los métodos y procesos necesarios para generar con éxito el resultado requerido dentro del tiempo, costo y estándar de calidad establecidos por los *stakeholders* (Takagi & Varajão, 2020).

La metodología del **PMBOK** hace alusión al compendio de conocimientos sobre gestión de proyectos, una colección completa de procesos, mejores prácticas, herramientas y directrices que se reconocen a este estándar dentro de la industria de la dirección de proyectos. Desde el punto de vista técnico, esta metodología brinda un marco de trabajo sólido para gestionar un proyecto, independientemente el sector, campo o contexto al que haga alusión.

Dado que las actuales tendencias y la globalización, los conocimientos aumentan constantemente, a medida que los profesionales en la dirección de proyectos descubren nuevos métodos o mejores prácticas, debe actualizarse y difundirse periódicamente. Este esfuerzo, es monitoreado, estudiado y supervisado por el *Project Management Institute* (PMI), una asociación global de profesionales

de la gestión de proyectos que están a la vanguardia de la certificación profesional en la gestión y dirección de proyectos.

Los orígenes del **PMBOK** se remontan a 1969, cuando se fundó el PMI con el objetivo de proporcionar un foro para que los profesionales compartieran información y discutieran los problemas encontrados en el campo de la dirección de proyectos (Takagi & Varajão, 2020).

El *Project Management Institute* (PMI) es una de las principales asociaciones mundiales para quienes consideran la gestión de proyectos, programas o carteras su profesión (Takagi et al., 2024).

En 1984, El *Project Management Institute* (PMI) emitió su primera certificación: la *Project Management Professional* (PMP). Forbes ha descrito el examen PMP como "una herramienta crucial para que los posibles directores de proyectos prueben y demuestren su capacidad para desempeñar sus funciones" (Pells, 2021).

La evolución del **PMBOK** contrasta la sexta edición, publicada en 2017, como un recurso esencial para los directores de proyectos y describe 49 procesos que se clasifican en 5 grupos de procesos y 10 áreas de conocimiento (Rosenberger & Tick, 2021). En síntesis, se basa en procesos técnicos, insumos, herramientas y técnicas, y resultados para el director del proyecto.

Mientras que la séptima edición del **PMBOK** documenta principios de alto nivel, en 8 dominios de desempeño, e informa a todos los profesionales de proyectos sobre los conceptos clave que influyen para ejecutar un proyecto exitoso, incorporado cada vez más a procesos vanguardistas y tecnológicos (Jariwala, 2024). En síntesis, se fundamenta en habilidades y recursos para que el equipo obtenga resultados basados en la entrega de valor.

El **PMBOK** sexta edición utiliza cinco grupos de procesos para categorizar las operaciones de gestión necesarias para supervisar un proyecto, las cuales son:

- **Inicio:** Identifica una necesidad, aborda una inquietud o recibe autorización.
- **Planificación:** Establece el alcance, comunica los objetivos y define el plan.
- **Ejecución:** Son los procesos ejecutados para avanzar en el proyecto, acorde a las especificaciones del plan.
- **Seguimiento y Control:** Monitorea el desarrollo del proyecto, realizando cambios y ampliando los plazos según sea necesario.
- **Cierre:** Verifica la calidad de todo el trabajo completado para el proyecto y lo finalizan para uso oficial.

Mientras que los componentes que se superponen durante las diferentes fases del proyecto, conocidas como las 10 áreas de conocimiento son:

- **Gestión de integración:** Se refiere al proceso de concertar las distintas partes que confluyen en el proyecto para cumplir el trabajo hacia un objetivo común.
- **Gestión del alcance :** Garantiza la delimitación, que se incluya todo el trabajo a ejecutarse y solo el trabajo identificado al principio del proyecto será realizado.
- **Gestión del cronograma:** Mantiene el cronograma de eventos preciso y actualizado para cada proyecto, incluido el cumplimiento de responsabilidades y los ajustes necesarios.
- **Gestión de costos:** Se refiere a planificar, presupuestar y controlar los aspectos financieros del proyecto, mantiene los costos de los recursos alineados al presupuesto acordado.
- **Gestión de la calidad:** Garantiza el control de políticas y objetivos de calidad del proyecto, implementa controles para satisfacer las necesidades de todas las partes interesadas.
- **Gestión de recursos:** Delega tareas específicas a los miembros del equipo del proyecto, con el fin de que se gestionen acorde los conocimientos, experiencia y habilidades del responsable asignado para cada paquete de trabajo en el proyecto.

- **Gestión de comunicaciones:** Determina la forma más eficiente de distribuir, monitorear, controlar y almacenar información relacionada con el proyecto entre todas las partes interesadas.
- **Gestión de riesgos:** Identifica, analiza y controla los riesgos, desarrollando un plan de respuestas inmediatas para abordar los problemas que puedan surgir.
- **Gestión de Adquisiciones:** Consigue los productos o servicios necesarios para completar el proyecto. En esta parte se incluyen: planificación de adquisiciones, planificación de licitaciones, selección de fuentes, administración de contratos.
- **Gestión de las partes interesadas:** Identifica todas las personas clave en el proyecto, qué papel desempeñarán, cuáles son sus expectativas y qué estrategias de gestión se emplearán.

En síntesis, la Guía del **PMBOK** de la sexta edición se enfoca en el director de proyectos y en los procesos, mientras que la nueva séptima edición está enfocada en el equipo del proyecto y en los resultados (Marcelino & Domingues, 2022). Esta última edición ha evolucionado con un formato más radical respecto a las anteriores, consiguando la flexibilidad y la adaptación en su nuevo modelo de entrega. Resulta que la séptima edición se ajusta a las necesidades y el momento del proyecto (Rodrigues et al., 2023), por ello que se fundamenta en principios para los dominios estándar y de desempeño, a diferencia de los grupos de procesos y áreas de conocimiento como en el de versiones anteriores, esta evolución se puede apreciar con más detalle en la (Tabla 1-1), que refleja la transformación y principales diferencias de estas dos grandes metodologías de la dirección de proyectos.

Tabla 1-1: Evolución de la Guía PMBOK® desde la sexta a la séptima edición. Fuente: PMI (2021).

| | PMBOK®- Sexta Edición | PMBOK®- Séptima Edición |
|------------------------|---|---|
| Enfoque global | Prescriptivo y descriptivo Énfasis en cómo, no en qué o por qué. | Principios para guiar mentalidades, acciones y comportamientos, ágil, eficiente y centrado en el cliente. |
| Base de diseño | Proceso específico para convertir entradas en salidas. Utilizando herramientas y técnicas. Centrado en los procesos y orientado más al cumplimiento. | Dominios para interactuar, áreas de actividad independientes con resultados de desempeño. Centrado en los resultados de los proyectos además de los entregables. |
| Entorno del proyecto | Interno y Externo. | Interno y Externo |
| Solicitud del proyecto | La mayoría de los proyectos, la mayor parte del tiempo. | Cualquier proyecto dentro del marco. |
| Público objetivo | Principalmente gerentes de proyectos | Miembros y roles del equipo, incluidos el patrocinador. |
| Grado de cambios | Revisión incremental basada en ediciones anteriores. | Basado en principios para reflejar la entrega de valor. |
| Orientación | Referencias a la adaptación, pero no hay orientación específica. | Se proporciona orientación de adaptación específica. |

Ahora, con el **PMBOK** séptima edición, el control y la ruta para gestionar los proyectos está en manos de la experiencia, conocimientos y habilidades de cada director de proyecto, una libertad que se traduce en liderazgo, es decir, la oportunidad de liderar con creatividad y eficacia.

La séptima edición del **PMBOK** transforma la dirección de proyectos, presentándola en principios y dominios a considerar en lugar de procesos y técnicas, su objetivo es facilitar y fomentar la implementación sencilla de la gestión de proyectos (Atencio et al., 2024).

Este cambio en el **PMBOK** séptima edición, representa un cambio significativo, aunando la flexibilidad y empoderando en los Gerentes de Proyectos para adjudicar decisiones más adaptativas y estratégicas en su liderazgo, empleando herramientas más apropiadas a su propio y particular entorno (Becker et al., 2024).

El **PMBOK** séptima edición plantea, que, una vez establecido el objetivo del proyecto, considerar gestionarlo prestando mucha atención a los siguientes temas claves para avanzarlo de manera controlada y oportuna:

- Partes interesadas
- Equipo
- Enfoque de desarrollo y ciclo de vida
- Planificación
- Trabajo de proyecto
- Entrega
- Medición
- Incertidumbre

Estos temas claves se conocen como los 8 dominios de desempeño abordados por el *Project Management Institute* (PMI) en el **PMBOK** séptima edición. El PMI define un dominio como "grupos de actividades relacionadas que son críticas para la entrega efectiva de los resultados del proyecto" (Rodriguez et al., 2023). Finalmente, el PMI le ha dado cabida a los 12 principios estándar para la gestión de proyectos en la séptima edición, como se puede observar con mayor detalle el despliegue de los nuevos aspectos considerados en esta última edición en la (Figura 1-2), se desglosa al según el contexto y naturaleza del proyecto los parámetros para guiar al equipo de forma oportuna.



Figura 1-2: Comparación de los estándares entre la guía PMBOK sexta y séptima edición. Fuente: PMI (2021).

1.3.2 ICB 4

El **ICB 4** es el estándar internacional sobre competencia para gestores de proyectos, programas y carteras. La competencia necesaria para cada uno de estos dominios se visualiza simbólicamente en el triángulo de la providencia a detalle en la (Figura 1-3) de las áreas de competencia: Personas, Práctica y Perspectiva.



Figura 1-3: Triángulo de la providencia en competencias de la ICB. Fuente: IPMA (2022).

La Asociación Internacional de Gestión de Proyectos (IPMA) define los llamados estándares de competencia (Figura 1-4). La línea base de competencia individual de IPMA está actualmente disponible en la versión número cuatro (**ICB 4**), aborda la gestión de proyectos, programas y carteras como método y tarea de gestión en un entorno específico (IPMA, 2022). La visión de IPMA es promover la competencia en toda la sociedad para permitir un mundo en el que todos los proyectos tengan éxito a largo plazo (Vukomanović et al., 2016).

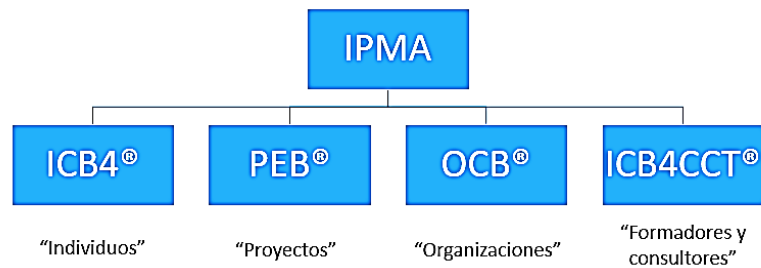


Figura 1-4: Estándares fundamentales para la dirección de proyectos según el IMPA. Fuente: IPMA (2022).

Existen muchas definiciones del término "competencia" en todo el mundo. IPMA, dentro de Línea de Base de Competencia Individual lo define como "la aplicación de conocimientos, habilidades y capacidades para lograr los resultados deseados" (Bushuyev et al., 2021).

Finalmente, (IPMA, 2022), define, Proyecto, programa, portafolio como:

- Proyecto: proceso único, temporal, multidisciplinario y organizado, que se ejecuta para cumplir con los entregables acordados dentro de los requisitos predefinidos.
- Programa: organización temporal de componentes interrelacionados del programa, gestionado de forma coordinada para permitir la implementación de los cambios.

- Portafolio: conjunto de proyectos y/o programas, que no están necesariamente relacionados, reunidos para proporcionar un uso óptimo de los recursos de la organización y para lograr los objetivos estratégicos de la organización.

La estructura de las áreas de competencia del **ICB 4**, según (IPMA, 2022) son:

Perspectiva:

Son aquellas (habilidades contextuales) incluye métodos, técnicas y herramientas para la interacción de un individuo con su entorno. En concreto, se definen 5 competencias:

- estrategia (Perspectiva 1),
- gobernanza, estructuras y procesos (Perspectiva 2),
- cumplimiento, estándares y regulaciones (Perspectiva 3),
- poder e intereses (Perspectiva 4) y
- cultura y valores (Perspectiva 5).
- Persona

Personas:

Se define a las (Competencias personales y sociales) explica las cualidades necesarias para participar y gestionar con éxito proyectos, programas y carteras. En concreto, se definen 10 competencias:

- autorreflexión y autogestión (Personas 1),
- integridad personal y confiabilidad (Personas 2),
- comunicación personal (Personas 3),
- relaciones y compromiso (Personas 4),
- liderazgo (Personas 5),
- trabajo en equipo (Personas 6),
- conflictos y crisis (Personas 7),
- versatilidad (Personas 8),
- negociaciones (Personas 9) y orientación a resultados (Personas 10).

Práctica:

Son las (competencias técnicas) y se definen 14 competencias:

- diseño de proyecto, programa o portafolio (Práctica 1),
- requisitos, beneficios y objetivos (Práctica 2),
- alcance de los servicios y objetos de entrega (Práctica 3),
- procedimientos y plazos (Práctica 4),
- organización, información y documentación (Práctica 5),
- calidad (Práctica 6),
- costes y financiación (Práctica 7),
- recursos (Práctica 8),
- adquisiciones y asociaciones (Práctica 9),
- planificación y control (Práctica 10),
- oportunidades y riesgos (Práctica 11),
- partes interesadas (Práctica 12),
- cambio y transformación (Práctica 13)
- selección de proyectos y balance de cartera (Práctica 14).

1.3.3 PM2

El **PM2** es una metodología ampliamente conocida en la dirección de proyectos, desarrollada por la Comisión Europea abarca una serie de aspectos básicos que permite a los gerentes de proyectos brindar soluciones factibles alineadas con las necesidades y expectativas de quienes confluyen interna como externamente en el proyecto, gracias a su facilidad de adaptación y flexibilidad.

El marco de trabajo del **PM2** ha considerado de forma muy amplia las necesidades de las instituciones y proyectos de la Unión Europea, sin embargo, es transferible a proyectos de cualquier organización, ya que se fundamenta en las buenas prácticas en gestión de proyectos, como se visualiza en la (Figura: 1-5).

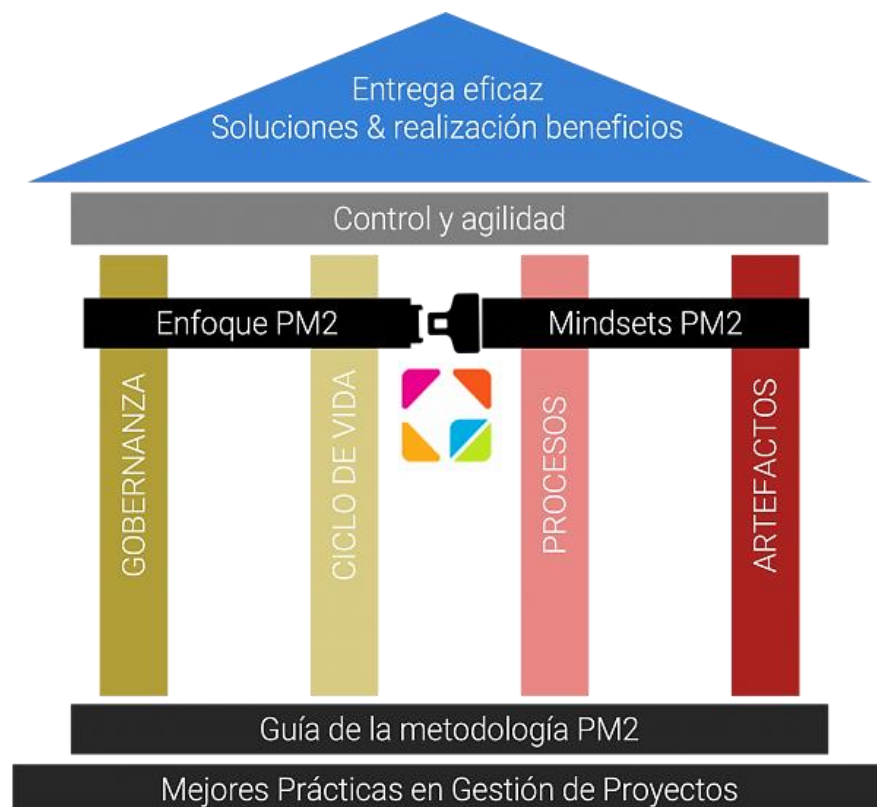


Figura 1-5: Los cuatro pilares que sustentan las buenas prácticas de la metodología PM². Fuente: PM2 (2023).

Se resume las principales buenas prácticas del **PM2** en

- Ciclo de vida del Proyecto: son las etapas o fases.
- Conjunto de Proceso del Proyectos: son las actividades de gestión.
- Conjunto de Artefactos del proyecto: abarca las plantillas y pautas.
- Conjunto de Mentalidades: básicamente son las creencias y comportamientos efectivos.

El modelo de gobernanza **PM2** abarca a detalle la distribución de lo que conforma la organización y roles del proyecto desde el punto de vista de la gestión de proyectos (Figura 1-6), este modelo ofrece una descripción general de los principales roles en la organización del proyecto (Commission & Services, 2016). Considerando que un equipo de proyecto dispone de roles

definidos por las capas de ejecución, gestión y dirección, al ser las más comunes, facilita al equipo de proyecto el trabajo en equipo para garantizar que tengan éxito desde el inicio hasta el final del ciclo de vida del proyecto (Commission & Services, 2017).

Básicamente el diagrama de roles (Figura 1-6) describe el lado izquierdo del cliente, conformado por roles pertenecientes a la organización solicitante, como el propietario del proyecto (PO), el gerente comercial (BM) y el grupo de implementación comercial (BIG). El lado derecho, corresponde al del proveedor compuesto por los roles del proyecto que desarrollan e implementan la solución, como el proveedor de soluciones (SP), el director del proyecto (PM) y el equipo central del proyecto (PCT).

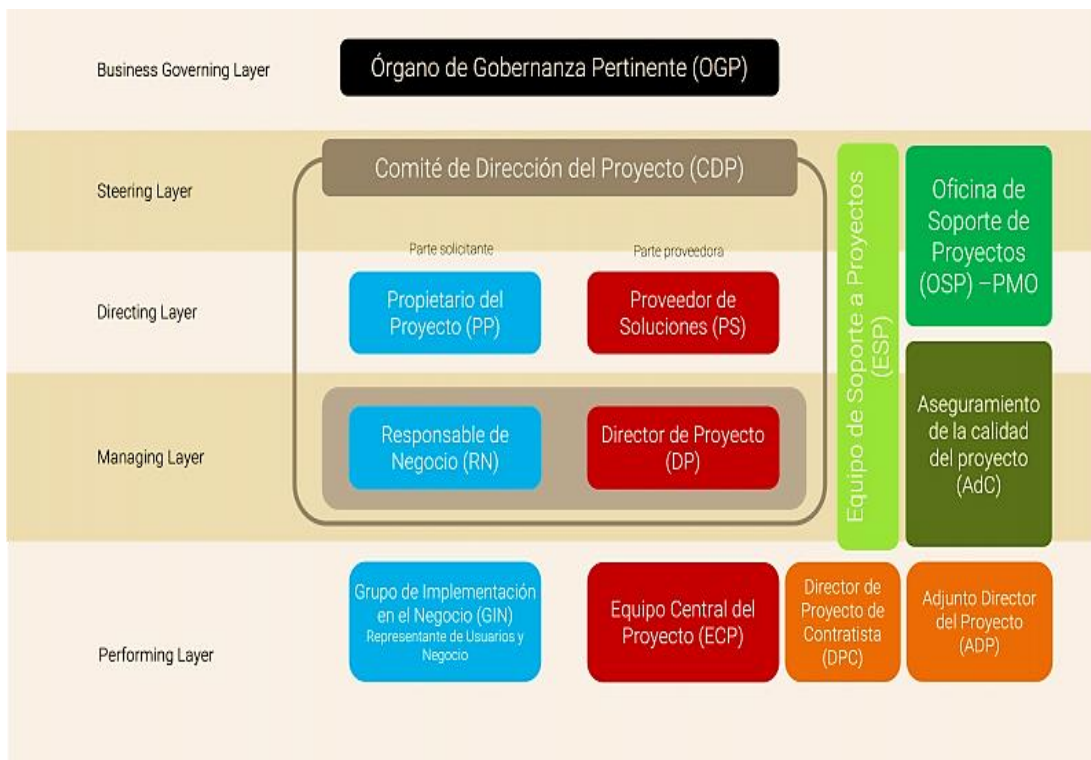


Figura 1-6: Diagrama de los roles principales en la organización de acuerdo con la Gobernanza PM².
Fuente: PM² Alliance (2022).

Es habitual que los equipos de proyecto sin experiencia en ocasiones subestimen la relevancia de gestionar correctamente la fase inicial, empezar un trabajo o proyecto bien desde el principio es clave. Al gestionar adecuadamente desde el inicio facilitamos el desarrollo eficaz y eficiente de las actividades, entregables y recursos. Para finalmente salvaguardar los resultados del proyecto y asegurar el éxito conforme a los requerimientos y pautas establecidas por los interesados.

En síntesis, La metodología **PM2** ofrece una serie de recursos para gestionar efectivamente el compendio de fases del proyecto. Esta metodología incorpora un amplio abanico de buenas prácticas, estándares y metodologías internacionales que se sustentan de las bases académicas y prácticas del **PMBOK**, **PMI**, **PRINCE 2** e **IPMA** (Novo et al., 2024).

La estructura medula del PM2 facilita a las organizaciones la gestión integral de los proyectos, sobre todo mejora la comunicación entre los involucrados, facilitando la colaboración y coordinación entre los miembros del equipo y las partes interesadas. Define de forma oportuna las expectativas del proyecto y ayuda a que se alineen con los objetivos y las necesidades de las partes interesadas.

Aunque se desarrolló oficialmente para los proyectos de la Unión Europea, este marco de trabajo puede aplicarse a una variedad de proyectos a nivel global.

1.3.4 PRINCE 2

Es una metodología de gestión de proyectos orientado a la organización y el control (Cristaldo et al., 2022). En general, esta metodología se fundamenta en un marco de trabajo sólido, desde los principales componentes que son: principios, aspectos, funciones-responsabilidades y procesos, hasta una esquematización más detallada de su estructura, apreciable en la (Figura 1-7).



Figura 1-7: Estructura de PRINCE2. Fuente: Axelos (2024).

Los siete principios claves de la Metodología **PRINCE 2**, se resume en:

- Los proyectos deben tener una justificación comercial.
- El aprendizaje continuo es esencial para registrar las lecciones aprendidas.
- Las funciones y responsabilidades están claramente definidas en el equipo.
- El trabajo está planificado por etapas. Los proyectos grandes se dividen en fases.
- Los equipos de proyecto cuentan con un registro de calidad para controlar todo.
- Se ajusta y puede adaptarse a las particularidades de cada proyecto.
- Los tableros de proyecto establecen requisitos básicos como plazos, costos, riesgos y alcance y delegan las responsabilidades de gestión diaria a un director de proyecto.

Además, la metodología **PRINCE2** aborda las siguientes funciones y responsabilidades:

- El cliente paga por el proyecto.
- El usuario es la persona que va a utilizar los resultados del proyecto.
- El proveedor o especialista proporciona la experiencia o recursos necesarios para realizar el trabajo del proyecto dentro del tiempo, presupuesto y calidad definidos.
- El Project Manager asume la responsabilidad de organizar y controlar el proyecto y garantizará que se realice cumpla con éxito los objetivos.

Finalmente, la metodología de gestión de proyectos PRINCE2 aborda siete procesos:

- **Puesta en marcha:** se presenta la justificación comercial del proyecto. Si se aprueba, se creará un resumen del proyecto más detallado que cubra recursos, entregables, etc.
- **Dirección:** la junta de proyecto revisa, estudia, aprueba y determina lo que se requiere para llevar a cabo el proyecto.

- **Iniciación:** el director del proyecto es designado y crea un plan integral del proyecto, una vez que la junta del proyecto aprueba el plan.
- **Control:** el proyecto se desglosa en paquetes de trabajo más pequeños y los asigna al equipo del proyecto para que los complete.
- **Gestión de la entrega del producto:** el director del proyecto asegura que se avance según lo previsto y que los entregables cumplan con las expectativas.
- **Gestión de los límites de las etapas:** al final de cada etapa, la junta del proyecto realiza una valoración para decidir si continúa con la siguiente fase o abandona el proyecto.
- **Cierre:** al completar con las actividades finales del proyecto y se da por cerrado, el director detalla toda la documentación, resultados e informes necesarios.

En síntesis, **PRINCE 2** es una metodología que facilita al equipo de proyecto asignar e identificar sus responsabilidades, así como el impacto de su intervención en el proyecto (Grau et al., 2022). En mayor proporción para garantizar que todos los requerimientos del proyecto se cumplan a nivel de tiempo, costes y calidad.

Al ser una metodología flexible y adaptable a cualquier proyecto, brinda un conjunto de recursos valiosos para aplicar y guiar a la organización (Kous, 2023). El enfoque del **PRINCE 2** es sumamente coherente y organizado, esta metodología es cada vez más llamativa a nivel de equipo, abordando habilidades como la comunicación, liderazgo, planificación y gestión de riesgos (Grau et al., 2022).

Finalmente, el marco de trabajo impulsa el desarrollo de habilidades y competencias transversales para garantizar que el equipo de proyecto esté bien equipado para gestionar proyectos con éxito.

1.3.5 Metodologías ágiles

El uso de metodologías ágiles se ha generalizado en organizaciones que anteriormente dependían de métodos tradicionales o estructurados, como el enfoque en cascada (Ariza-Rodríguez et al., 2022). Un estudio del 2018 realizado “*Standish Group Report*” demuestra que las tasas de finalización exitosa de proyectos ágiles son del 40%, mientras que el de proyectos en cascada se llegan a completar con éxito por debajo del 15% (Jørgensen, 2018). Por lo que el concepto *Agile* está acaparando mucho más la atención de las organizaciones, y cada vez se emplean con mayor enfoque hacia la gestión de proyectos de software que incorporan pruebas continuas y capacidad de respuesta al cambio.

El Manifiesto Ágil original declara que la metodología *agile* tiene 4 valores fundamentales:

- Individuos e interacciones sobre procesos y herramientas.
- Software funcional sobre documentación completa.
- Colaboración con el cliente durante la negociación de contratos.
- Responde al cambio sobre el siguiente plan.

Para ponerlo en perspectiva, la metodología tradicional de gestión de proyectos en cascada se planifica con antelación y sigue un enfoque secuencial lineal permitiendo muy poco margen de maniobra para cambios o ajustes una vez que el proyecto está en marcha. El resultado de este tipo de proyectos se completa por encima del presupuesto, con retraso y con resultados insatisfactorios.

Por el contrario, la metodología *Agile* para la gestión de proyectos sigue un proceso iterativo e incremental que divide los proyectos en partes más pequeñas y manejables llamadas “*sprints*” o iteraciones en fases como las de planificar, ejecutar y monitorear (Srivastava et al., 2017).

El marco de trabajo de agile garantiza la retroalimentación continua del cliente, lo que permite la adaptación y corrección del rumbo a lo largo del ciclo de vida del proyecto (Yanzer Cabral et al., 2014). La adopción de metodologías Agile está impulsada principalmente por un desarrollo rápido en los ciclos o fases del proyecto, garantizando la transparencia, productividad y eficiencia. Según el informe del grupo Standish (Jørgensen, 2018), expone gráficamente la tendencia creciente de los proyectos bajo el enfoque agile (Figura 1-8), se demuestra que a partir del 2020 menos del 15% de proyectos en cascada y más del 40% de iniciativas ágiles fueron completados exitosamente. Además, en comparación con el 10% de los proyectos ágiles, cerca del 30% de los programas en cascada fracasaron. Las causas de los fracasos se les atribuye a factores como la falta de tiempo, cambios a lo largo de la fase del ciclo del proyecto y comunicación inadecuada.

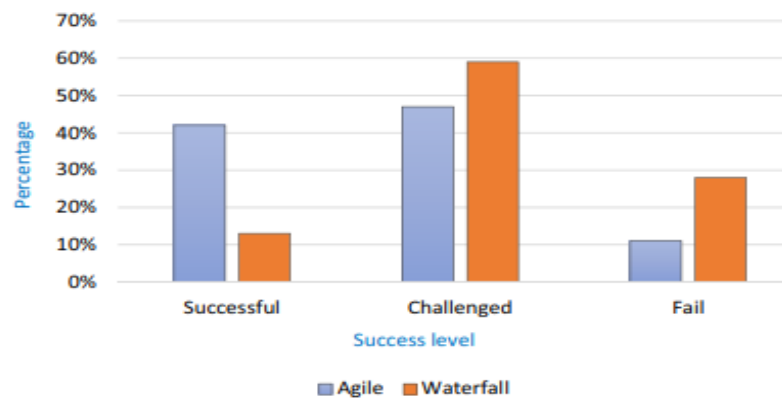


Figura 1-8: Representación gráfica de la tasa de éxito entre las metodologías ágiles y en cascada. Fuente: Jørgensen (2018).

Según estudios, los proyectos de desarrollo de software ágil se llevan el 22,4% más de lo previsto en comparación con un 13,65% más de lo previsto al tiempo estimado para el método de la cascada (Chow & Cao, 2008). En síntesis, el método de cascada sigue un proceso obsoleto, sumando la inflexibilidad en comparación con lo ágil, lo hace difícil de adaptarse a proyectos grandes y complejos sujetos constantemente a cambios.

Las metodologías ágiles se han convertido en una piedra angular en el campo de la gestión de proyectos, ofreciendo una amplia gama de marcos de trabajo, de entre los más populares tenemos a *Scrum*, *Kanban* y *Lean*.

En el caso de *Scrum* es un marco ágil ampliamente adoptado conocido por su enfoque estructurado pero flexible, opera según el principio de *sprints*, períodos cortos y con un límite de tiempo en los que los equipos colaboran para completar una cantidad determinada de trabajo (López-González et al., 2021).

Por el contrario, *Kanban* enfatiza la entrega y el flujo continuos, utilizando un tablero visual para rastrear el flujo de trabajo y adaptarse a cambios frecuentes, ya que ayuda a los equipos a gestionar tareas de manera eficiente y adaptarse rápidamente a las prioridades cambiantes (Fuentes Del Burgo & Sebastián Pérez, 2022).

Finalmente, la metodología *Lean*, se centra en maximizar el valor minimizando desperdiciar (Badran & Abdallah, 2024) Hace hincapié en la eficiencia y la mejora continua y, a menudo, se integra con Agile y se emplea especialmente en grandes empresas manufactureras (Yanzer Cabral et al., 2014).

En síntesis, trabajar bajo las metodologías ágiles en la dirección de proyectos mejora la eficiencia, la calidad de los productos o servicios y sobre todo garantiza la satisfacción del equipo y del cliente. Las metodologías ágiles fomentan la realización de pruebas progresivas y la revisión constante del trabajo realizado a medida que evoluciona el proyecto, por lo que suele emplearse más en el campo de las tecnologías como el desarrollo de softwares.

Por otra parte, si tomamos en consideración el fundamento de la metodología ágil se podría aplicar a cualquier contexto o enfoque, proporcionando un marco de trabajo para la retroalimentación temprana y fortalecimiento de las lecciones aprendidas para futuros trabajos relacionados con la línea de investigación de agile.

1.3.5.1 SCRUM

Las iteraciones en Scrum se llaman *sprints* (Figura 1-9). La duración de un *sprint* es normalmente de cuatro semanas, pero también puede ser más corta o incluso más larga (Shastri et al., 2021). Antes de comenzar cada *sprint* se lleva a cabo una reunión de planificación, donde el propietario del producto con su equipo selecciona del producto elementos del *backlog* que se desarrollarán durante el siguiente *sprint* al *sprint backlog*. La reunión de planificación de *Sprint* es realizada por el propietario del producto, el miembro del equipo y el *scrum máster* (Rush & Connolly, 2020).

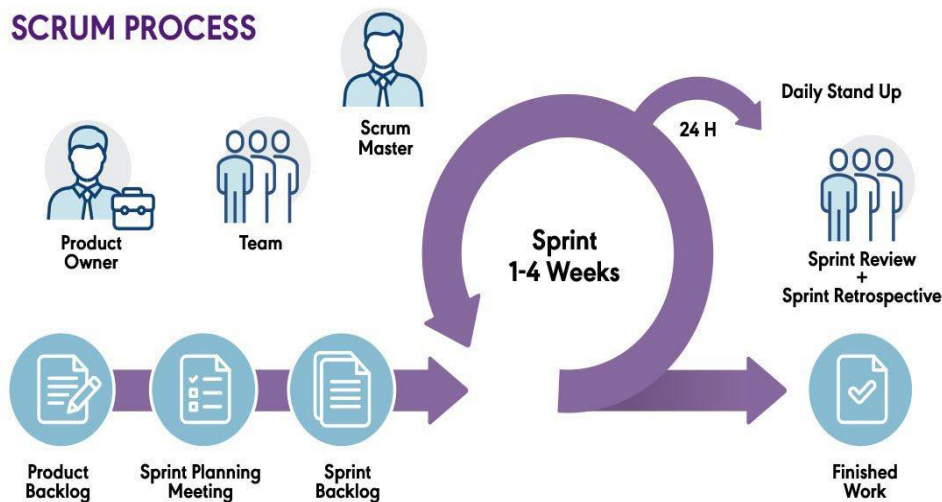


Figura 1-9: Diagrama del proceso de gestión de proyectos con Scrum. Fuente: Mm-partners (2024).

El equipo tiene autonomía en la toma de decisiones, así como libertad para brindar al propietario del producto ideas para mejorar el producto. El término *Backlog* es una parte indispensable de *Scrum*, conformado por el *Product Backlog* y *Sprint Backlog* (Mayo-Alvarez et al., 2024).

El *Product Backlog* es una lista de todas las características del resultado final que el equipo necesita desarrollar para que el resultado sea satisfactorio (Zayat & Senvar, 2020). El *Sprint Backlog* es un conjunto de todas las características proporcionadas por el propietario del producto junto con el equipo que decidió desarrollar en el *Sprint* siguiente (Bareño, 2020).

En síntesis, el proceso fundamental de *Scrum Process* rige bajo el principio de dividir el tiempo y los proyectos en *Sprint* para mejorar la eficacia y la productividad de una organización (López-González et al., 2021).

1.3.5.2 KANBAN

Es un método basado en el término "justo a tiempo" que ingresó como parte de su marco de trabajo en el desarrollo de software en 2004. *Kanban* es el segundo método ágil más famoso (Weflen et al., 2022). La idea de este método surgió de tres ingenieros de Toyota: Kichiro Toyota, Eiji Toyoda y Taichi Ohno en la década de 1940 (Padilla, 2010).

El marco de trabajo de *Kanban* proporciona una visualización del trabajo a nivel de gestión de flujo, la flexibilidad y la adaptabilidad son las principales características de esta metodología, lo que ayuda a identificar los cuellos de botella y mejorar la eficiencia en el trabajo realizado (Botero Rueda, 2021).

El método Kanban tiene cinco principios básicos:

- Visualizar el flujo de trabajo
- Limitar el flujo de trabajo
- Medir y gestionar el flujo de trabajo
- Hacer explícitas las políticas de proceso
- Utilizar modelos para identificar mejoras y oportunidades

Kanban se centra en la comunicación, colaboración e integración entre desarrolladores de software, evaluadores y equipos de soporte, lo que resulta en un rápido desarrollo de software y una entrega continua al cliente (Herdika & Budiardjo, 2020). Aporta visibilidad al trabajo y mejora la eficiencia y el rendimiento del trabajo mediante el llamado tablero de Kanban (Figura 1-10).

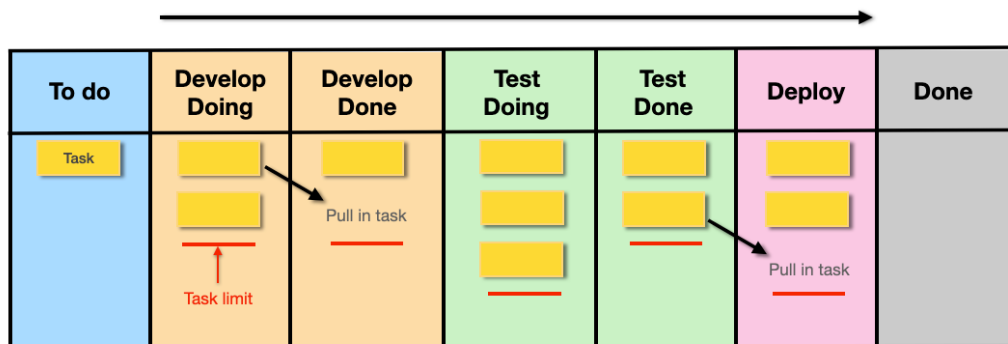


Figura 1-10: Tablero de Kanban. Fuente: Botero Rueda (2021).

Los principales componentes del tablero de Kanban son las columnas, representan el estado de cada actividad. *"To-Do"*, *"Doing"*, *"Done"* (Powell, 2018). Las tarjetas visuales, el Límite WIP, son los números máximo de tarjetas que son viables en cualquier momento, el punto de compromiso hace alusión al paso en el que las tareas se recogen a medida que avanzan y el punto de entrega, es donde el cliente recibe el producto final (Weflen et al., 2022).

1.3.6 Manual de Oslo

El Manual de Oslo es una guía fundamental para la gestión y medición de la innovación en las organizaciones. Se ha convertido en un referente estándar de la innovación, centrada en productos, procesos, marketing y organización con una amplia cobertura en la dirección de proyectos (Martínez-rodríguez, 2023).

Este recurso fue desarrollado por la Oficina Europea de Estadística (Eurostat) y la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), forma parte de una familia de recursos en continua evolución dedicados a la medición e interpretación de la innovación dentro de la gestión de los proyectos (Herrera, 2021).

Los manuales de la OCDE poseen una serie de pautas y marcos de trabajo sobre I+D (Manual de Frascati), (Molina-Molina et al., 2020), recursos para la recopilación y el análisis de datos estadísticos (Manual Canberra) y finalmente recursos para identificar y medir la innovación en las organizaciones (Manual de Oslo) que forman parte de los estándares de la dirección de proyectos, de la conocida "Familia Frascati" (Maricato & Macedo, 2022).

En la actualidad, el concepto de innovación es cada vez más visorio en la región de la OCDE, un número creciente de países en Europa del Este, y Asia emplean el Manual de Oslo para impulsar proyectos de desarrollo económico, social y ambiental. Mientras que países ajenos al OCDE, desde América Latina han empezado a innovar desde todos los niveles para compensar el desarrollo y las tendencias globales de la actualidad. (Sepúlveda et al., 2021)

El término "innovación" puede significar tanto una actividad como el resultado de la actividad. Según el Manual de Oslo:

- *Una innovación es un producto, servicio o proceso nuevo o mejorado o la combinación de ambos, que difiere significativamente de los productos o procesos anteriores y que ha sido puesto a disposición para desarrollar un bien o servicio mejorado.* (OECD, 2002)

El manual de Oslo en la gestión de proyectos proporciona métodos estandarizados para la recopilación de datos, facilita la evaluación del impacto de las innovaciones en los proyectos (OECD, 2002). Este apartado, sirve como base para sustentar la decisión de elegir un sistema sostenible y relativamente vanguardista para la propuesta del plan de proyecto.

En síntesis, este modelo va a fomentar la colaboración y el intercambio de conocimientos entre los *stakeholders* durante la fase de exploración e investigación del diseño, lo que asegurará que la propuesta se gestione de acuerdo con estándares reconocidos internacionalmente, facilitando el cumplimiento normativo y la obtención de apoyos económicos para la ejecución del proyecto.

1.4 Análisis de la sostenibilidad en el sector hídrico

La degeneración de las infraestructuras tradicionales, el aumento de las regulaciones ambientales y el oleaje de impactos producidos por el cambio climático en torno a los recursos hídricos, han gestado la necesidad de apostar por sistemas, tecnologías y procesos sostenibles en el tratamiento, recuperación y reutilización de las aguas residuales en todo el mundo.

El escenario actual sobre el funcionamiento convencional de las plantas de tratamiento de agua residual se aprovecha de la explotación intensiva de recursos y la generación de residuos a gran escala. Sumándole, factores como el crecimiento demográfico, la urbanización y el impacto ambiental, convergen a la insostenibilidad del sector hídrico.

La limitada disponibilidad de los recursos hídricos en la naturaleza son el foco principal para la acogida de centrarse en mecanismo de depuración, sin embargo, la recuperación es un plus que favorece a la descarbonización e impulsa los modelos de economía circular. La recuperación de nutrientes como el fósforo y nitrógeno, componentes especiales en el sector agrícola son la base para la producción de biofertilizantes, un paso hacia la sostenibilidad agroalimentaria.

Otro de los productos de alto valor de los procesos de tratamiento de las aguas residuales son la energía en forma de biogás, biohidrógeno y otros insumos como biofertilizantes, compostaje y otros productos amigables con la naturaleza. En consecuencia, de explorar nuevas tecnologías emergentes se nos ha permitido evolucionar en la recuperación y producción de biocombustibles de segunda y tercera generación, como biometano para la generación de electricidad.

Por otra parte, en respuesta al estrés hídrico resultante del cambio climático, la transición sostenible ha surgido como un mecanismo de frente para gestionar correctamente las aguas residuales. La composición de las aguas residuales generalmente contiene un alto valor de materia orgánica, nutrientes, metales y productos químicos con alto valor económico

De ahí que su gestión resulte sumamente valiosa, mediante la implementación de sistemas sostenibles, esta transición de paradigma apunta favorablemente a la recuperación de productos con valor agregado. Además, gracias al anclaje de nuevas tecnologías emergentes vislumbra una panorámica propicia para la recuperación de recursos en toda la fase de tratamiento de aguas residuales .

1.4.1 Innovación y sostenibilidad en los recursos hídricos

El campo de la innovación involucra un estudio profundo a nivel de dos campos relevantes: ciencia y tecnología. Los estudios enfocados en las ciencias ambientales confluyen en estos dos campos, de manera que han potenciado el término sostenibilidad para resolver grandes desafíos relacionados con aspectos económicos, sociales y ambientales.

La terminología transición sostenible se acuña cada vez más para referirse a cambios disruptivos a gran escala para resolver grandes desafíos ambientales. Un ejemplo ya conocido es la transición energética, al menos desde la década de 1970 se ha argumentado que las sociedades deben alejarse de los combustibles fósiles y adoptar sistemas de energía renovable (Fabbroni & Pedetti, 2023).

Hoy encontramos este concepto de transición en diversos contextos internacionales. La Agencia Europea de Medio Ambiente, argumenta que vivir bien dentro de los límites del planeta requiere una transición hacia una economía verde, por lo que es necesario integrar enfoques de innovación a largo plazo (Mihailova, 2023). La innovación ha intensificado el creciente interés por las tecnologías que reducen emisiones de carbono y mejoran la eficiencia energética.

El campo de la transición sostenible es cada vez más global y cubre una amplia gama de sectores que van desde la energía, el agua, los recursos, los alimentos, la movilidad, la atención sanitaria y la educación (Geels et al., 2023). Por lo que la innovación, resulta una herramienta clave que facilita esto proceso llamado transición sostenible, al promover un uso más eficiente de los recursos.

Es más, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) han contribuido a impulsar esa simbiosis entre innovación, transición y sostenibilidad.

1.4.2 Sostenibilidad: Una perspectiva desde las Biofactorías

El constante desarrollo poblacional y económico ha acrecentado la explotación ilimitada de los recursos naturales, lo que ha llevado a su agotamiento, poniendo en peligro cada vez más los recursos de las generaciones venideras (Suitner et al., 2023). Entre estos recursos valiosos, se encuentra el agua, recurso que intensifica la preocupación de la sociedad por gestionar correctamente su uso, tratamiento y disposición final.

Por otra parte, en regiones donde el aumento de la urbanización es cada vez más influyente en la generación de residuos, en especial aquellos que provienen de los efluentes de las aguas residuales derivadas de diferentes sectores e industrias, incumplen con las regulaciones ambientales para su descarga. La liberación de estos residuos en los efluentes tienen una grave repercusión sobre el medio ambiente, como la eutrofización, generación de olores, posibilidades de propagación de enfermedades y contaminación cruzada con otros cuerpos de agua.

Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) han adquirido importancia en nuestra vida cotidiana, son estructuras capaces de gestionar diversas cantidades y concentraciones de aguas residuales. Por lo general, estas aguas contienen una alta cantidad de materia orgánica, entre esta materia se localiza nutrientes como el fósforo y nitrógeno que suelen ser reciclados.

En la actualidad, el reciclaje de fósforo se considera un proceso sostenible e innovador de gran escala en las Biofactorías o aún conocida con la clásica concepción de PTAR (Robles et al., 2020). Los principales procesos que conllevan el reciclaje de fósforo, circundan en el mercado imperante con la cristalización de estruvita con los métodos *Pearl*, *NuReSys* y *AirPrex* (Zhou et al., 2022). El fósforo reciclado al final procedente de los lodos residuales se emplean como fertilizante orgánico, se ha demostrado que estos son sumamente eficientes por su alto contenido de materia orgánica. (Du et al., 2023). Los fertilizantes producidos de la recuperación de fósforo por cristalización de estruvita aumentan el rendimiento de los cultivos y reducen la dependencia de los fertilizantes químicos (Beckinghausen et al., 2020). Además, estudios recientes apuntan a procesos para la recuperación de otros compuestos orgánicos y metales.

En las últimas décadas, la funcionalidad en las plantas de tratamiento convencional ha ido evolucionado, renunciando a procesos lineales con tendencias insostenibles. Ahora las plantas de tratamiento de aguas residuales han apostado por procesos y tecnologías innovadoras, llegando a desarrollarse en aspectos claves como la recuperación de subproductos (Lam et al., 2020).

En la actualidad, la disponibilidad de los recursos está limitada a efectos del cambio climático y otros factores de carácter antropogénico. Es necesario impulsar la transición inmediata hacia una economía circular en los modelos tradicionales de la gestión de recursos, es especial los vinculados con la gestión hídrica, un claro ejemplo es la reutilización de los lodos residuales como fuente de nutrientes para el sector agrícola y su incidencia en las energías limpia.

El creciente interés por las tecnologías avanzadas en el tratamiento y gestión de aguas residuales proveen diferentes estrategias para la recuperación de sus recursos, este panorama es el que ofrece las Biofactorías (Furness, 2023). La transformación de las plantas de tratamiento convencional en Biofactorías ya es una tendencia global emergente que busca integrar procesos sostenibles y de economía circular en la gestión de los recursos hídricos.

La transición a Biofactorías promueven un modelo de economía sostenible del ciclo del agua y contribuye a la conservación y disponibilidad de este. En síntesis, esta transición representa un avance significativo en la gestión sostenible del agua, la protección del medio ambiente y aumentar la ventaja competitiva a nivel económico, social y ambiental.

1.4.3 Gestión de proyectos: Un enfoque de economía circular

Anteriormente, la gestión de proyectos se centraba únicamente en conservar aspectos relacionados con la eficiencia y cumplimiento de plazos y presupuestos, con muy poco interés en aspectos relacionados con la innovación y sostenibilidad. Los impactos ambientales, sociales y económicos se han vuelto una prioridad en la dirección de proyectos, con el fin de solventar las actuales problemáticas que inciden en la calidad de vida de la población. Existe un mayor interés en aquellas

problemáticas relacionados con el impacto ambiental, puesto que las organizaciones están preocupadas en mantener controlado los efectos del cambio climático y su incidencia en la salud, economía, política y otros aspectos sociales.

En la actualidad, la sostenibilidad se ha convertido en un factor relevante de la gestión de proyectos con enfoque hacia la conservación del medio ambiente (Furness, 2023). Las empresas y organizaciones están cada vez más conscientes de la importancia de integrar prácticas sostenibles en todos los aspectos del ciclo de vida del proyecto. Dentro de estas prácticas, incluye el uso eficiente de los recursos, la minimización de residuos, la reducción de emisiones de carbono, la agricultura sostenible y la generación de energías limpias.

Las investigaciones más recientes sobre transición sostenible mantienen la importancia del papel de innovar en las distintas iniciativas, organizaciones, modelos de negocios, movimientos y proyectos. Entre los principales desafíos que se presentan a la hora de integrar principios de sostenibilidad en los proyectos son la resistencia al cambio y la falta de conocimiento especializado. Desde el punto de vista económico, la sostenibilidad integrada a la gestión de proyectos mantiene cierto grado de incertidumbre por parte de las organizaciones, puesto que los costos iniciales son altos y requiere una convicción segura de asumir este reto. Sin embargo, una planificación minuciosa y robusta a nivel de costos, tiempo y calidad aseguran el éxito del proyecto.

No obstante, si valoramos las oportunidades que confiere la sostenibilidad en la gestión de proyectos, le otorgan una ventaja competitiva en el mercado a la organización y cierta reputación en su marca personal, facilitando a largo plazo la atracción de nuevos inversores y clientes.

El mayor de los desafíos entono a la transición sostenible en la dirección de proyectos radica en el escepticismo de las organizaciones tradicionales, incapaces de salir de su zona de confort. La gestión del cambio propuesta en la dirección de proyectos sugiere mantenerse flexibles a cualquier adaptación del cambio durante el ciclo de vida del proyecto con el fin de garantizar su éxito. En resumen, la evolución hacia una gestión de proyectos más sostenible representa retos como oportunidades significativas a nivel de las organizaciones. A medida que estas, adopten prácticas sostenibles se espera que los beneficios a largo plazo superen los desafíos iniciales, contribuyendo a un futuro más sostenible y equitativo.

La gestión de proyectos relacionados con los recursos hídricos bajo el enfoque de economía circular busca maximizar la reutilización y reciclaje del agua, minimizando los residuos y optimizando sus procesos. Esto implica integrar tecnologías y prácticas innovadoras para crear un ciclo cerrado de consumo y reutilización del agua, asegurando así su sostenibilidad a largo plazo.

La sostenibilidad en la gestión de proyectos con enfoque en los recursos hídricos confiere grandes oportunidades para mejorar la eficiencia, reducir los costos a largo plazo y proteger el medio ambiente. La clave está en la inversión en infraestructuras mediante la incorporación de tecnologías emergentes, por otra parte, el fortalecimiento a nivel académico aporta conocimientos sólidos para abordar las problemáticas actuales de la sociedad, y la colaboración entre diversos actores para fortalecer el trabajo colectivo y la igualdad.

Capítulo 2 Análisis de la planta de tratamiento de aguas residuales

En este capítulo, se analizará la situación actual de la planta de tratamiento de aguas residuales situada en la región Sur de Ecuador. Actualmente, el país se ve enfrentado a los inminentes fenómenos vinculados con el cambio climático, producto de ello, el déficit hídrico fuerte en la región me ha motivado a desarrollar este trabajo. Este análisis permite abordar de manera factible la propuesta de la transición sostenible de la planta de tratamiento de aguas residuales hacia una Biofactoría.

En primer lugar, se abordarán aspectos relevantes sobre el proceso industrial y productivo de la zona de estudio, a posteriori, una revisión profunda de lo que corresponde a la planta de tratamiento de aguas residuales, incluye datos relativos los costos operacionales a nivel energético y consumo de agua.

La estructura modular de la planta de tratamiento de aguas residuales proviene del centro de faenamiento, este centro representa un importante sector productivo a nivel agroindustrial, juega un papel crucial en la cadena de suministro de alimentos, contribuyendo al crecimiento económico del sector primario y secundario de la región.

La planta de tratamiento de aguas residuales de la zona de estudio es la encargada de depurar y contrarrestar la carga de contaminantes en los efluentes vertidos al río, el mismo que sirve de vector para desplazar el flujo de agua a otros cuerpos más representativos, estos cuerpos sirven de medio para realizar otras actividades significativas como la agricultura. Es decir, que su impacto trasciende a otros niveles y sectores, por lo tanto, la finalidad de llevar a cabo esta transición sostenible es contribuir a que otros segmentos de la población no se vean afectados por la mala gestión de los recursos hídricos.

Es imprescindible reconocer la importancia de impulsar esta transición sostenible de la planta de tratamiento de aguas residuales con el fin de promover el manejo oportuno de los recursos hídricos en el Ecuador, y abordarlo con enfoque al cambio de paradigma hacia Biofactoría.

2.1 Contexto y antecedentes de la planta de tratamiento

Como parte de las instalaciones inherentes al centro de faenamiento, encontramos a la planta de tratamiento de aguas residuales, por lo tanto, es clave analizarlo desde este escenario y comprender los desafíos a los que se enfrentará el proceso de transición sostenible y las oportunidades que pueden resultar al implementar el plan de proyecto propuesto en el presente estudio.

El centro de faenamiento se encuentra ubicado en la región Sur del Ecuador, específicamente en la Provincia de Tungurahua, cantón San Pedro de Pelileo. Al inicio de la construcción del centro de faenamiento, se tenía previsto la instauración de la planta de tratamiento de aguas residuales.

El centro de faenamiento del cantón San Pedro de Pelileo ha pasado trascendentalmente a desempeñar un papel crucial en la región, a partir de los efectos postpandemia, el centro cumplió con una estricta normativa de operación, lo que la catapultó a ampliar su competitivas en el mercado Agroindustrial de industria alimentaria en zonas estratégicas de todo el país para la distribución de productos cárnicos.

Actualmente el centro de faenamiento cuenta con una extensión de 5580 m², área en la cual operan: la nave de faenamiento de bovinos, la nave de faenamiento de porcinos, el área de recepción de

animales y el área de pre-aturdimiento, en la (Figura 2-1) se visualiza mediante imagen satelital la zona de estudio.



Figura 2-1: Ubicación Geográfica del camal Municipal de Pelileo. Fuente: Google Earth (2024).

Con el transcurso del tiempo, el centro de faenamiento ha aumentado su capacidad de producción desde el 2022 hasta la actualidad (Tabla 2-1). Los registros de faenamiento en porcinos y bovino escalaron un crecimiento a nivel productivo durante los periodos 2022, 2023 y 2024. lo que lleva, no únicamente a visualizarlo desde el nivel de crecimiento económico para el sector, sino también de costes asociados a la producción, gastos energéticos y sobre todo el consumo y producción de agua. Este escenario exige una vía de solución sostenible, innovadora y rentable a la creciente demanda de generación de aguas residuales para su correcta gestión.

Tabla 2-1: Producción media de animales faenados. Fuente: GAD de Pelileo (2024).

| Meses | Ganado Bovino | Ganado porcino |
|------------|---------------|----------------|
| Enero | 35.181,13 | 51.735,34 |
| Febrero | 35.200,03 | 51.758,47 |
| Marzo | 35.462,12 | 51.770,66 |
| Abril | 35.495,21 | 51.804,01 |
| Mayo | 36.501,02 | 52.989,14 |
| Junio | 36.715,11 | 54.251,66 |
| Julio | 37.334,49 | 62.586,30 |
| Agosto | 37.540,12 | 63.444,22 |
| Septiembre | 38.433,22 | 63.762,01 |
| Octubre | 38.921,60 | 64.205,11 |
| Noviembre | 39.754,10 | 65.008,25 |
| Diciembre | 45.230,71 | 71.297,38 |

Por otra parte, los principales procesos productivos llevados a cabo dentro del centro de faenamiento se subdividen en dos áreas específicas la nave de porcinos (Figura 2-2) donde se obtiene carne para ornado y fritada y la nave de bovinos (Figura 2-3), cada área se distingue de sus procesos acorde al producto final que se obtiene para su distribución.



Figura 2-2: Zona de flameado de la nave de porcinos. **Figura 2-3:** Zona de descuerado de la nave de bovinos.

Los principales procesos que se llevan a cabo en la nave de bovinos son:

- **Recepción:** El ganado vacuno es transportado por camiones condicionados.
- **Arreo:** Los animales son llevados por arreadores eléctricos hacia los corrales de reposo.
- **Inspección antemortem:** Los especialistas a los animales antes del sacrificio
- **Reposo y Pesaje:** Los animales permanecen en ayuno, permitiendo tomar el peso real del animal antes y después del sacrificio.
- **Duchado al ingreso de la nave:** Los animales son bañados con aspersores, para garantizar las condiciones asépticas.
- **Aturdimiento y desangrado:** Insensibilización parcial con un aturridor magnético, y una incisión en los vasos sanguíneos del animal.
- **Izado:** Elevación de los animales mediante un sistema de rieles para transportarlos a los procesos siguientes.
- **Degüelle y Remoción de cabeza y patas:** Cisuras a las patas y cabeza del animal.
- **Pre descuerado:** Desprendimiento de la piel del animal y cortes en la parte inferior
- **Descuerado:** Despojamiento completo del cuero de la res.
- **Corte del esternón y evisceración:** Incisión transversal del pecho hasta el esófago, y remoción de genitales.
- **Separación de vísceras blancas y rojas:** Clasificación de vísceras blancas (intestino grueso, delgado, omaso, librillo y cuajo) y rojas (hígado, corazón, pulmón).
- **Corte y lavado de la canal:** Lavado por aspersión desde la línea media de la columna vertebral hasta el cuello.
- **Oreo:** Los canales permanecen durante de 3 horas en la estación escéptica.
- **Inspección postmortem:** Verificación sanitaria del producto final para su distribución.
- **Pesaje y refrigeración:** verificación del producto cárnico y paso a la cadena de frío.
- **Despacho:** Se trasladan en transporte acondicionados, manteniendo la calidad del producto final.

Y, los principales procesos que se ejecutan en la nave de porcinos son:

- **Reposo de cerdos:** Permanece en ayunas durante 4 a 6 horas antes de ser sacrificados.
- **Aturdimiento:** Los cerdos son transportados a la manga de noqueo, y se les descarga 400 voltios entre 1 y 4 segundos en la parte posterior de la cabeza.
- **Desangrado:** Corte en la yugular del cerdo y procede el desangrado.
- **Izado:** Transporte de los cerdos a las otras áreas consecutivas del proceso.
- **Escaldado:** Ablandamiento térmico a 60° para facilitar el desprendimiento de filamentos.
- **Flameado:** Dependiendo del destino del producto final, hay dos rutas: ornado, proceso de escaldado por el cuerpo y cascos, mientras que fritada, se somete al cuerpo a un flameado constante aproximadamente de 10 a 15 minutos, hasta el negreado del cerdo.

- **Lavado:** Limpieza y remoción de cascotes de las patas delanteras y traseras.
- **Evisceración:** Ablación de órganos internos, clasificación de intestinos y órganos.
- **Oreo y Despacho:** Reposo y supervisión para asegurar el control de calidad sanitario del producto.

Los principales componentes esenciales del actual modelo de negocio del centro de faenamiento abarcan:

- **Productos y servicios:** incluye faenamiento, procesamiento, empaquetado y distribución.
- **Segmento de los clientes:** el centro de faenamiento tiene identificado los grupos de clientes claves, como ganaderos aledaños, distribuidores de carne, carnicerías minoristas y mayoristas tanto dentro como fuera de la provincia.
- **Relación con el Cliente:** el centro de faenamiento fortalece cada vez más las relaciones efectivas con los clientes, ofreciendo atención personalizada y soporte técnico a nivel de faenamiento, procesamiento, control de calidad y logística.
- **Socios claves:** incluye las colaboraciones con proveedores de ganado, transportistas y otros socios estratégicos que aseguran la distribución del producto y la eficiencia operativa.
- **Estructura de Costos:** Costos relacionados con las operaciones diarias, incluyendo salarios, mantenimiento de equipos, y costos de energía y agua.

El componente relacionado con la estructura de costes es un aspecto clave de la transición sostenible en este trabajo, el análisis de los costes iniciales comprende una valoración profunda de los beneficios a largo plazo, sobre todo en la búsqueda de nuevos proyectos relacionados con el crecimiento económico, social y ambiental de la región.

El Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) del cantón San Pedro de Pelileo se ha mantenido comprometido en buscar soluciones para mejorar las administraciones públicas locales y garantizar a largo plazo el progreso de la región en todos sus niveles.

A partir de noviembre del 2022, se apertura el presupuesto para la ejecución de una obra pública “Ampliación y readecuación de la infraestructura del centro de faenamiento” con una inversión que supera los 730 mil dólares a cargo del Gobierno Estatal. En base a este suceso, el GAD ha impulsado la búsqueda de nuevos proyectos enfocados en la construcción de estructuras resilientes y sostenibles para el 2024, actualmente, el GAD del cantón San Pedro de Pelileo se encuentra en análisis de nuevos proyectos para mejorar la planta del tratamiento de aguas residuales del centro de faenamiento, siguiendo las pautas impuestas por los ODS (Objetivos de desarrollo sostenible).

2.2 Diagnostico situacional de la planta de tratamiento

Actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales se encarga del saneamiento y reducción de la carga contaminante de los efluentes procedentes del centro de faenamiento. El caudal de ingreso durante las 3 últimas temporadas se ha ido intensificando por la creciente demanda en la producción a nivel colectivo de porcinos y bovinos.

Los datos del informe anual de este último periodo por parte del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, expone, que el 80% de residuos procedentes de los efluentes industriales no cumplen con la normativa de legislación ambiental para su descarga. Este escenario, ha potenciado la regularización continua en la monitorización de la calidad de los efluentes antes y después de su tratamiento, con el fin de garantizar su estado y disposición final.

Se llevó a cabo, un análisis completo de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua (Tabla; 2-2) (Tabla: 2-3). A partir de este análisis, se localizaron zonas estratégicas para valorar cuan eficiente son los procesos de la planta de tratamiento. Las zonas estratégicas se concentran en el pozo colector de ambas naves, a partir de la cual se toma la primera muestra, y el caudal tratado que se descarga hacia el río Patate correspondiente a la segunda muestra.

Tabla 2-2: Matriz de parámetros analizados en la primera muestra (agua cruda). Fuente: Elaboración propia.

| Parámetros | Unidades | **Método | **Límites | Resultados |
|-------------------------------|------------|------------|-----------|---------------------|
| pH | Und. | 4500-B | 6-9 | 8,76 |
| Temperatura | °C | 2550-B | <45 | 36.0 |
| Color Verdadero | Pt/Co | 2120-C | - | 2 830.0 |
| Color Aparente | Pt/Co | 2120-C | - | 4 000.0 |
| Aceites y Grasas | mg/L | 5520-B | 100 | 140 |
| Conductividad | μSiems/cm | 2510-B | - | 1 783.0 |
| Turbiedad | UNT | 2130-B | - | 135.0 |
| Nitrógeno Amoniacal | mg/L | 4500-NH3 | 60.0 | 120.0 |
| Sulfatos | mg/L | 2400-SO4-B | 400.0 | 447.0 |
| Fosforo | mg/L | 4500-P-D | 15.0 | 62.0 |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/L | 5220-C | 500 | 680.0 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | 5210-B | 250 | 280.0 |
| Sólidos Totales | mg/L | 2540-A | 1600 | 1 146.0 |
| Sólidos Sedimentables | mg/L | 2540-B | 20 | 41.0 |
| Sólidos Suspendidos | mg/L | 2540-D | 220 | 291.0 |
| Coliformes fecales | UFC/100 mL | 9222-D | - | 2,4*10 ⁵ |

Fuente: *Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA referente a Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Tabla 2-3: Matriz de parámetros analizados en la segunda muestra (agua tratada). Fuente: Elaboración propia.

| Parámetros | Unidades | **Método | **Límites | Resultados |
|-------------------------------|------------|------------|-----------|-----------------------|
| pH | Und. | 4500-B | 6-9 | 6,83.0 |
| Temperatura | °C | 2550-B | <45 | 32.0 |
| Color Verdadero | Pt/Co | 2120-C | - | 1 720.0 |
| Color Aparente | Pt/Co | 2120-C | - | 2 400.0 |
| Aceites y Grasas | mg/L | 5520-B | 100 | 56.0 |
| Conductividad | μSiems/cm | 2510-B | - | 1 836.0 |
| Turbiedad | UNT | 2130-B | - | 148.0 |
| Nitrógeno Amoniacal | mg/L | 4500-NH3 | 60.0 | 92.0 |
| Sulfatos | mg/L | 2400-SO4-B | 400.0 | 349.0 |
| Fosforo | mg/L | 4500-P-D | 15.0 | 53.0 |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/L | 5220-C | 500 | 405 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | 5210-B | 250 | 234 |
| Sólidos Totales | mg/L | 2540-A | 1600 | 1400 |
| Sólidos Sedimentables | mg/L | 2540-B | 20 | 18 |
| Sólidos Suspendidos | mg/L | 2540-D | 220 | 217 |
| Coliformes fecales | UFC/100 mL | 9222-D | - | 6,1 * 10 ⁴ |

Fuente: *Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA referente a los Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Los análisis físicos, químicos y microbiológicos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad del Agua y Suelos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), los resultados de los análisis efectuados, conforme a los parámetros establecidos, indican que en la primera muestra (agua cruda) (Tabla 2-2), los valores exceden los límites permisibles por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Lógico, ya que, al ser una muestra sin ningún proceso de tratamiento, es normal que se aprecie esta variación. Por otra parte, la segunda muestra (agua tratada) se aprecia una falencia en el sistema de depuración, ya que los parámetros fósforo y nitrógeno (Tabla 2-3) exceden los límites permisibles. Por lo tanto, esta fisura en los sistemas de depuración ofrece una oportunidad para incorporar un mecanismo de recuperación de estos nutrientes, mediante la propuesta una tecnología innovadora y sostenible que favorezca a la oportuna gestión de los efluentes finales.

Además, para profundizar la zona de estudio, se aprecia visualmente los procesos ejecutados dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales en la (Figura 2-4), de forma esquematizada la infraestructura y los elementos que conforman los sistemas de tratamiento en la planta.

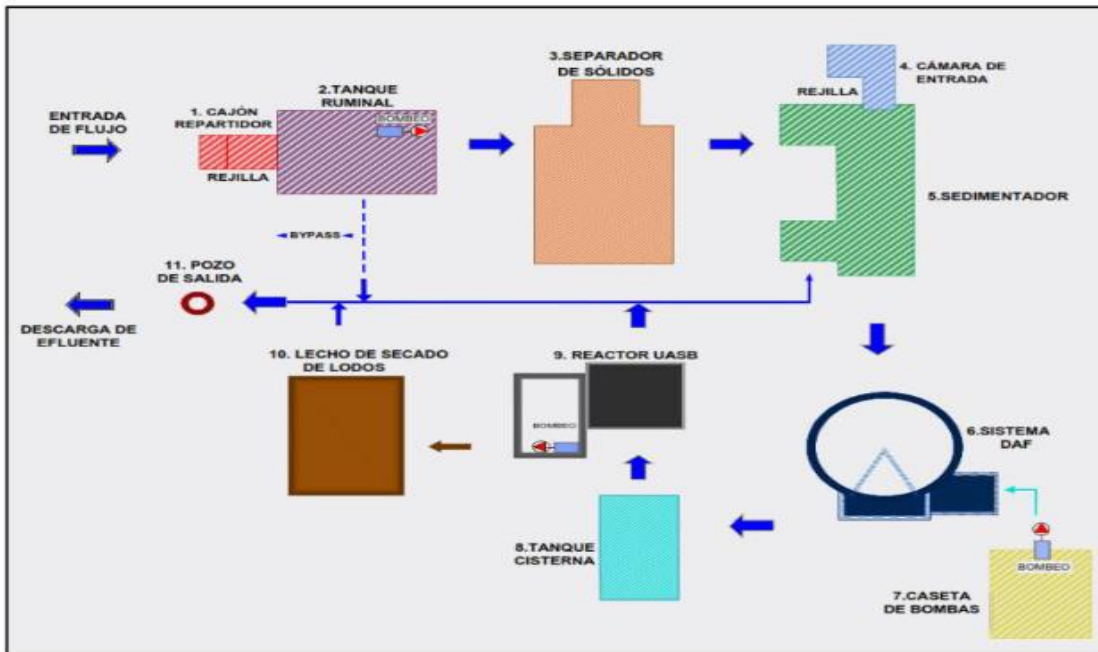


Figura 2-4: Proceso de tratamiento de Aguas residuales del Camal de Pelileo. Fuente: GAD de Pelileo (2024).

La planta de tratamiento de aguas residuales se compone de un conjunto de procesos que se encargan del tratamiento primario y secundario de los efluentes, los procesos alineados al tratamiento primario va desde un sistema de rejillas con un diámetro aproximado de 315 mm, un tanque homogeneizador con un volumen de operatividad de 25 m³, un separador de sólidos, un tanque elevado, una cámara de entrada con un sedimentador primario, mientras que el tratamiento secundario básicamente está compuesto de un sistema DAF, un tanque cisterna, un reactor *UASB*, el lecho de secado de lodos y finalmente el pozo de descarga para los efluentes.

Finalmente, para profundizar el análisis de la planta de tratamiento de aguas residuales, se visualiza el diagrama de flujo de los procesos de tratamiento (Figura: 2-5), donde se aprecia las entradas y salidas de los principales productos resultantes de cada etapa y el seguimiento del flujo.

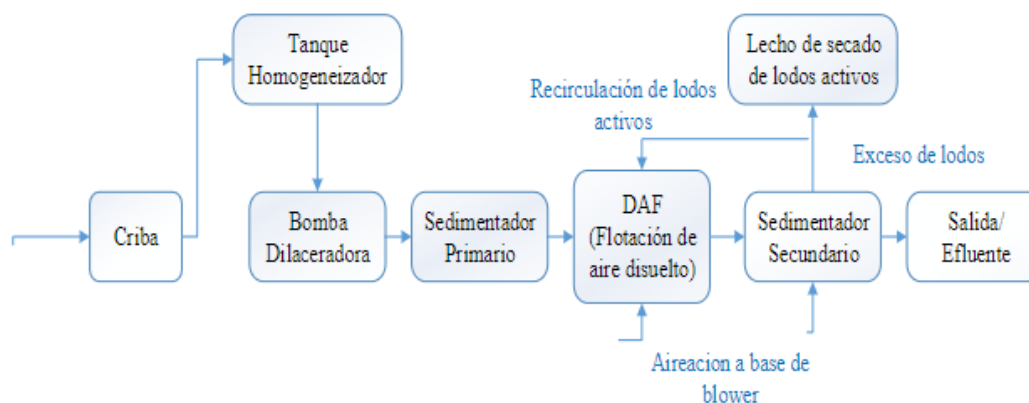


Figura 2-5: Flujograma del proceso de tratamiento de las aguas residuales. Fuente: GAD de Pelileo (2024).

La primera fase del sistema de tratamiento de aguas residuales consiste en un proceso primario físico, donde se remueve sólidos de alta densidad por cribado. El afluente circulante pasa por medio de una trampa de grasas antes de ser llevada al sedimentador primario. Y finalmente, ingresa a un tanque DAF (Flotación por Aire Disuelto) donde se inyectan polímeros para la formación de flóculos, retirados con un aspa giratoria del tanque. En la (Figura: 2-5) se muestra el exceso de lodos residuales durante las últimas etapas de tratamiento, este escenario, vislumbra una oportunidad clave para aprovechar la recuperación de fósforo y nitrógeno.

El enfoque de las Biofactorías ofrece la oportunidad de recuperar los nutrientes estabilizados en los lodos residuales mediante sistemas innovadores, eficientes y sostenibles. Los sistemas de digestión anaeróbica facilitan la recuperación de energía en forma de biogás, llegando incluso a compensar los gastos energéticos dentro de la propia planta.

Las ventajas que ofrece la transición sostenible de la planta de tratamiento son amplias, en resumen, las principales ventajas son:

- Ahorro en consumo de agua.
- Generación de recursos adicionales.
- Optimización energética.
- Posicionamiento y beneficios ambientales.

2.3 Análisis de costos operacionales, consumo energético y agua

El análisis de los costos operaciones tienen una incidencia significativa en la valoración del proyecto. Las oportunidades que ofrece la propuesta hacia una transición sostenible tienden a reducir los costos operacionales del proceso convencional en la planta de tratamiento, proporciona una visión favorable del modelo económico a largo plazo.

En esta sección se considera valorar los aspectos claves relacionados con los costes operacionales de la planta de tratamiento. El consumo energético es la principal causa que motiva a efectuar esta transición sostenible, ya que a largo plazo la transformación de la infraestructura compensaría la energía requerida para el funcionamiento de los nuevos sistemas e incluso la recuperación de productos de valor agregado impulsarían la rentabilidad del proyecto.

El centro de faenamiento cuenta con tres medidores eléctricos, dos de ellos registran el consumo energético de los procesos de faenamiento, mientras que el otro registra los procesos de la planta

de tratamiento. Los consumos mensuales de energía eléctrica durante los primeros cuatro meses del 2024 se aprecian en la (Tabla 2-4), sin embargo, se estima que se estaría recuperando más del 80% de energía consumida a través de la generación de biogás de los biodigestores.

Tabla 2-4: Datos de consumo eléctrico cuatrimestrales del 2024. Fuente: GAD de Pelileo (2024).

| Meses | Consumo (Kw/h) |
|---------|----------------|
| Enero | 875,87 |
| Febrero | 975,36 |
| Marzo | 1012,33 |
| Abril | 2572,01 |

Con respecto al consumo de agua, se estima que el ingreso del caudal estándar es de 100 m³/día a la primera estación de tratamiento, no obstante, la recirculación de los lodos residuales acarrea mayor consumo de agua provocando que la demanda de este recurso aumente. De acuerdo con información recopilada del área de mantenimiento, se estima la cantidad de agua utilizada diariamente de 700 m³/día. Los datos corresponden al mes de abril del 2024 respecto al consumo de agua mensual registrado, en la (Tabla 2-5) en un lapso de 30 días (del 1 al 30 de abril del 2024) y se reportan los resultados.

Tabla 2-5: Datos de consumo de agua mensual del centro de faenamiento. Fuente: GAD de Pelileo (2024).

| Área | Volumen promedio (L/día) |
|--------------------------|--------------------------|
| Conducción | 104,00 |
| Aturdimiento | 2 536,00 |
| Desangrado | 40 931,00 |
| Áreas transferencia 1- 2 | 1 519,00 |
| Área de descuerado | 1 963,00 |
| Área de cortes | 1 1291,00 |
| Oreo | 102,00 |
| Lavado de panzas | 181 228,00 |
| Lavado de vísceras | 66 000,00 |
| Procesos auxiliares | 1 211,00 |
| Promedio (litros/día) | 609 885,00 |
| Promedio (litros/mes) | 8 899 665,00 |
| Promedio (litros/año) | 934 464 825,00 |

2.4 Oportunidades y desafíos de la transición sostenible para la planta de tratamiento de aguas residuales.

Con el creciente aumento de los precios energéticos, el agotamiento de los recursos hídricos, el enfoque de convertir las plantas de tratamiento de aguas residuales en infraestructura resilientes y sostenibles comenzó a ser considerada un fenómeno investigativo de alto impacto a nivel global.

Hoy en día, la transición sostenible es un concepto amplio que abarca una serie de herramientas, procesos y tecnología innovadoras. La implantación de este concepto en los problemas de la sociedad actual ha ayudado a minimizar el impacto negativo sobre el medio ambiente, la salud humana y la biodiversidad. El concepto innovación encaja en la concepción moderna de desarrollo sostenible debido a su capacidad para mejorar los sistemas productivos impulsando la eficiencia energética y el cuidado de las generaciones futuras.

El cambio de enfoque de las plantas de tratamiento hacia Biofactorías, resulta una estrategia de gestión viable hacia la sostenibilidad de los recursos hídricos, mejorando la eficiencia económica y ecológica de las organizaciones a largo plazo. Las principales oportunidades que brinda la transición sostenible de las plantas de tratamiento de aguas residuales son el aprovechamiento, la reutilización y el reciclaje de subproductos. Además, la reducción de costos operativos es otra forma oportuna de garantizar la rentabilidad en términos financieros del proyecto.

Otra oportunidad, en el presente estudio es la reducción significativa del impacto ambiental mediante la minimización de residuos y la optimización de recursos. Las organizaciones que lideran proyectos relacionados con sostenibilidad e innovación han aumentado su ventaja competitiva en el mercado, dejando un indicio para el desarrollo de nuevas propuestas alineadas a estos enfoques.

Los desafíos que enfrenta la transición sostenible derivan especialmente de aspectos técnicos, al tener cierto desconocimiento de las tecnologías emergentes, las organizaciones se oponen a liderar y gestionar estos cambios trascendentales en sus proyectos.

La resistencia al cambio es un desafío que limita la implementación de procesos, sistemas y tecnologías sostenibles e innovadoras, por lo que se tendrá que afrontar este desafío con una visión clara y comprensible desde los objetivos del proyecto y su beneficio a largo plazo. Es crucial comprometer a la alta dirección, para contar activamente con su apoyo y garantizar el éxito del proyecto. Mantener una comunicación abierta y continua con todos los *stakeholders*, fomenta la participación y el *feedback* al registrar las lecciones aprendidas al cierre del proyecto.

Otro de los grandes desafíos a afrontar en este trabajo, son las regulaciones ambientales en torno a la ejecución del proyecto. Los cambios en las normativas, regulaciones y certificaciones a nivel ambiental pueden afectar al proyecto, por lo tanto, es necesario profundizar su análisis, considerando la gestión de los riesgos mediante una identificación previsoría y un plan de mitigación, a cargo de un responsable, quien velará por garantizar el cumplimiento de los requerimientos establecidos en los paquetes de trabajo del proyecto.

Capítulo 3 Transición sostenible bajo el modelo de economía circular: Biofactoría.

Los sectores relacionados con el saneamiento de las aguas residuales están bajo una presión cada vez inmensurable para sostener la gestión integrada del agua, ya sea por el crecimiento poblacional y el cambio climático. Las demandas domésticas e industriales friccionan en la panorámica actual de escasez hídrica y los desafíos para hacer frente a la implantación de nuevas tecnologías y enfoques ha ido en aumento por la búsqueda de soluciones innovadoras y sostenibles.

El desarrollo sostenible es un tema complejo que requiere múltiples definiciones, que a menudo se refieren a maximizar el crecimiento económico en armonía con la capacidad regenerativa de los ecosistemas y el bienestar social a lo largo del tiempo. Las plantas de tratamiento de aguas residuales son una infraestructura clave para lograr la gestión integral del agua y proteger a largo plazo las reservas hídricas o ecosistemas acuáticos.

La economía circular de aguas residuales plantea una solución prometedora para lograr la sostenibilidad en los sectores de agua y saneamiento mediante la recuperación de agua tratada, biosólidos, nutrientes, bioenergía y biomateriales para su uso propio o en sectores económicos adyacentes. La transición sostenible de las PTAR convencionales a Biofactorías cumple con la concepción de economía circular, mediante la incorporación de tecnologías innovadoras y eficientes que acarrearán beneficios ambientales, sociales y económicos a largo plazo.

La recuperación de agua de efluentes tratados se está implementando en todas las regiones que actualmente son pioneros en sostenibilidad como Dinamarca y Suecia para diferentes aplicaciones, como agricultura, industria y servicios públicos, disminuyendo el consumo de agua dulce y ofreciendo ahorros de costos a las partes interesadas.

En este capítulo, se profundizará un análisis en la transición sostenible de la PTAR y se abordarán los desafíos que conlleva la innovación encaminada a imponer un nuevo enfoque de Biofactoría. Se recabará información de artículos académicos y bibliografía respaldada por fuentes confiables de calidad, evaluando los beneficios y desafíos de esta transición. Se hará referencia a la situación actual de la planta de tratamiento para dotar de un análisis pertinente y veraz.

Además, se tratará de forma breve y significativa la contextualización del cambio de paradigma de las plantas de tratamiento de aguas residuales tradicionales a Biofactorías, mediante una descripción de procesos y sistemas mejorados e innovadores que impulsan el modelo de economía circular. Sumando a esto, la propuesta de implementar el sistema SGS-GDM en la planta de tratamiento para la recuperación de subproductos y mejora de la calidad del agua antes de ser liberada al cauce del río receptor, el mismo que sirve de medio para desarrollar sus actividades cotidianas en otros sectores importantes a nivel de crecimiento y progreso. El objetivo de este capítulo es dotar de información sólida y detallada para entender qué acciones son necesarias para llevar a cabo la transición sostenible de la planta de tratamiento, y en particular cómo estas acciones se plasman dentro del plan de proyecto.

3.1 Desafíos de la economía circular en el sector de las aguas residuales.

Considerando el panorama actual del agua frente al agotamiento y despilfarro de los recursos hídricos, el modelo de economía circular surge como mecanismo para reducir el impacto y amenazas de seguir operando bajo el modelo tradicional. Estos modelos han demostrado ser sistemas cada vez más obsoletos e insostenibles.

La implantación de un modelo de economía circular en el tratamiento de aguas residuales tiene el propósito de aprovechar al máximo los recursos presentes en ella. Esta visión integral fomenta la conservación y el uso sostenible, promoviendo así un enfoque más holístico para abordar la problemática de la escasez hídrica.

Sin embargo, la implantación de este modelo responde a un intervalo de desafíos técnicos, económicos, regulatorios y sociales. Entre los desafíos más significativos a nivel económico circundan los altos costos de inversión al inicio del proyecto. El Retorno de la Inversión (ROI) puede ser largo induciendo a un panorama desalentador para los inversores y autoridades. Sin embargo, una planificación elaborada estratégicamente ayuda a mitigar riesgos y asegurar la viabilidad económica a largo plazo.

Por otra parte, las proyecciones financieras resultan un instrumento de apoyo para gestionar adecuadamente este tipo de proyectos, incluir a detalle información relevante de costos iniciales, costos operativos e ingresos esperados a lo largo del tiempo.

De entre los desafíos técnicos, abordamos la implementación de tecnologías innovadoras, aunque puedan tener un costo inicial alto, las ventajas sobre los costos operativos y mantenimiento a largo plazo compensan este panorama desafiante. Además, la generación de entradas diversificadas por la implementación de estas nuevas tecnologías tras la recuperación de productos valiosos como biogás, fertilizantes y agua reciclada generan ingresos adicionales.

Con respecto a los desafíos regulatorios, las normativas ambientales y de salud pueden no estar alineadas con los principios de economía circular, dificultando la reutilización de recursos recuperados de las aguas residuales. De igual forma, la obtención de permisos y licencias ambientales para la implementación de nuevas tecnologías, deben gestionarse con antelación para limitar cualquier riesgo relacionado es este contexto.

Y finalmente entre los desafíos a nivel social incluyen la gestión del cambio, resulta complejo cambiar hábitos y comportamientos de las personas y organizaciones hacia una mentalidad más sostenible. No obstante, la comunicación, trabajo en equipo y las competencias transversales con clave para gestionar este tipo de situaciones. Es más, el PMBOK 7ma edición enfatiza varias competencias, habilidades y conocimientos claves para enfrentar los desafíos del cambio organizacional de manera efectiva y eficiente.

Para efectos económicos, la inversión en tecnologías innovadoras en el tratamiento de aguas residuales induce a la apertura de nuevas oportunidades de negocio y empleo en el sector. La implementación de nuevas tecnologías bajo el modelo de economía circular genera una demanda de expertos profesionales especializados en el diseño, operación y mantenimiento de plantas de tratamiento. Esto escenario favorece el crecimiento del sector, estimulando a formar nuevas colaboraciones público-privadas para fomentar el desarrollo sostenible y potenciar políticas que promuevan la investigación.

Finalmente, para concluir este apartado la (Tabla 3-1) resume la disponibilidad del sector de aguas residuales respecto a la implementación del modelo de economía circular.

Con la ayuda de un análisis de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas (FODA), se han identificado algunos aspectos relevantes frente a la situación actual del sector respecto a la implementación de un modelo de economía circular.

Tabla 3-1: Análisis FODA del sector de aguas residuales respecto a la implementación del modelo de economía circular. Fuente: Elaboración propia.

| FORTALEZAS | DEBILIDADES |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Obtener beneficios de algo que siempre se ha considerado un desperdicio • Reducir/eliminar el consumo de energía • Gran cantidad de tecnologías alternativas • Disponibilidad de aguas residuales. • Disminución de la presión sobre los recursos naturales | <ul style="list-style-type: none"> • Inversión inicial alta • Falta de adaptabilidad al cambio • Poca experiencia en implementación • Falta de confianza e inseguridad • Poco interés |
| OPORTUNIDADES | AMENAZAS |
| <ul style="list-style-type: none"> • Tendencia global para promover procesos sostenibles con el ambiente. • Debido a la escasez de agua, la recuperación y reutilización juega un papel fundamental. • Rápido desarrollo de nuevas tecnologías | <ul style="list-style-type: none"> • Cambios políticos • Desconfianza hacia el reciclaje • Los costes de recuperación de algunas sustancias pueden acabar siendo superiores a los de su síntesis o extracción. |

Las fortalezas de implementar un modelo de economía circular en el sector de las aguas residuales radican en la posibilidad de obtener beneficios de algo que se ha venido considerando un desperdicio, otorgándole un valor agregado.

Con el tiempo se va disminuyendo la dependencia hacia los recursos naturales y mitigando el cambio climático. Aun así, algunas debilidades como la considerable inversión financiera inicial, los costes operativos y la falta de formación frente a nuevas tecnologías se hacen frente con una adecuada dirección y gestión de los proyectos.

El desarrollo constante y rápido de nuevas tecnologías impulsado por la tendencia global sigue promoviendo procesos más ecológicos e innovadores para superar estas deficiencias. Por último, no hay que olvidar que, para que una economía circular sea una realidad, es necesario un cambio de mentalidad, junto con el compromiso de los gobiernos y las empresas privadas.

Gracias a la acogida de los modelos de economía circular el concepto de Biofactoría está acaparando la atención del sector de las aguas residuales. La proliferación de este nuevo modelo de funcionabilidad bajo Biofactorías se impone como un nuevo formato operativo para afrontar los actuales desafíos de escasez hídrica, aprovechado de nuevas tecnologías emergentes fortalecen los procesos de recuperación de las aguas residuales.

3.2 El cambio hacia Biofactoría: un modelo de economía circular.

La expresión “cambio de paradigma” emerge del afamado libro ‘La estructura de las revoluciones científicas’ (Colina & Muñoz Villalobos, 2024) de Thomas Kuhn, un físico estadounidense especializado en filosofía, quién cita la forma tradicional de los pensamientos y las costumbres obsoletas del entorno (Ginnobili, 2022). En el ámbito investigativo es aún más complejo desmontar la convencionalidad del pensamiento, desde supuestos básicos generales planteados por las

ciencias. Sin embargo, la compleja situación transitoria del mundo actual nos empuja a evolucionar y adoptarnos a nuevos entornos.

Durante los últimos años, la creciente demanda hídrica ha puesto en manifiesto la insostenibilidad de los modelos convencionales de economía lineal (Figura: 3-1) en las plantas de tratamiento de agua residuales. Los modelos de economía lineal siguen el ciclo de extracción incontrolada de los recursos y la degradación de entornos poniendo en riesgo las reservas de agua subterránea, mientras que los modelos de economía circular promueven la gestión eficiente de los recursos, la rentabilidad a nivel del ciclo de vida del producto y una apuesta por ser cada vez más sostenible (Kouhihabibi, 2022).

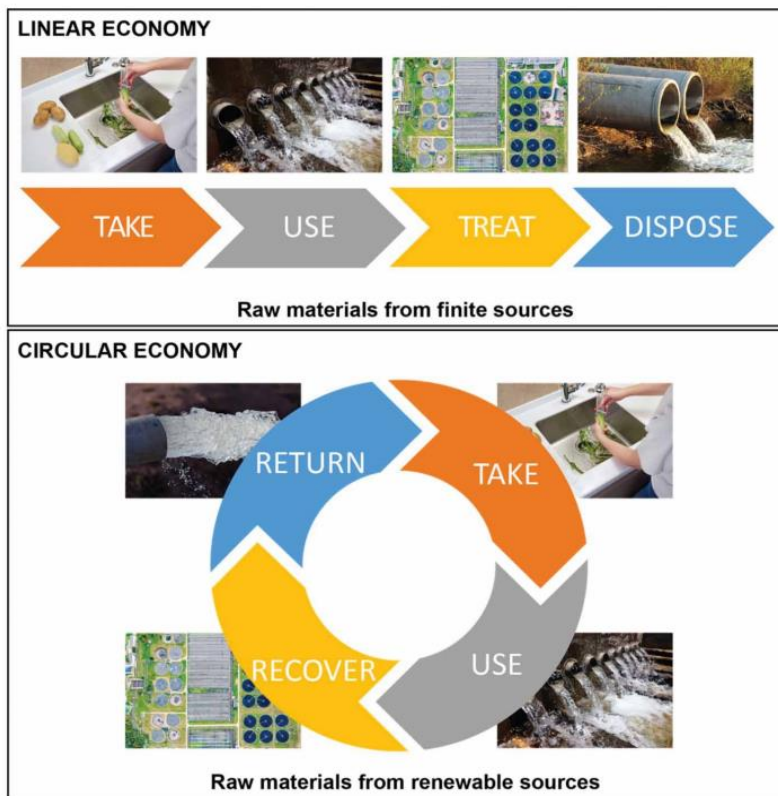


Figura 3-1: Diferencias entre la economía lineal y circular. Fuente: Almulhim (2024)

Las plantas de tratamiento de aguas residuales desempeñan un papel significativo en la protección del medio ambiente. Anteriormente, todos los esfuerzos por mantener el objetivo de las plantas convencionales, se centraba en cumplir con los parámetros regulatorios de descarga (Kollmann et al., 2017). Mientras que ahora, gracias a la investigación de las organizaciones dedicadas a la protección de los recursos hídricos, disponemos de tecnologías desarrolladas para la recuperación, reciclaje y reutilización.

La tendencia de Biofactorías bajo un modelo de economía circular han tenido un auge notable en Occidente, especialmente en París, España, Alemania y Portugal. En Medio Oriente, regiones como Qatar y Kuwait, impulsaron proyectos a gran escala con tecnologías punteras para la reutilización de sus aguas residuales. Siguiendo esta tendencia, en 2018, México impulsó un nuevo modelo para la gestión de sus recursos hídricos y la generación de energías renovables. Por otra parte, Chile, gracias al respaldo del grupo "Aguas Andinas", se llevó a cabo un proyecto exitoso.

La instauración del concepto de Biofactoría en México ha generado una cifra relevante de aproximadamente 300.000 biosólidos de la planta anualmente, empleados para la generación de

biofertilizantes y bioenergía (Cakmak et al., 2022). Este tipo de proyectos ha impulsado al sector de las aguas residuales de América Latina a apostar por más modelos de economía circular en sus infraestructuras productivas.

Las ventajas competitivas que ofrecen los modelos de economía circular sobre los tradicionales son apreciables en los productos de entrada y salida que requiere cada modelo (Figura: 3-2). De acuerdo, a estudios realizados por la Universidad de *King Abdulaziz*, sobre los modelos de economía circular acreditan la rentabilidad a nivel económico (Almulhim & Al-Saidi, 2023), un caso de estudio específico, es la de la planta de tratamiento de aguas residuales de Arabia Saudí, capaz de generar hasta 138.000 millones de dólares en beneficios económicos tras 10 años de operabilidad (AlJaber et al., 2024).

Entre los beneficios que aporta los modelos de economía circular de las Biofactorías, incluye la mejora de la competitividad, reducción de costes ambientales, eficiencia en las cadenas de suministro de materias primas, resiliencia en las infraestructuras y la generación de nuevos puestos de trabajo.

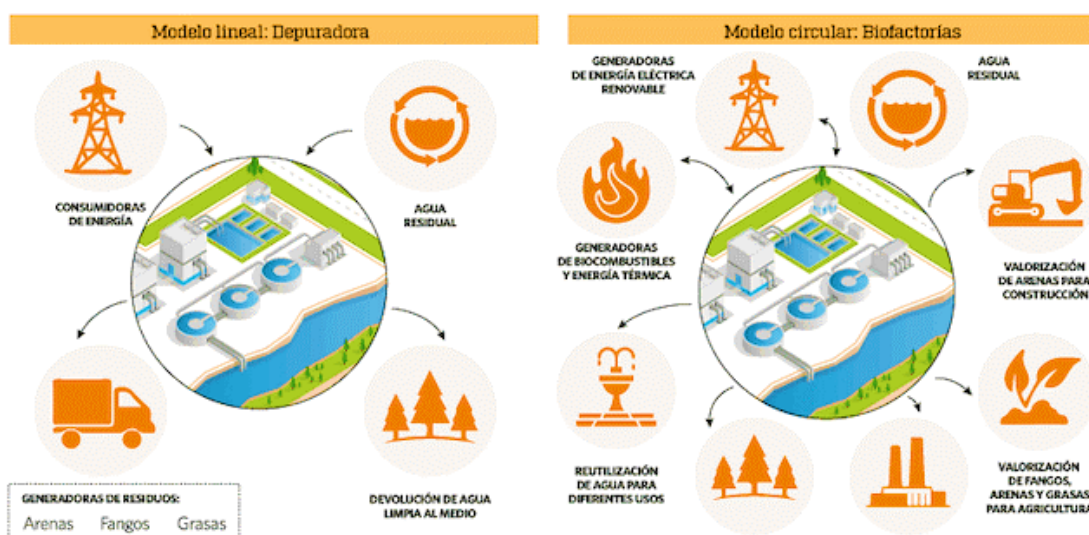


Figura 3-2: Diferencias entre el modelo de economía lineal y circular en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Fuente: Kollmann (2017).

El enfoque de los modelos de economía circular que proponen las Biofactorías, se encuentra estrechamente relacionada con el marco de acción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), promoviendo cambios para transformar el mundo. La propuesta de este trabajo está vinculada con determinados ODS en concordancia con lo que se muestra en la (Figura: 3-3) Los objetivos de desarrollo sostenible son directrices que fueron diseñados para abordar los desafíos ambientales, económicos y sociales a nivel global, dentro de los ODS incluyen metas vinculadas específicamente con el agua (ODS 6), que corresponde a la gestión eficiente de este recurso a nivel de saneamiento y disponibilidad. Las Biofactorías son unas infraestructuras resilientes, impuestas bajo el modelo de economía circular para impulsar la sostenibilidad en el sector hídrico.

Actualmente las depuradoras convencionales están perdiendo credibilidad respecto al modelo lineal insostenible de sus procesos, por lo tanto, las Biofactorías son las instalaciones del futuro, diseñadas bajo los principios de sostenibilidad y economía circular.



Figura 3-3: ODS relacionados con el modelo de economía circular de Biofactorías. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se detalla la relación entre los objetivos de desarrollo sostenible con el enfoque del proyecto hacia la transición sostenible de la planta de tratamiento de aguas residuales bajo el modelo de Biofactoría:

- **ODS 3: Salud y bienestar**

El modelo de Biofactoría potencia el aseguramiento de la calidad del agua, reduciendo la contaminación y los posibles riesgos asociados a enfermedades por el deficiente saneamiento del agua. Esto promueve la salud y el bienestar de las comunidades locales al dotar de agua limpia y segura.

- **ODS 6: Agua limpia y saneamiento**

El modelo de Biofactorías busca la optimización de los recursos hídricos, resguardando su disponibilidad a largo plazo. La implementación de técnicas innovadoras para la reutilización y recuperación de nutrientes facilitan la gestión de este imprescindible recurso.

- **ODS 9: Industria, innovación e infraestructura**

La inducción de Biofactoría bajo la operabilidad del modelo de economía circular impulsan la innovación gracias al apoyo de tecnologías avanzadas, propiciando el crecimiento y desarrollo de infraestructuras sostenibles y entornos industriales resilientes a largo plazo.

- **ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles**

Las Biofactorías contribuyen al crecimiento de ciudades y comunidades sostenibles, mejoran la gestión de los recursos hídricos, reducen la contaminación y contribuyen a la reutilización de recursos. Esto garantiza un entorno más limpio y saludable, mejorando la calidad de vida de los habitantes.

- **ODS 12: Producción y consumo responsables**

El enfoque de las Biofactorías potencia prácticas de producción y consumo responsables a través de la reutilización de aguas residuales, recuperación de nutrientes y generación de bioenergía. Esto ayuda a mitigar el impacto sobre la explotación de los recursos naturales, mediante el uso eficiente de los mismos, gracias al modelo de economía circular.

- **ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos**

Los proyectos relacionados con el desarrollo sostenible requieren de la colaboración entre diversos *stakeholders*, incluyendo gobiernos, empresas privadas, organizaciones no gubernamentales y comunidades locales. Por lo que, promueve alianzas convenientes y facilita el intercambio de conocimientos y tecnologías avanzadas.

En efecto, el modelo de las Biofactorías contribuye eficientemente al progreso y desarrollo de la sociedad. Por lo tanto, el esfuerzo por encontrar tecnologías y sistemas más productivos en términos de rentabilidad financiera, resguardando el componente de sostenibilidad en el sector de los recursos hídricos ha ido evolucionado. Desde el estudio de mecanismos biotecnológicas como los biorreactores de membrana MBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*) (Saidulu et al., 2021), hasta procesos más robustos como el sistema AGS-GDM en el tratamiento de aguas residuales, resulta un método estridente para las actuales organizaciones, este sistema combina la tecnología de filtración de lodos granulares aeróbicos (AGS) con membrana impulsada por gravedad (GDM). Este enfoque innovador combina el funcionamiento de dos componentes altamente eficientemente, produciendo agua de alta calidad reutilizada en otros sectores productivos.

3.3 Propuesta de integración del sistema (AGS-GDM).

Actualmente las plantas de tratamiento de aguas residuales en Ecuador no están diseñadas bajo el criterio de sostenibilidad, la mayor parte siguen procesos centralizados de depuración. Las redes centralizadas de agua residuales son cada vez más inestables bajo la creciente demanda poblacional y el cambio climático. La provincia de Tungurahua cuenta con la planta de tratamiento de aguas residuales del centro de faenamamiento. desde la gerencia del gobierno del cantón San Pedro de Pelileo busca impulsar la gestión de la innovación y sostenibilidad propuestas por la Agenda 2030.

El sistema AGS-GDM en el tratamiento de aguas residuales es un método avanzado que combina dos tipos de tecnologías, filtración de lodos granulares aeróbicos (AGS) con membrana impulsada por gravedad (GDM) (Figura 3-4). Este enfoque tecnológico innovador está diseñado bajo el modelo de economía circular. El proceso AGS emplea gránulos microbianos densos que se asientan rápidamente y degradan la materia orgánica, mientras que el proceso (GDM) opera bajo gravedad, reduciendo significativamente el consumo energético en comparación con otros sistemas. La mayor ventaja que ofrece este sistema a nivel operacional es la eliminación de sólidos suspendidos y patógenos, así como la reducción de costes operativos y mantenimiento, al ser un sistema fácil de escalar se puede implementar en espacios reducidos.

El modelo de éxito de la implementación de la tecnología (AGS-GDM) en *Al-Miyah Solutions*, empresa derivada de la Universidad de Ciencia y Tecnología Rey Abdullah (*KAUST*) en Rabigh, Arabia Saudita aportó resultados significativos en la región (Almulhim, 2024). La planta piloto diseñada en *KAUST* (Figura 3-4) se personalizó a las necesidades específicas de la universidad y las condiciones locales de la zona, su facilidad de adaptación y capacidad de tratamiento ha generado hasta 100 metros cúbicos de aguas residuales por día, empleada en sectores como la agricultura y recreación.

Este innovador sistema, proporciona una solución sostenible y rentable para la gestión de los recursos hídricos. Por lo tanto, en el marco de este proyecto, la propuesta resulta una solución atractiva para enfrentar la problemática relacionada con la escasez hídrica bajo el modelo de economía circular.

El sistema básicamente opera con un reactor AGS contenido de gránulos microbianos, cada uno de los granulo está conformado por diferentes capas que permiten la eliminación de diferentes compuestos presentes en las aguas residuales, con especial énfasis en nutrientes como el nitrógeno y fósforo. Mientras que, el tanque GDM opera bajo un proceso de filtración por membrana auto impulsado, básicamente funciona a un flujo subcrítico, la ventaja de este flujo es que no provoca incrustaciones y no requiere aporte de energía, ya que el proceso es impulsado por la presión natural de la gravedad.

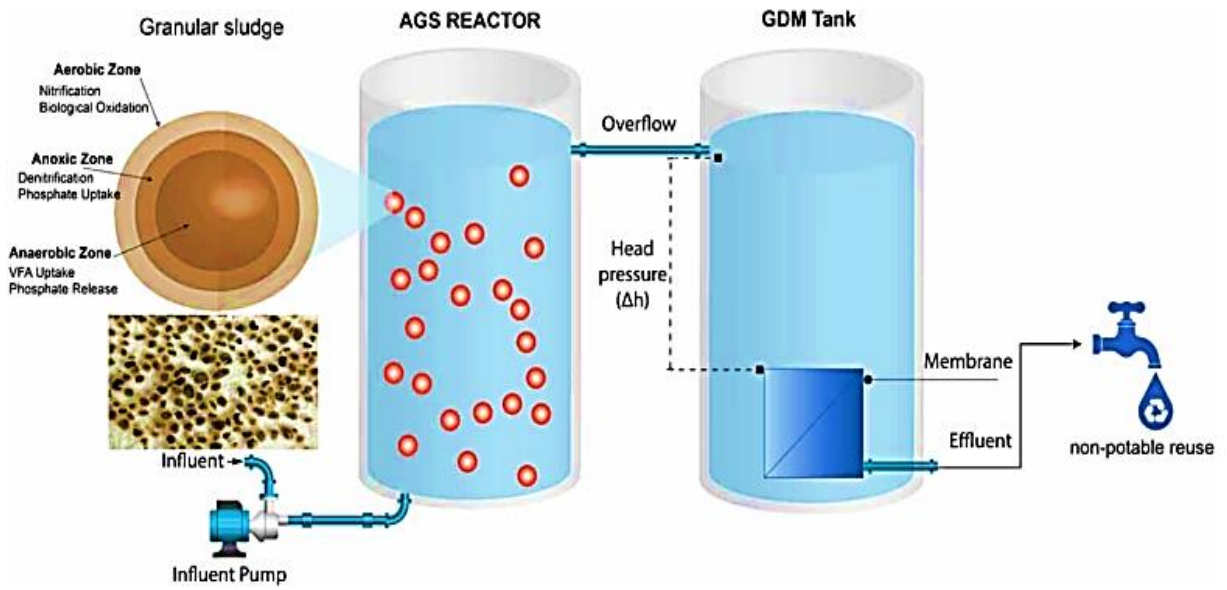


Figura 3-4: Estructura esquemática del sistema AGS-GDM para el tratamiento y reutilización descentralizados de aguas residuales en Arabia Saudita. Fuente: Almulhim (2024).

Capítulo 4 Plan de Proyecto

La planificación del proyecto es una fase significativa dentro de los grupos de procesos de la dirección de proyectos. En esta fase se definen los objetivos, se prioriza las tareas o actividades necesarias para alcanzar los objetivos, de esta forma se optimiza los recursos y el tiempo. Además, permite la identificación de posibles riesgos, permitiendo establecer estrategias de mitigación y reduciendo el impacto negativo sobre el proyecto, de modo que facilita mejor la comunicación entre todas las partes interesadas durante todo el ciclo del proyecto.

Este proyecto, respaldado por el Gobierno Autónomo Descentralizado de San Pedro de Pelileo, tiene como finalidad impulsar una transición sostenible en la planta de tratamiento de aguas residuales, instaurando el concepto de Biofactoría a sus instalaciones desde una perspectiva funcional, mediante la propuesta de implementar el sistema AGS-GDM a su infraestructura.

En esta parte del trabajo se desarrollará el plan de proyecto para la implementación del sistema AGS-GDM en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales. Antes de abordar el plan de proyecto, se efectuó un estudio de las diferentes metodologías de la dirección de proyectos disponibles. Después de haber considerado la perspectiva del proyecto, se decidió aplicar el enfoque *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK 7).

La razón de haber utilizado la metodología propuesta por el PMBOK 7 radica en la flexibilidad y adaptabilidad que dispone este estándar sobre los proyectos. Además, esta decisión se alinea con los objetivos del proyecto, sobre todo, desde el enfoque a la entrega de valor y beneficios a largo plazo. Los 8 dominios de desempeño del PMBOK 7 son claves en el aseguramiento de la gestión integral y holística, estimulando la adaptación al cambio durante todo el ciclo de vida del proyecto.

4.1 Dominio de desempeño enfoque

Disponer de un enfoque acorde al contexto del trabajo es esencial para el éxito del proyecto. Para este trabajo, dada su naturaleza, el enfoque elegido es el fundamentado sobre la base de los 12 principios que guían la gestión del proyecto. Los principios considerados para este proyecto son:

4.1.1 Enfoque en el valor para el cliente

Se centra en evaluar y ajustar periódicamente la alineación del proyecto con los objetivos del modelo de negocio, así mismo con los beneficios y el valor previsto. Va más allá de una mera entrega en tiempo, costos y calidad esperada. Los beneficios se obtienen cuando las partes interesadas perciben el valor positivo de los resultados obtenidos. Por lo tanto, mediante este enfoque se va a asegurar que el proceso de transición sostenible a través de la propuesta de la tecnología AGS-GDM agregue el valor previsto dentro de los requerimientos de los *stakeholders*.

4.1.2 Enfoque en los resultados

A través de este enfoque se va a definir evidentemente los resultados deseados del proyecto, como la mejora de la eficiencia en los procesos de tratamiento, la reducción de impactos ambientales y la sostenibilidad a largo plazo. El cambio hacia la transición sostenible impulsa el desarrollo de infraestructuras resilientes para allanar la brecha del cambio climático sobre los recursos hídricos. Este proyecto genera un abanico de resultados positivos y beneficios financieros a largo plazo.

4.1.3 Gestión adaptativa

Este enfoque busca promover la adaptabilidad y resiliencia en todas las organizaciones para contribuir a la gestión del cambio. Dado que la propuesta de implementar un sistema relativamente vanguardista conlleva a mantener una mentalidad flexible para ajustar los cambios necesarios de forma paulatina y los nuevos aprendizajes durante la ejecución del proyecto.

4.1.4 Gestión del cambio

Desde la perspectiva de este enfoque, se busca preparar a los *stakeholders* para el proceso de transición sobre la gestión del cambio previsto en el proyecto. La transición implica pasar por una serie de cambios significativos, desde los procesos hasta las estructuras organizativas. Es crucial gestionar estos cambios de manera efectiva y eficiente para minimizar la resistencia.

4.1.5 Gestión de riesgo

A partir de este enfoque, inicia la identificación temprana de riesgos asociados a la incertidumbre. Con la identificación temprana de estos aspectos se maximiza los impactos positivos y minimiza los impactos negativos en el proyecto. De esta manera se gestionará proactivamente los riesgos asociados con la implementación del nuevo sistema, asegurando en términos generales el éxito del proyecto.

4.1.6 Gestión de partes interesadas

Es fundamental a través de este enfoque implicar a todos los interesados de manera proactiva, incrementando su aportación en la entrega de valor del proyecto. El objetivo de este criterio es crear un ambiente que propicie la entrega de valor por parte de las partes interesadas clave, como el equipo de proyecto, reguladores ambientales, usuarios, comunidad local y los patrocinadores del proyecto.

4.1.7 Enfoque holístico

Mediante este enfoque se integra el pensamiento sistémico desde una visión holística del entorno externo. Nos permite identificar, valorar y responder a circunstancias estimulantes alrededor del proyecto de una manera íntegra con el fin de incidir positivamente en el rendimiento del proyecto.

4.2 Dominio de desempeño equipo

4.2.1 Estructura de desglose de recursos

El equipo de proyecto estará integrado por cinco personas, siendo el director de proyecto el máximo responsable de la gestión y supervisión global del proyecto, así como el interlocutor principal entre los *stakeholders*. La estructura de desglose de la organización en este proyecto se puede apreciar en la (Figura 4-1).



Figura 4-1: Estructura de desglose en de la organización del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

La persona 1 será la responsable de Ingeniería y Tecnología. Tendrá un papel significativo en la primera fase del proyecto, desempeñando actividades claves como el diseño y planificación técnica en el desarrollo del diseño del sistema AGS-GDM. Así mismo se encargará de la selección de equipos y materiales, involucrado activo en la gestión de proveedores y contratos hasta asegurar el cumplimiento de los estándares técnicos para la implementación.

La persona 2 es la responsable de Operaciones y Mantenimiento y será la responsable de actividades involucradas directamente con el desarrollo de procedimientos operativos para el sistema AGS-GDM. Además, se encargará de formar al personal de la planta en el uso y mantenimiento de la nueva tecnología, así como de la supervisión del sistema para la realización de cambios necesarios y optimalizaciones de la eficiencia de esta nueva tecnología.

La persona 3 será el máximo responsable del Medio Ambiente y Calidad, sus actividades radican en el monitoreo de calidad de los efluentes, se encargará de asegurar que el agua cumpla con las normativas ambientales. Así mismo, estará a cargo de gestionar correctamente los residuos, asegurando una correcta disposición final y mantener relaciones fiables a largo plazo con los entes de control y reguladoras para asegurar el éxito y resultados del proyecto.

La persona 4 estará a cargo de la Gestión Financiera y Administrativa, sus actividades engloban la gestión presupuestaria del proyecto, siendo el máximo responsable de gestionar los contratos con proveedores y contratistas. Además de asegurar el pago y cumplimiento de obligaciones contractuales, manteniendo la documentación y reportes financieros como administrativos para el director del proyecto y los *stakeholders*.

Con esta estructura de desglose de recursos, cada responsable tiene roles y actividades claramente definidos, lo cual facilita la gestión y ejecución del proyecto de transformación de la PTAR a una Biofactoría con la implantación de la propuesta derivada de la tecnología AGS-GDM.

4.3 Dominio de desempeño planificación

La planificación es esencial para la consecución de los objetivos del proyecto, y en particular para asegurar la gestión eficaz del alcance, el cronograma y los costes. Para ello, como primer paso en la planificación de este proyecto es la elaboración del Acta de Constitución que se visualiza en la Tabla 4-1 y se empleará como referente a lo largo del desarrollo del proyecto para asegurarse que el trabajo se mantenga alineado con los objetivos y requisitos pautados.

A mayores se elabora un plan para la gestión del alcance donde se define a detalle el proyecto, así como un plan determinado para la gestión del cronograma y un plan para la gestión de los costes. Con la utilización de estos artefactos se busca cerciorarse de gestionar una planificación exitosa del proyecto.

4.3.1 Acta de constitución

Tabla 4-1: Acta de constitución del proyecto.

| ACTA DE CONSTITUCIÓN | | Fecha | 15/04/2024 |
|--|---|----------------------------|------------|
| | | Versión | 1.0 |
| INFORMACIÓN DEL PROYECTO | | | |
| Proyecto | Implementación de la tecnología AGS-GDM en la PTAR del centro de faenamiento en San Pedro de Pelileo. | | |
| Fecha de inicio | 01 de septiembre del 2024 | | |
| Fecha de finalización | 25 de abril del 2026 | | |
| Patrocinador principal | GAD del Cantón San Pedro de Pelileo | | |
| Director del proyecto | Solange Tite Llerena | | |
| DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | | | |
| Implementación de la tecnología AGS-GDM en la PTAR del centro de faenamiento en San Pedro de Pelileo, con el objetivo de impulsar la transición sostenible a Biofactoría, y promover la gestión eficiente de los recursos hídricos. | | | |
| OBJETIVOS DEL PROYECTO | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Implantación de la tecnología AGS-GDM en la infraestructura de la PTAR. • Capacitar al personal para asegurar el correcto funcionamiento y mantenimiento. • Establecer colaboraciones con empresas de desarrollo e innovación. • Compilar más clientes interesados en el proyecto y el desarrollo sostenible. | | | |
| CRITERIOS DE ÉXITO | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Instalación y puesta en marcha del sistema AGS-GDM en la planta. • Personal operario capacitado y capaces de manejar el nuevo sistema. • Alianzas o acuerdos con al menos dos empresas de innovación de los recursos hídricos. • Aumento de al menos un cliente interesado en contribuir al proyecto. | | | |
| REQUISITOS DE ALTO NIVEL | | | |
| Requisitos técnicos | <ul style="list-style-type: none"> • Tecnología AGS-GDM adecuada para la zona. • Sistemas de monitoreo y control avanzados. | | |
| Requisitos Legales | <ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento de normativas ambientales • Permisos y licencias para la construcción y operación. | | |
| Requisitos de Recursos Humanos | <ul style="list-style-type: none"> • Personal capacitado en operación y mantenimiento. • Equipo de proyecto con experiencia en el sector. | | |
| RIESGOS DE ALTO NIVEL | | | |
| Requisitos técnicos | <ul style="list-style-type: none"> • Fallas en la implementación del sistema AGS-GDM. • Incompatibilidad con los sistemas existentes. | | |
| Riesgos financieros | <ul style="list-style-type: none"> • Sobrecostos en la adquisición e instalación • Falta de financiación para completar el proyecto. | | |
| Riesgos operativos | <ul style="list-style-type: none"> • Incapacidad para operar el nuevo sistema. | | |
| CRONOGRAMA E HISTOS PRINCIPALES | | | |
| Ir al apartado correspondiente a la gestión del cronograma. | | | |
| PRESUPUESTO ESTIMADO | | | |
| Presupuesto total estimado: \$2,600,000 | | | |
| STAKEHOLDERS DE ALTO NIVEL | | | |
| GAD del cantón San Pedro de Pelileo, Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), Empresas de innovación en la tecnología AGS-GDM, equipo del proyecto. | | | |
| FIRMAS | | | |
| Director del Proyecto: | | Responsables (1 ,2 3, y 4) | |

4.3.2 Plan de gestión del alcance

El objetivo primordial de este proyecto es impulsar la transición sostenible de la planta de tratamiento de aguas residuales, implantando el concepto de Biofactoría a la funcionalidad de la planta a través de la implementación de la tecnología AGS-GDM. Esta propuesta busca promover un modelo de economía circular a largo plazo, satisfaciendo los actuales requerimientos en la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Para conseguir este objetivo, se llevará a cabo una gestión minuciosa del proyecto en todas sus fases. Se provee iniciar con una valoración preliminar en torno a la planta de tratamiento, seguido de un análisis de viabilidad técnica y evaluación económica. Posterior a ello, el diseño e ingeniería del sistema, adquisición de los equipos, y lo que son pruebas de funcionamiento, con el fin de garantizar la correcta instalación en el sitio.

Por otra parte, la capacitación al personal es clave para asegurar el correcto funcionamiento de la planta con el nuevo sistema. Así mismo un seguimiento minucioso en la operabilidad global de la planta y el constante monitoreo de las actividades en cada paquete de trabajo.

Finalmente, para asegurar exitosamente el proceso de transición sostenible es imprescindible contar con toda la documentación de respaldo como informes de desempeño, evaluaciones de impacto ambiental y el informe final del proyecto.

Con este proyecto, se busca instaurar una visión clara y objetiva respecto a la sostenibilidad, fomentando un cambio de paradigma desde el enfoque tradicional hacia un modelo de economía circular bajo el desarrollo de una Biofactoría, mediante la implementación de la propuesta innovadora y sostenible sobre el sistema AGS-GDM.

Desde esta perspectiva se allana el camino para atraer nuevas inversiones para aquellos interesados en la conservación de los recursos, gracias al trabajo por aunar esfuerzos desde la dirección pública del Cantón San Pedro de Pelileo liderado por el Gobierno Autónomo Descentralizado, en colaboración con el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador, se ha logrado obtener el respaldo de entidades como la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y Conservación Internacional (CI) Ecuador, y con proyecciones, de que otras entidades u organizaciones se alineen a los colaboradores de este importante proyecto de desarrollo.

La colaboración de entidades relevantes en la gestión de proyectos sostenibles, promueven el progreso y desarrollo sostenible a nivel regional, con impacto a nivel global. Este proyecto requiere de una serie de aspectos indispensables para asegurar la puesta en marcha y éxito.

A continuación, se resumen los requisitos, entregables, restricciones, hipótesis y exclusiones del proyecto que incluyen dentro del plan de alcance:

4.3.2.1 Requisitos del Proyecto

El proyecto de implementar el sistema SGS-GDM, hacia una transición sostenible de la planta de tratamiento de aguas residuales convencional bajo el modelo de economía circular, implica la valoración de una serie de requisitos técnicos, legales, humanos y de calidad para garantizar el éxito del proyecto, los mismos que se detallan en la (Tabla: 4-2) siguiendo las pautas y requerimientos establecidas por los *stakeholders* y alineadas con los objetivos del proyecto.

Tabla 4-2: Requerimientos específicos del proyecto.

| Técnicos | Legales y Regulatorios | Recursos humanos | Calidad |
|--|--|---|---|
| Condiciones locales adecuadas para la instalación. | Cumplimiento con las normativas ambientales. | Personal capacitado para operar el sistema. | Cumplimiento de límites permisibles para la descarga. |
| Sistemas de monitoreo y control avanzados. | Obtención de permisos y licencias. | Equipo de proyecto con experiencia. | Productos estándar en el mercado |

4.3.2.2 Entregables del Proyecto:

Acuerdos y Contratos:

- Documentos o avales de los acuerdos con el GAD del Cantón San Pedro de Pelileo.
- Contratos con proveedores relacionadas a nuevas tecnologías AGS-GDM.
- Resguardos o recibos de pagos a los proveedores y otros servicios.

Permisos y Licencias:

- Permiso concebido por el organismo competente para la implantación y operación.
- Licencias y permisos relacionados a la implementación de la tecnología AGS-GDM.

Recursos Técnicos y Materiales:

- Planos y especificaciones técnicas.
- Lista de equipos y materiales necesarios.

Planificación y Gestión del Proyecto:

- Cronograma a detalle del proyecto que consigne el proceso de implementación.
- Análisis de viabilidad técnica y económica.
- Plan de gestión de operaciones de la tecnología.
- Plan de riesgos y contingencia asociados al proyecto.
- Plan de gestión de cambios durante todo el ciclo de vida del proyecto.
- Presupuesto a detalle del proyecto.

Informes y evaluaciones:

- Informe de diagnóstico situacional y actual de la PTAR
- Informe de pruebas de funcionamiento del sistema AGS-GDM.
- Informes de monitoreo y rendimiento.
- Informe de evaluación de impacto ambiental y económico.

Formación y Capacitaciones:

- Programas de capacitación desarrollados e implementados.
- Registros del personal certificado en el uso de la tecnología AGS-GDM.

Cierre del proyecto:

- Informe final de lecciones Aprendidas y resultados del proyecto.
- Infraestructura construida e instalada.
- Informe final del proyecto concluido.
- *Feedback*

4.3.2.3 Restricciones del Proyecto

Las siguientes restricciones más representativas se determinaron como aspectos restrictivos que podrían incidir en el éxito y resultados finales del proyecto referente a la transición sostenible son:

- **Presupuesto:** El proyecto debe completarse dentro del presupuesto estimado de \$2,750,000.
- **Tiempo:** El proyecto debe finalizarse dentro de los 18 meses establecidos.
- **Recursos:** Disponibilidad limitada de personal capacitado y equipos.
- **Regulaciones Locales:** Cumplimiento de las regulaciones ambientales y de construcción.

4.3.2.4 Hipótesis del Proyecto

Por consiguiente, las suposiciones más significativas que se interpolaron durante la planificación y estructuración de la gestión del proyecto que deben controlarse para evitar perturbaciones, son:

- **Disponibilidad de Tecnología:** Asumir que la tecnología AGS-GDM es adecuada para las condiciones específicas de la zona de estudio y compatibilidad con la infraestructura existente.
- **Financiación Asegurada:** Se supone que el financiamiento necesario estará disponible a lo largo del proyecto e incluso asumir que la financiación podría compensar cualquier sobrecoste.
- **Tiempo de proyecto:** Se supone que el proyecto culminará en el tiempo establecido y asumir que no existirá alguna otra eventualidad que retrase las actividades del proyecto.
- **Permisos y Licencias:** Se asume que los permisos y licencias necesarios se obtendrán sin retrasos significativos, que todo esto bajo las condiciones impuestas y cumplan con los tiempos.
- **Apoyo de Stakeholders:** Se supone que habrá un apoyo continuo durante todo el proyecto.

4.3.2.5 Exclusiones del Proyecto

Al planificar la transformación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) convencional con proyección a una Biofactoría utilizando la tecnología de Granos de Lodo Aerobio (AGS) y la Membrana de Filtración por Densidad Gradual (GDM), es crucial identificar las exclusiones del proyecto.

A continuación, se detalla las actividades que no estarán cubiertos dentro del alcance del proyecto para gestionar expectativas y asegurar que el proyecto se ejecute de manera eficiente:

- **Actualización de Infraestructura No Relacionada:** Cualquier actualización o mejora de la infraestructura que no esté relacionada con la implementación del sistema AGS-GDM.
- **Sistemas de Tratamiento Preexistentes:** Mantenimiento, reparación o reemplazo de sistemas de tratamiento de aguas residuales preexistentes que no sean compatibles con el sistema.
- **Costos Operativos Posteriores a la Implementación:** Gastos operativos continuos y de mantenimiento después de la fase de implementación y pruebas iniciales operativas del proyecto.
- **Capacitación Adicional del Personal:** Capacitación continua o adicional para el personal fuera del alcance del entrenamiento inicial necesario para operar y mantener la nueva tecnología.
- **Certificaciones y Permisos Adicionales:** Obtención de certificaciones y permisos que no sean estrictamente necesarios para la implementación inicial de la tecnología AGS-GDM.
- **Monitoreo y Evaluación a Largo Plazo:** Monitoreo y evaluación de largo plazo de la eficacia y eficiencia del nuevo sistema de tratamiento después de la fase de puesta en marcha.
- **Mejoras Tecnológicas Futuras:** Implementación de futuras actualizaciones tecnológicas, operativas o mejoras que surjan después de la finalización según lo previsto en el proyecto.
- **Consultoría y Asesoramiento Adicional:** Servicios de consultoría y asesoramiento adicionales no contemplados en el plan inicial del proyecto y en los servicios o recursos necesarios.

4.3.2.6 Creación de la EDT

Dentro del contexto de este proyecto, la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) es fundamental. La EDT es una herramienta significativa en la gestión del proyecto, organiza visualmente los entregables según los niveles de dependencia, por lo que nos da una visión clara y ordenada de todas las actividades requeridas para culminar el proyecto.

Esta herramienta facilita la división sistemática y lógica de todas las actividades y tareas necesarias para alcanzar los objetivos. Dentro del enfoque en el que se encuentra inmerso la EDT, permite una mejor comprensión y gestión del alcance, posibilitando un seguimiento más eficiente de las actividades, así como una planificación más precisa de los recursos y del tiempo requerido para cada tarea, haciéndola más manejable y mejora la comunicación entre los miembros del equipo de proyecto, así como los *stakeholders*. A continuación, se presenta la EDT para este proyecto en la (Figura 4-2), donde se detallan todos los paquetes de trabajo:

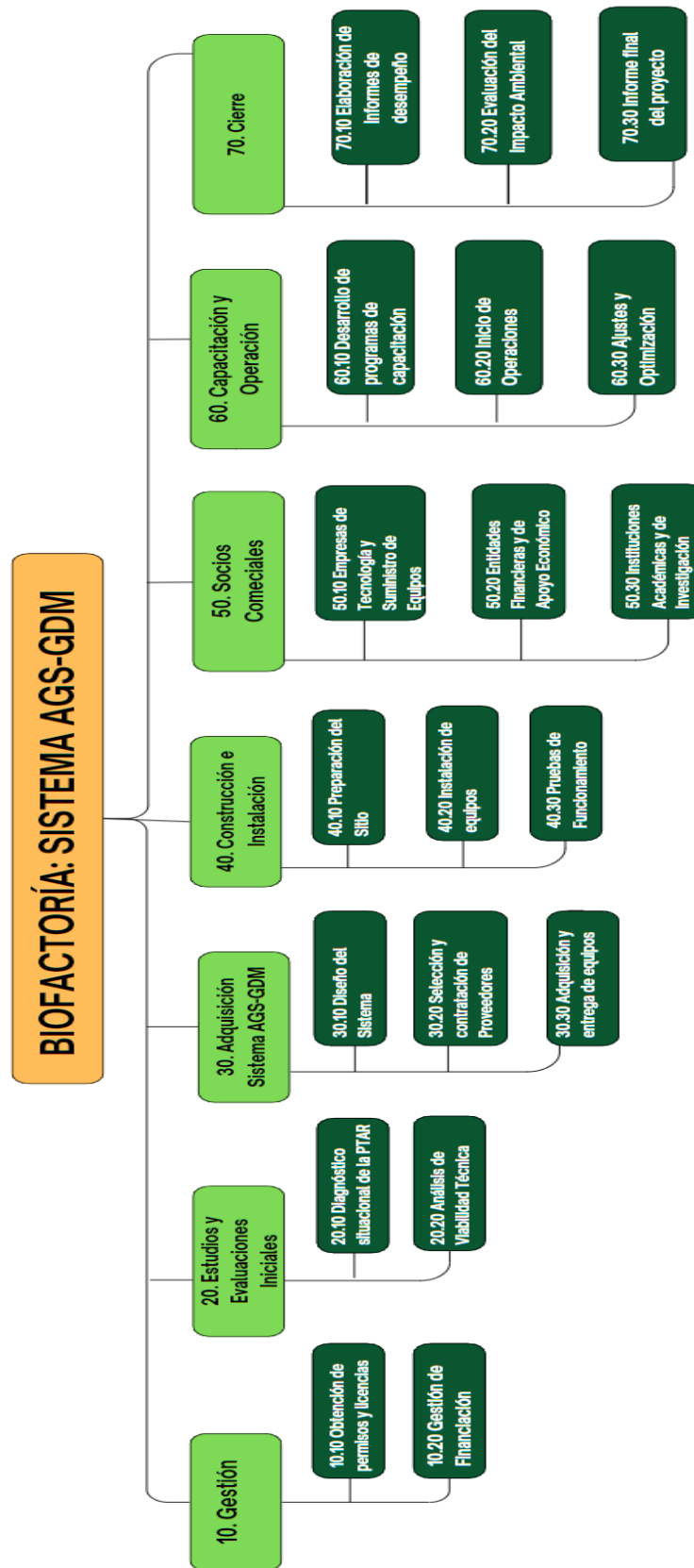


Figura 4-2: Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) del proyecto

4.3.2.7 Diccionarios de la EDT

Para asegurar una interpretación íntegra y detallada de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), es fundamental definir de forma concisa cada paquete de trabajo. Por ello, se presenta el diccionario de la EDT, donde se expone la naturaleza y los alcances de cada paquete de trabajo. Este recurso facilitará un proceso comunicativo claro entre todos actores involucrados en cada una de las tareas del proyecto a fin de atribuir eficacia a cada una de sus responsabilidades un para el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

| | |
|---------------------------|--|
| Código | 10 |
| Paquete de trabajo | Gestión |
| Descripción | Las competencias correspondientes en este paquete de trabajo abarcan la implementación del plan de proyecto, la monitorización y control del progreso, la gestión de los cambios, los informes de progreso del proyecto y la concertación con los interesados. Se subdivide en 2 paquetes de trabajo: <ul style="list-style-type: none"> • Obtención de permisos y licencias • Gestión de la financiación. |
| Responsable | Director del proyecto, responsables 3 y 4 |
| Entregables | <ul style="list-style-type: none"> • Plan de proyecto. • Solicitudes de cambios. • Informes y actas en las reuniones |
| Hitos | Aprobación del Plan de Proyecto |
| Actividades | Gestionar durante todo el ciclo de vida del proyecto |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> • Equipo del Proyecto. • Software de Gestión. • Recursos ofimáticos para facilitar la gestión y comunicación en línea. |

| | |
|---------------------------|--|
| Código | 10.10 |
| Paquete de trabajo | Obtención de permisos y licencias |
| Descripción | Este paquete de trabajo incluye el conjunto de actividades relacionadas a la obtención de permisos y licencias para llevar a cabo el proyecto. |
| Responsable | Responsables 3 y 4 |
| Entregables | Permiso y licencias vigentes |
| Hitos | Obtención de permisos y licencias |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar los requerimientos necesarios • Preparar los recursos necesarios para la obtención de los permisos y licencias necesarios para el proyecto. |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> • Equipo del proyecto • Material de oficina y papelería. |

| | |
|---------------------------|---|
| Código | 10.20 |
| Paquete de trabajo | Gestión de Financiación |
| Descripción | Este paquete de trabajo incluye las actividades relacionadas con la financiación requerida para el proyecto. |
| Responsable | Director del proyecto y responsable 4 |
| Entregables | <ul style="list-style-type: none"> • Solicitud de las Propuestas de financiación • Solicitud de financiación presentada |

| | |
|--------------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> Informe de Validación de la financiación |
| Hitos | Refrendo de la Financiación |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> Elaborar las solicitudes de financiación Acuerdos o contratos firmados |
| Recursos | Responsable 4 |

| | |
|---------------------------|---|
| Código | 20 |
| Paquete de trabajo | Estudios y evaluaciones iniciales |
| Descripción | Se subdivide en 3 paquetes de trabajo: <ul style="list-style-type: none"> 20.10 Diagnóstico situacional de la PTAR 20.20 Análisis de viabilidad técnica 20.30 Valoración de la infraestructura |
| Responsable | Responsable 1 |
| Entregables | Informes de estudios y evaluaciones iniciales |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> Equipo de proyecto Recursos financieros Recursos ofimáticos |

| | |
|---------------------------|---|
| Código | 20.10 |
| Paquete de trabajo | Diagnostico situacional de la PTAR |
| Descripción | Este paquete de trabajo incluye un análisis completo del estado actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para identificar áreas de estratégicas. |
| Responsable | Responsable 1 |
| Entregables | <ul style="list-style-type: none"> Informes de inspección de la zona de estudio Plan de Actualización de la infraestructura Informes del estado de la PTAR actualizada Planos de la arquitectura de la PTAR actualizada Informes de operación, mantenimiento Informe de mejoras de la PTAR. Informes de la calidad de los efluentes. |
| Hito | Informe del diagnóstico situacional de la PTAR |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> Programar visitas a la PTAR Realizar un recorrido en las instalaciones Identificación de zonas estratégicas Identificación de puntos críticos que necesiten mejoras. Recopilación de información y documentación Monitoreo de las aguas residuales Evaluación de la calidad de las aguas residuales Documentar, fotografiar y recopilar datos e información relevante sobre el funcionamiento de la PTAR Realizar una reunión introductoria con el cuerpo directivo y operacional de la PTAR. |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> Equipo de proyecto Especialista en Ingeniería y Diseño Herramientas de recopilación de información. Insumos para la recolección, transporte y evaluación de muestras de agua residual. Transporte para las visitas Recursos ofimáticos. |

| Código | 20.20 |
|---------------------------|---|
| Paquete de trabajo | Análisis de viabilidad técnica |
| Descripción | Este paquete incluye una valoración de la viabilidad técnica de transformar la PTAR convencional en Biofactoría mediante la tecnología AGS-GDM. |
| Responsable | Responsable 1 y 2 |
| Entregables | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Informe de Viabilidad Técnica ▪ Recomendaciones Técnicas ▪ Informe de aprobación final del diseño en la PTAR. |
| Hito | Informe de Viabilidad técnica |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Recopilar datos operativos actualizados de la PTAR ▪ Analizar compatibilidad de la tecnología AGS-GDM ▪ Realizar estudios de simulación y pruebas piloto. ▪ Evaluar los resultados y formular recomendaciones. |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipo de proyecto ▪ Software de simulación de procesos ▪ Personal técnico especializado ▪ Acceso a la PTAR para pruebas piloto |

| Código | 30. |
|---------------------------|--|
| Paquete de trabajo | Adquisición Sistema AGS-GDM |
| Descripción | Este paquete de trabajo incluye; <ul style="list-style-type: none"> • Análisis minucioso de la tecnología AGS-GDM, • Diseño detallado del sistema. • Verificación del sistema |
| Responsable | Responsable 1 |
| Entregables | Planos, documentación y especificaciones técnicas. |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipo de proyecto ▪ Equipo de ingeniería especializado ▪ Software de diseño |

| Código | 30.10 |
|---------------------------|---|
| Paquete de trabajo | Diseño del sistema |
| Descripción | Sobre este paquete recaen las actividades vinculadas con el diseño a detalle del sistema AGS-GDM. |
| Responsable | Responsable 1 |
| Entregables | Informes de Planos y especificaciones técnicas del sistema |
| Hito | Aprobación del diseño del sistema. |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Recolección de requisitos. ▪ Revisión y análisis ▪ Aprobación ▪ Exploración del sistema ▪ Diseño de las esquematizaciones preliminares. ▪ Revisión y ajustes de diseño. ▪ Elaboración de planos finales. ▪ Aprobación de esquemas. |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipo de proyecto ▪ Software de diseño y simulación ▪ Especialista en ingeniería de diseño. ▪ Equipo técnico. |

| Código | 30. 20 |
|---------------------------|--|
| Paquete de trabajo | Selección y contratación de proveedores |
| Descripción | Este paquete se centra en la identificación, valoración y selección de los proveedores acorde a las especificaciones de la tecnología AGS-GDM y en función de los requerimientos del proyecto. |
| Responsable | Responsable 4 |
| Entregables | <ul style="list-style-type: none"> • Identificación y selección de proveedores • Contratos con proveedores |
| Hito | Firma de contrato con los proveedores seleccionados. |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> • Investigación de proveedores en el mercado • Valoración de proveedores que cumplan los requerimientos del proyecto. • Solicitud de propuestas • Evaluación de propuestas. • Negociación, acuerdos pautados y contratación. |
| Recursos | Equipo de proyecto Base de datos de proveedores en el nicho de mercado. Equipo de compras |

| Código | 30. 30 |
|---------------------------|---|
| Paquete de trabajo | Adquisición y entrega de equipos |
| Descripción | Este paquete a detalle expone la adquisición y coordinación de los actores involucrados para la entrega de todos los equipos necesario. |
| Responsable | Responsable 4 |
| Entregables | Informe de los equipos entregados en el sitio del proyecto. |
| Hito | Recepción de los equipos requeridos para el proyecto. |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Emisión y coordinación de ordenes de pedido para su entrega en el sitio del proyecto. ▪ Recepción y verificación de la entrega de los equipos. ▪ Inspección de equipos e insumos recibidos para asegurar que cumplan los requerimientos pautados. |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipo de proyecto ▪ Especialista en logística ▪ Transporte para coordinar la entrega de los equipos |

| Código | 40. |
|---------------------------|---|
| Paquete de trabajo | Construcción e Instalación |
| Descripción | Este paquete de trabajo incluye los siguientes paquetes: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 40.10 Preparación del sitio ▪ 40.20 Instalación de equipos ▪ 40.30 Pruebas de funcionamiento |
| Responsable | Responsable 2 |
| Entregables | Informe de aprobación de la instalación del sistema. |

| Código | 40.10 |
|---------------------------|---|
| Paquete de trabajo | Preparación del sitio |
| Descripción | Este paquete de trabajo incluye las actividades relacionadas con la preparación del sitio para la instalación del sistema AGS-GDM |

| | |
|--------------------|---|
| Responsable | Responsable 2 |
| Entregables | Informe de actividades realizadas para la ambientación del sitio. |
| Hito | Compleción de la preparación del sitio. |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordinación para preparar los recursos necesarios de la instalación. ▪ Análisis de los puntos estratégicos ▪ Selección y verificación del sitio para su instalación. |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> • Equipo de proyecto. • Equipo especializado en el sitio. |

| | |
|---------------------------|---|
| Código | 40.20 |
| Paquete de trabajo | Instalación de equipos |
| Descripción | Este paquete de trabajo incluye las actividades relacionadas directamente con la instalación de los equipos del sistema AGS-GDM en el sitio. |
| Responsable | Responsable 2 |
| Entregables | Informe de equipos instalados y configurados. |
| Hito | Instalación correcta de los equipos. |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> • Montaje de equipos • Conexión de sistemas • Pruebas iniciales de instalación |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Personal técnico especializado ▪ Operarios de la PTAR ▪ Maquinaria pesada para la movilización de equipos ▪ Herramientas de instalación. |

| | |
|---------------------------|---|
| Código | 40.30 |
| Paquete de trabajo | Pruebas de funcionamiento |
| Descripción | Este paquete comprende una serie de pruebas a realizar para asegurar el correcto funcionamiento del sistema AGS-GDM en la planta de tratamiento. |
| Responsable | Responsable 2 y corresponsable 1 |
| Entregables | <ul style="list-style-type: none"> • Informe de pruebas y puesta en marcha • Informe de ensayos de verificación de la funcionalidad del sistema. |
| Hito | Aprobación de pruebas de funcionamiento. |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> • Ensayos de verificación de componentes del sistema. • Pruebas integradas del sistema. • Corrección de errores y ajustes para su validación. |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> • Software de análisis. • Equipos especializados de prueba. |

| | |
|---------------------------|--|
| Código | 50. |
| Paquete de trabajo | Socios comerciales |
| Descripción | En este paquete de trabajo abarca las actividades de colaboración para conseguir alianzas estratégicas e incluye de manera detallada los siguientes paquetes de trabajo: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 50.10 Empresas de tecnología y suministros ▪ 50.20 Entidades financieras y de apoyo económico ▪ 50.30 Instituciones académicas y de investigación |
| Responsable | Responsable 4 |
| Entregables | Contratos, acuerdos con socios comerciales. |

| | |
|-----------------|---|
| Hito | Acopio de socios comerciales para garantizar el éxito del proyecto. |
| Recursos | Equipo de proyecto |

| | |
|---------------------------|--|
| Código | 50.10 |
| Paquete de trabajo | Empresas de tecnologías y suministro de equipos |
| Descripción | Es este paquete de trabajo se detalla las actividades a efectuar a fin de lograr colaboraciones con empresas tecnológicas para asegurar el suministro de equipos. |
| Responsable | Responsable 4 |
| Entregables | Acuerdos de colaboración |
| Hito | Firma de acuerdos con empresas tecnológicas. |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> • Identificación de empresas en el nicho de mercado • Negociación de acuerdos • Establecimiento de canales de comunicación |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipo de proyecto ▪ Red de contratos ▪ Equipo de negociación especializado |

| | |
|---------------------------|---|
| Código | 50.20 |
| Paquete de trabajo | Entidades financieras y de apoyo económico |
| Descripción | En este paquete de trabajo se adjudican las actividades para asegurar una parte esencial correspondiente al financiamiento del proyecto a través de entidades financieras. |
| Responsable | Responsable 1 y 4 |
| Entregables | Contratos de financiamiento |
| Hito | Aprobación de financiación |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de propuestas de financiamiento • Presentación del proyecto a entidades financieras • Negociación y cierre de contratos |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> • Documentación del proyecto • Equipo de finanzas. |

| | |
|---------------------------|---|
| Código | 50.30 |
| Paquete de trabajo | Instituciones académicas y de investigación |
| Descripción | En este paquete de trabajo se ha considerado la oportunidad de colaborar con instituciones académicas. |
| Responsable | Responsable 4 |
| Entregables | Acuerdos de colaboración |
| Hito | Efectuar alianzas estratégicas |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> • Identificar instituciones • Negociación de colaboraciones • Desarrollo de alianzas estratégicas para asegurar el éxito del proyecto y resultados finales. |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> • Equipo de proyecto • Red de contrato académicos • Equipo de investigación |

| | |
|---------------------------|--|
| Código | 60 |
| Paquete de trabajo | Capacitación y operación |
| Descripción | Este paquete de trabajo incluye los siguientes paquetes de trabajo a mayor detalle para asegurar la máxima operabilidad eficaz del sistema: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 60.10 Desarrollo de programas de capacitación ▪ 60.20 Inicio de operaciones ▪ 60.30 Ajuste y optimización. |
| Responsable | Responsable 2 |
| Entregables | <ul style="list-style-type: none"> • Informes de capacitación del personal • Informes de operabilidad del sistema |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> • Equipo de proyecto • Recursos ofimáticos y papelería. |

| | |
|---------------------------|--|
| Código | 60.10 |
| Paquete de trabajo | Desarrollo de programas de capacitación |
| Descripción | Este paquete de trabajo se encarga de la creación de programas de capacitación para el personal que operará el sistema AGS-GDM |
| Responsable | Responsable 2 |
| Entregables | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Manuales de operabilidad aprobados ▪ Informes de capacitación del personal |
| Hito | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ejecutar las sesiones de capacitación |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Diseño de programas de capacitación ▪ Elaboración de materiales didácticos ▪ Implementación de sesiones de capacitación. |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Materiales didácticos ▪ Recursos ofimáticos ▪ Personal de formación |

| | |
|---------------------------|--|
| Código | 60.20 |
| Paquete de trabajo | Inicio de operaciones |
| Descripción | Este paquete de trabajo incluye la puesta en marcha del sistema AGS-GDM y el inicio de sus operaciones en coacción con la planta de tratamiento. |
| Responsable | Responsable 2 |
| Entregables | Informe aprobado del sistema operativo |
| Hito | Inicio de operaciones |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> • Arranque inicial del sistema • Monitoreo preliminar de las operaciones • Breves ajustes del funcionamiento |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> • Personal de operaciones • Software de control y monitorización |

| | |
|---------------------------|---|
| Código | 60.30 |
| Paquete de trabajo | Ajustes y optimización |
| Descripción | Este paquete de trabajo abarca la realización de ajustes y optimización del sistema para asegurar la eficacia del sistema en la planta. |
| Responsable | Responsable 2 |
| Entregables | Informes de optimización |

| | |
|--------------------|--|
| Hito | Finalización de ajustes y optimización |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Evaluación del rendimiento ▪ Identificación de mejoras ▪ Implementación de ajustes |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Herramientas de análisis ▪ Equipo técnico ▪ Equipo de proyecto |

| | |
|---------------------------|--|
| Código | 70. |
| Paquete de trabajo | Cierre |
| Descripción | Este paquete de trabajo cubre el cierre del proyecto, hasta su finalización, que a detalle se ha dividido en los siguientes paquetes de trabajo: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 70.10 Elaboración de informes de desempeño ▪ 70.20 Evaluación de impacto ambiental ▪ 70.30 Informe final del proyecto |
| Responsable | Director del proyecto |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> • Equipo de proyecto • Herramientas ofimáticas |

| | |
|---------------------------|--|
| Código | 70.10 |
| Paquete de trabajo | Elaboración de informes de desempeño |
| Descripción | Este paquete de trabajo corresponde a la recopilación y análisis de datos del proyecto para evaluar su desempeño en términos de alcance, tiempo, costo y calidad. |
| Responsable | Director del proyecto. |
| Entregables | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Informe de desempeño final ▪ Informe del cumplimiento de objetivos del proyecto ▪ Informe final de gastos vs beneficios obtenidos |
| Hito | Aprobación final del informe de desempeño. |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Recopilación de datos de rendimiento del proyecto. ▪ Análisis de cumplimiento de los hitos y entregables. ▪ Comparación de resultados con el plan del proyecto. ▪ Presentación y revisión de los informes con las partes interesadas. |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Software de gestión de proyectos ▪ Equipo de proyecto ▪ Recursos informáticos |

| | |
|---------------------------|--|
| Código | 70.20 |
| Paquete de trabajo | Evaluación del Impacto Ambiental |
| Descripción | Este paquete de trabajo cubre las valoraciones de impacto ambiental durante su ciclo de vida. |
| Responsable | Responsable 4 |
| Entregables | Informe de evaluación de impacto ambiental. |
| Hito | Aprobación de informes de impacto ambiental durante su ciclo de vida. |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Compendio de datos ambientales antes, durante y después del proyecto. ▪ Análisis de los efectos del proyecto sobre el medio ambiente. ▪ Identificación de medidas correctivas o de mitigación implementadas. |

| | |
|-----------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Redacción del informe final para su revisión y aprobación. |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Herramientas de monitoreo ambiental ▪ Equipo de consultores ambientales ▪ Herramientas informáticas |

| | |
|---------------------------|--|
| Código | 70.30 |
| Paquete de trabajo | Informe final del proyecto |
| Descripción | Este último paquete de trabajo incluye un compendio de toda la información y documentación del proyecto. |
| Responsable | Director del proyecto |
| Entregables | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Informe de lecciones aprendidas ▪ Informe final del proyecto ▪ Informe de resultados obtenidos ▪ Informe de recomendaciones para futuros proyectos bajo el mismo enfoque. |
| Hito | Entrega del informe final de proyecto |
| Actividades | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Síntesis de documentación y datos del proyecto. ▪ Redacción de secciones que cubran el alcance, tiempo, costo, calidad, riesgos e interesados. ▪ Documentación de las lecciones aprendidas ▪ Revisión y aprobación del informe. |
| Recursos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Documentación del proyecto ▪ Software de gestión de documentos ▪ Equipo de proyecto |

Para asegurar que la gestión del alcance del proyecto se lleva a cabo conforme a lo planificado, se implementarán revisiones periódicas con las partes interesadas. Los informes de estado del proyecto se generarán de manera frecuente, definiendo una periodicidad significativa para ofrecer una actualización continua sobre el progreso según lo establecido.

4.3.3 Plan de gestión del cronograma

La Gestión del cronograma es un recurso crucial para la ejecución exitosa del proyecto respecto a la transición sostenible. Este inciso busca dotar una visión clara y concisa de todas las actividades requeridas, su secuencia lógica y sus duraciones estimadas.

Este recurso de alta significancia en el plan de proyecto facilita al equipo y a los *stakeholders* claves una herramienta de gestión sólida y organizada para controlar la duración de las actividades o tareas que integran los paquetes de trabajo dispuestos en el proyecto.

Además, permite un control más recurso de las actividades en función del tiempo que duran en ejecutarse por completo, dando paso consecuentemente a las actividades siguientes, conforme a lo que se encuentra planificado dentro del plan de gestión del cronograma.

En la (Tabla 4-3), se presenta un resumen detallado de todas las tareas, duraciones, así como las fechas de inicios y fin con sus respectivas relaciones de dependencia entre ellas. Este desglose de tareas que integran los paquetes de trabajo facilita la visualización integral del tiempo durante todo el ciclo de vida del proyecto, alineados con los objetivos y requerimientos de este.

Tabla 4-3: Duración de las Tareas.

| No. | No. EDT | Tarea | Duración | Fecha de inicio | Fecha de fin | Predecesora |
|-----|----------|--|----------|-----------------|--------------|-------------|
| 1 | 10 | Gestión | 601 días | 01/09/24 | 29/11/24 | |
| 2 | 10.1 | Gestionar durante todo el ciclo de vida del proyecto | | | | |
| 3 | 10.10 | Obtención de permisos y licencias | 26 días | 01/09/24 | 27/09/24 | |
| 4 | 10.10.10 | Preparar las solicitudes de permisos y licencias | 9 días | 01/09/24 | 10/09/24 | |
| 5 | 10.10.20 | Validar los permisos y licencias | 16 días | 11/09/24 | 27/09/24 | 10.10.10 |
| 6 | 10.20 | Gestión de financiación | 58 días | 01/09/24 | 29/10/24 | |
| 7 | 10.20.10 | Preparar solicitudes de financiación | 10 días | 01/09/24 | 11/09/24 | |
| 8 | 10.20.20 | Acuerdos y contratos firmados de financiación | 48 días | 12/09/24 | 30/10/24 | 10.20.10 |
| 9 | 20. | Estudios y evaluaciones iniciales | 58 días | 01/11/24 | 30/12/24 | |
| 10 | 20.10 | Diagnostico situacional de la PTAR. | 12 días | 01/11/24 | 13/11/24 | |
| 11 | 20.10.10 | Identificación de zonas estratégicas. | 6 días | 01/11/24 | 07/11/24 | |
| 12 | 20.10.20 | Monitoreo de efluentes | 6 días | 07/11/24 | 13/11/24 | |
| 13 | 20.20 | Análisis de viabilidad técnica | 46 días | 14/11/24 | 30/12/24 | |
| 14 | 30. | Adquisición Sistema AGS-GSM | 148 días | 01/01/25 | 29/05/25 | |
| 15 | 30.10 | Diseño del sistema | 94 días | 01/01/25 | 05/04/25 | |
| 16 | 30.10.10 | Recolección de requisitos | 19 días | 01/01/25 | 20/01/25 | |
| 17 | 30.10.20 | Esquemalizaciones preliminares | 15 días | 21/01/25 | 05/02/25 | 30.10.10 |
| 18 | 30.10.30 | Revisión y ajustes de diseño | 36 días | 05/02/25 | 14/03/25 | 30.10.20 |
| 19 | 30.10.40 | Elaboración de planos finales | 24 días | 15/03/25 | 08/04/25 | |
| 20 | 30.20 | Elección y contratación de proveedores | 54 días | 05/04/25 | 29/05/25 | |
| 21 | 30.20.10 | Investigación de proveedores | 20 días | 05/04/25 | 25/04/25 | 30.10.40 |
| 22 | 30.20.20 | Valoración de proveedores | 10 días | 26/04/25 | 06/05/25 | 30.20.10 |
| 23 | 30.20.30 | Solicitud de propuestas | 6 días | 07/05/25 | 13/05/25 | |
| 24 | 30.20.40 | Evaluación de propuestas | 8 días | 14/05/20 | 22/05/25 | 30.20.30 |
| 25 | 30.20.50 | Negociación, acuerdos y contrataciones | 10 días | 19/05/25 | 29/05/25 | 30.20.40 |
| 26 | 30.30 | Adquisición y entrega de equipos | 90 días | 01/06/25 | 30/08/25 | |
| 27 | 30.30.10 | Emisión y coordinación de órdenes de pedido | 40 días | 01/06/25 | 11/07/25 | |

| No. | No. EDT | Tarea | Duración | Fecha de inicio | Fecha de fin | Predecesora |
|-----|----------|--|----------|-----------------|--------------|----------------------|
| 28 | 30.30.20 | Recepción y verificación de equipos. | 20 días | 11/07/25 | 11/08/25 | |
| 29 | 30.30.30 | Inspección de equipos e insumos. | 30 días | 02/08/25 | 30/08/25 | 30.30.20 |
| 30 | 40 | Construcción e Instalación | 121 días | 01/09/25 | 31/12/25 | |
| 31 | 40.10 | Preparación del sitio | 10 días | 01/09/25 | 10/09/25 | |
| 32 | 40.20 | Instalación de equipos | 60 días | 11/09/25 | 10/11/25 | |
| 33 | 40.20.10 | Montaje de equipos | 45 días | 11/09/25 | 25/10/25 | |
| 34 | 40.20.20 | Conexión de sistemas | 10 días | 25/10/25 | 05/11/25 | 40.20.10 |
| 35 | 40.20.30 | Pruebas iniciales | 5 días | 05/11/25 | 10/11/25 | 40.20.30 |
| 36 | 40.30 | Pruebas de funcionamiento | 51 días | 12/11/25 | 31/12/25 | |
| 37 | 40.30.10 | Ensayos de verificación de | 25 días | 12/11/25 | 07/12/25 | |
| 38 | 40.30.20 | Pruebas integradas del sistema | 15 días | 07/12/25 | 21/12/25 | 40.30.10 |
| 39 | 40.30.30 | Corrección de errores | 11 días | 20/12/25 | 31/12/25 | 40.30.20 |
| 40 | 50 | Socios comerciales | 50 días | 01/01/26 | 21/02/26 | |
| 41 | 50.10 | Empresas de Tecnología | 20 días | 01/01/26 | 20/01/26 | |
| 42 | 50.20 | Entidades financieras | 20 días | 21/01/26 | 10/02/26 | |
| 43 | 50.30 | Instituciones académicas y de investigación. | 10 días | 11/02/26 | 21/02/26 | |
| 44 | 60 | Capacitación y operación | 52 días | 22/02/26 | 15/04/26 | |
| 45 | 60.10 | Desarrollo de programas de capacitación | 20 días | 22/02/26 | 14/03/26 | |
| 46 | 60.10.10 | Diseño de programas | 5 días | 22/02/26 | 27/02/26 | |
| 47 | 60.10.20 | Materiales didácticos | 5 días | 27/02/26 | 04/03/26 | 60.10.10 |
| 48 | 60.10.30 | Implementación de capacitación. | 10 días | 04/03/26 | 14/03/26 | 60.10.10 60.10.20 |
| 49 | 60.20 | Inicio de operaciones | 14 días | 15/03/26 | 29/03/26 | |
| 50 | 60.20.10 | Arranque inicial del sistema | 3 días | 15/03/26 | 18/03/26 | |
| 51 | 60.20.20 | Monitoreo preliminar de las operaciones | 5 días | 18/03/26 | 21/03/26 | 60.20.10 |
| 52 | 60.20.30 | Breves ajustes del funcionamiento | 6 días | 21/03/26 | 28/03/26 | |
| 53 | 60.30 | Ajustes y optimización | 17 días | 01/04/26 | 18/04/26 | |
| 54 | 60.30.10 | Evaluación del rendimiento | 5 días | 01/04/25 | 06/04/26 | |
| 55 | 60.30.20 | Identificación de mejoras | 5 días | 07/04/26 | 12/04/26 | |
| 56 | 60.30.30 | Implementación de ajustes | 7 días | 11/04/26 | 18/04/26 | 60.30.20 |
| 57 | 70 | Cierre | 47 días | 22/04/26 | 08/06/26 | |
| 58 | 70.10 | Elaboración de informes de desempeño | 12 días | 22/04/26 | 04/04/26 | |
| 59 | 70.20 | Evaluación de impacto ambiental | 15 días | 05/04/26 | 20/04/26 | |

| No. | No. EDT | Tarea | Duración | Fecha de inicio | Fecha de fin | Predecesora |
|-----|----------|--|----------|-----------------|--------------|-------------|
| 60 | 70.20.10 | Compendio de datos ambientales antes, durante y después del proyecto | 5 días | 05/04/26 | 10/04/26 | |
| 61 | 70.20.20 | Análisis de información | 5 días | 10/04/26 | 15/04/26 | 70.20.10 |
| 62 | 70.20.30 | Redacción del informe final para su revisión y aprobación | 5 días | 15/04/26 | 20/04/26 | 70.20.20 |
| 63 | 70.30 | Informes finales del proyecto | 20 días | 19/05/26 | 08/06/26 | |
| 64 | 70.30.10 | Documentación de las lecciones aprendidas y las recomendaciones. | 10 días | 19/05/26 | 29/05/26 | |
| 65 | 70.30.20 | Revisión y aprobación del informe por las partes interesadas. | 10 días | 30/05/26 | 08/06/25 | |

4.3.4 Plan de gestión de los costes

La gestión de los costes en una parte significativa del proyecto, puesto este importante recurso permite gestionar minuciosamente los costos involucrados directamente con el proyecto. Este apartado abarca a detalle todos los costos en cada uno de los paquetes de trabajo, lo cual es necesario valorar para reconocer la rentabilidad del proyecto y garantizar que se satisfagan las expectativas financieras. A continuación, se presenta la (Tabla 4-4) que registra las tareas del proyecto con su presupuesto establecido, abarcando subcontrataciones, costos de personal y costos materiales.

Tabla 4-4: Estimación de Costos de Presupuesto.

| Tareas | Costo |
|---|-------------|
| Proyecto | \$2,570,000 |
| Gestión | \$250,000 |
| Gestionar durante todo el ciclo de vida del proyecto. | \$250,000 |
| Obtención de permisos y licencias | \$100,000 |
| Preparar las solicitudes de permisos y licencias | \$30,000 |
| Validar los permisos y licencias | \$70,000 |
| Gestión de financiación | \$150,000 |
| Preparar solicitudes de financiación | \$50,000 |
| Acuerdos y contratos firmados de financiación | \$100,000 |
| Estudios y evaluaciones iniciales | \$200,000 |
| Diagnostico situacional de la PTAR | \$50,000 |
| Identificación de zonas estratégicas de la PTAR | \$25,000 |
| Monitoreo de efluentes | \$25,000 |
| Análisis de viabilidad técnica | \$100,000 |
| Adquisición Sistema AGS-GSM | \$370,000 |
| Diseño del sistema | \$150,000 |
| Recolección de requisitos | \$30,000 |
| Desarrollo de esquematizaciones preliminares | \$40,000 |
| Revisión y ajustes de diseño | \$30,000 |

| Tareas | Costo |
|--|------------------|
| Elaboración de planos finales | \$50,000 |
| Elección y contratación de proveedores | \$120,000 |
| Investigación de proveedores en el mercado | \$20,000 |
| Solicitud de propuestas | \$20,000 |
| Evaluación de propuestas | \$30,000 |
| Negociación, acuerdos y contrataciones | \$30,000 |
| Adquisición y entrega de equipos | \$100,00 |
| Emisión y coordinación de órdenes de pedido | \$40,000 |
| Recepción y verificación de la entrega de los equipos | \$30,000 |
| Inspección de equipos e insumos recibidos | \$30,000 |
| Construcción e Instalación | \$550,000 |
| Preparación del sitio | \$200,000 |
| Instalación de equipos | \$200,000 |
| Montaje de equipos | \$100,000 |
| Conexión de sistemas | \$50,000 |
| Pruebas iniciales de instalación | \$50,000 |
| Pruebas de funcionamiento | \$150,000 |
| Ensayos de verificación de componentes individuales del sistema | \$50,000 |
| Pruebas integradas del sistema | \$50,000 |
| Corrección de errores | \$50,000 |
| Socios comerciales | \$300,000 |
| Empresas de Tecnología y suministro de equipos | \$100,000 |
| Entidades financieras y de apoyo económico | \$100,000 |
| Instituciones académicas y de investigación | \$100,000 |
| Capacitación y operación | \$400,000 |
| Desarrollo de programas de capacitación | \$100,000 |
| Diseño de programas de capacitación | \$25,000 |
| Elaboración de materiales didácticos | \$25,000 |
| Implementación de sesiones de capacitación | \$50,000 |
| Inicio de operaciones | \$150,000 |
| Arranque inicial del sistema | \$50,000 |
| Monitoreo preliminar de las operaciones | \$50,000 |
| Breves ajustes del funcionamiento | \$50,000 |
| Ajustes y optimización | \$150,000 |
| Evaluación del rendimiento | \$50,000 |
| Identificación de mejoras | \$50,000 |
| Implementación de ajustes | \$50,000 |
| Cierre | \$250,000 |
| Elaboración de informes de desempeño | \$15,000 |
| Evaluación de impacto ambiental | \$145,000 |
| Compendio de datos ambientales antes, durante y después del proyecto | \$50,000 |
| Análisis de los efectos del proyecto sobre el medio ambiente | \$50,000 |
| Redacción del informe final para su revisión y aprobación | \$45,000 |
| Informes finales del proyecto | \$90,000 |

| Tareas | Costo |
|---|----------|
| Documentación de las lecciones aprendidas y las recomendaciones | \$40,000 |
| Revisión y aprobación del informe por las partes interesadas. | \$50,000 |

Además, para dar mayor representatividad y síntesis a la concesión del presupuesto planificado en función de los paquetes de trabajo, que puede apreciar la (Tabla:4-5), donde se detalla la estimación de cada uno. Por otra parte, en la (Tabla: 4-6), se muestran las tasas correspondientes a los recursos humanos que se emplearán en el proyecto.

Tabla 4-5: Estimación de presupuesto por paquetes de trabajo.

| Paquete de trabajo | Presupuesto |
|-----------------------------------|--------------------|
| Gestión | \$250,000 |
| Estudios y evaluaciones iniciales | \$200,000 |
| Adquisición Sistema AGS-GSM | \$370,000 |
| Construcción e Instalación | \$550,000 |
| Socios comerciales | \$300,000 |
| Capacitación y operación | \$400,000 |
| Cierre | \$250,000 |
| Total | \$2,320,000 |
| Contingencias (10%) | \$ 250,000 |
| Total + Contingencia | \$2,570,000 |

Tabla 4-6: Tarifa de los Recursos Humanos.

| Recurso Humano | Tarifa |
|---|------------|
| Director del proyecto | 18,00 \$/h |
| Responsable 1 (Ingeniería y Tecnología) | 14,00 \$/h |
| Responsable 2 (Operaciones y Mantenimiento) | 15,00 \$/h |
| Responsable 3 (Medio Ambiente y Calidad) | 16,00 \$/h |
| Responsable 4 (Gestión Financiera y Administrativa) | 14,00 \$/h |
| Informático | 15,00 \$/h |
| Equipo técnico del proveedor de la tecnología | 16,00 \$/h |
| Equipo de montaje + pruebas | 16,00 \$/h |
| Especialista en logística | 14,00 \$/h |

Además, la Figura (4-3) muestra la Línea base de costos del proyecto. Esta línea base es una representación de la estimación inmutable de los costos del proyecto y sirve como respaldo para medir y supervisar el rendimiento real de los costos a medida que el proyecto avanza.

Es de gran significancia considerar la Línea Base de Costos (Figura: 4-3), puesto que indica la distribución del presupuesto para cada una de las actividades que conforman el ciclo de vida del proyecto y garantizar un control eficaz de la parte financiera y no sobreestimar costes adicionales que no hayan sido previsto o que surjan por cualquier otra eventualidad imprevista en el proyecto.



Figura 4-3: Línea Base de Costos.

Para asegurar el éxito y la rentabilidad financiera del proyecto, se han considerado diversas fuentes de financiación que favorecerán a la ejecución del proyecto. La estrategia de dotación económica consiste en disponer de diversas fuentes de financiación, incluyendo el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón San Pedro de Pelileo, subvenciones para proyectos del fondo para la investigación en recursos hídricos del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador, colaboraciones con entidades como la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y Conservación Internacional (CI) Ecuador, entre otros programas relacionados con sostenibilidad y economía circular, así como la colaboración estratégica con socios comerciales entre los que se tiene establecido dentro del paquete de trabajo número cincuenta.. La (Tabla 4-7) detalla la desagregación de la financiación.

Tabla 4-7: Fuentes de Financiación.

| Fuente de Financiación | Monto |
|---|--------------------|
| Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón San Pedro de Pelileo | \$150.000,00 |
| Prefectura de Tungurahua | \$100,000 |
| Marco de Bonos Verdes de Ecuador | \$500,000 |
| Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador | \$570,000 |
| Instrumento para Inversiones en América Latina y el Caribe | \$1,000,0000 |
| Conservación Internacional (CI) Ecuador | \$250,000 |
| Total | \$2,570,000 |

Estos fondos se atribuyen a cambios relativos por cada entidad competente en función de los requerimientos pautados previamente. El equipo de gestión del proyecto deberá establecer y presentar las solicitudes de financiación correspondientes en el plazo y procedimiento establecido.

La estrategia de financiación de carácter heterogénea ayuda a reducir los riesgos financieros durante la ejecución del proyecto, asegurando a largo plazo mantener el valor y los resultados en función de los objetivos pautados. Además, la selección de estas fuentes de financiación está directamente relacionadas con la sostenibilidad, la innovación y el desarrollo económico en base a modelos de economía circular. En la Figura (4-4), se aprecia visualmente la planificación de la financiación en una línea base, donde se muestra que se mantiene absolutamente por encima de la línea de base de coste durante todo el intervalo de ejecución del proyecto.

Es sustancial indicar que se ha incluido una contingencia del 10% para cubrir cualquier eventualidad o gasto inesperado que pueda surgir en el transcurso del proyecto. La administración de estos fondos está sujeta a regulaciones minuciosas con la máxima transparencia para asegurar la correcta disposición de los recursos.

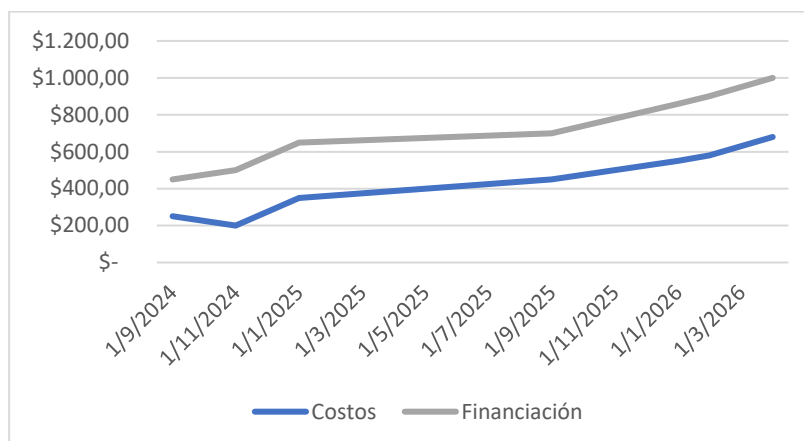


Figura 4-4: Línea Base de Financiación.

4.4 Dominio de desempeño interesados

El éxito del proyecto este sujeto en gran magnitud de la gestión de desempeño de las partes interesadas durante todo el ciclo de vida del proyecto. En el proyecto, los interesados van desde el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón San Pedro de Pelileo, el director del proyecto y su equipo hasta los socios comerciales, las autoridades correspondientes a las fuentes de financiación, entre otros.

Por ello, se ha efectuado un análisis de sus intereses particulares de cada una de las partes interesadas. La gestión eficiente y exitosa de las partes interesadas requiere de una comunicación asertiva, transparente y permanente. El objetivo final de este apartado es identificar y reconocer la relevancia de cada una de las partes interesadas para lograr con éxito la transición sostenible de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Para conseguir identificar, valorar y gestionar al compendio de partes interesadas, se ha elaborado un análisis detallado de estos en la (Tabla 4-8), que abarca los principales *stakeholders*, desde una primera clasificación acorde a su procedencia.

Tabla 4-8: Identificación de Interesados en el proyecto.

| No. | Interesados | Clasificación |
|-----|---|---------------|
| 1 | Director del proyecto | Interno |
| 2 | Responsable 1 (Ingeniería y Tecnología) | Interno |
| 3 | Responsable 2 (Operaciones y Mantenimiento) | Interno |
| 4 | Responsable 3 (Medio Ambiente y Calidad) | Interno |
| 5 | Responsable 4 (Gestión Financiera y Administrativa) | Interno |
| 6 | Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón San Pedro de Pelileo | Externo |
| 7 | Prefectura del Tungurahua. | Externo |
| 8 | Viceministro de Economía y Finanzas del Gobierno del Ecuador | Externo |
| 9 | Ministro del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador | Externo |
| 10 | Otras fuentes de Financiación (LACIF, CI, CAF) | Externo |
| 11 | Empresas de logística (Amazon, Correos, otros) | Externo |

| No. | Interesados | Clasificación |
|-----|---|---------------|
| 12 | Proveedores del equipamiento de la tecnología AGS-GDM | Externo |
| 13 | Empresa de TI (Informático) | Externo |
| 14 | Empresa de seguridad | Externo |
| 15 | Empresa de software de simulación | Externo |
| 16 | Operarios de la PTAR | Externo |
| 17 | Empresa de consultores ambientales | Externo |

Además, para complementar el análisis de desempeño de los interesados se ha llevado a cabo un estudio detallado a través de la instauración de la matriz poder (P) - interés (I) en una escala de 1 a 10 para asegurar el respaldo eficaz de cada uno de los actores involucrados en el proyecto.

En base a los resultados obtenidos entre el producto de los valores de poder e interés, posteriormente se clasificaron en la escala de 1 a 100 la incidencia de los *stakeholders* según los rangos establecidos:

- Clave: >70
- Principal: 40-70
- Secundario: <40

En la (Tabla 4-9) se muestra a detalle la clasificación efectuada según la herramienta de valoración de los *stakeholders*.

Tabla 4-9: Evaluación de interesados según la Matriz Poder-Interés

| No | ID | P | I | P*I | Clasificación |
|----|----|----|----|-----|---------------|
| 1 | 1 | 10 | 10 | 100 | Clave |
| 2 | 2 | 8 | 6 | 48 | Principal |
| 3 | 3 | 8 | 7 | 56 | Principal |
| 4 | 4 | 8 | 7 | 56 | Principal |
| 5 | 5 | 9 | 8 | 72 | Clave |
| 6 | 6 | 10 | 9 | 90 | Clave |
| 7 | 7 | 9 | 7 | 63 | Principal |
| 8 | 8 | 7 | 8 | 56 | Principal |
| 9 | 9 | 7 | 9 | 63 | Principal |
| 10 | 10 | 7 | 7 | 49 | Principal |
| 11 | 11 | 7 | 3 | 21 | Secundario |
| 12 | 12 | 9 | 8 | 72 | Clave |
| 13 | 13 | 7 | 8 | 56 | Principal |
| 14 | 14 | 2 | 7 | 17 | Secundario |
| 15 | 15 | 6 | 2 | 12 | Secundario |
| 16 | 16 | 7 | 4 | 28 | Secundario |
| 17 | 17 | 6 | 3 | 18 | Secundario |

Adicionalmente, a partir de la matriz Poder – Interés se ha construido un gráfico de ejes para consignar el posicionamiento acorde los parámetros establecidos, y de esta forma encauzar las estrategias a seguir con los interesados seleccionados. En la Figura 4-5 se muestra el gráfico.

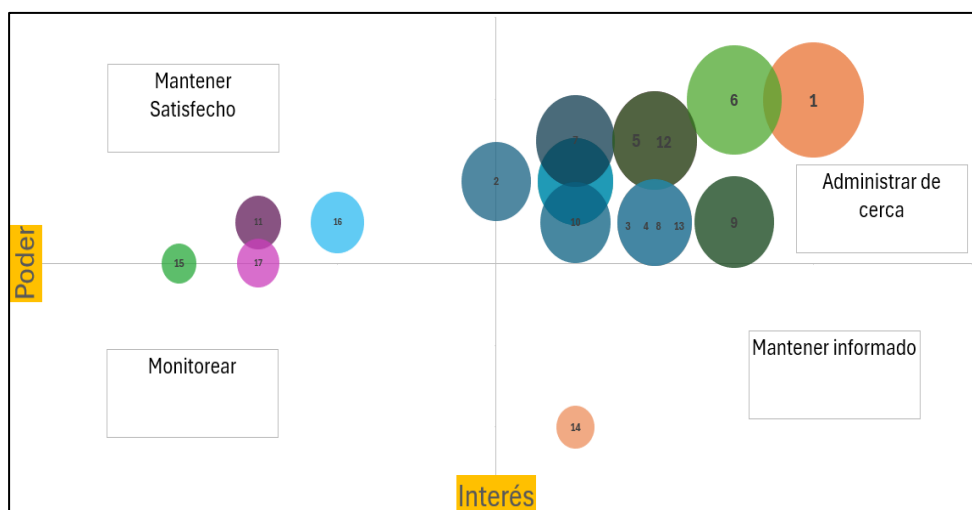


Figura 4-5: Identificación de Interesados según Matriz Poder-Interés. Fuente: Elaboración propia.

Además de la herramienta matriz poder interés, se realizó otra valoración de los *stakeholders* empleando un análisis de las inquietudes, posiciones y estrategias para conseguir su colaboración y involucramiento de tal forma que se aborden sus necesidades y expectativas de manera efectiva.

Este registro de los interesados parte de la identificación del nivel actual y esperado de involucramiento de cada *stakeholder* en el proyecto. Es una herramienta de planificación estratégica para intensificar el grado de compromiso, asegurando que el proyecto se lleve a cabo con los menores riesgos posibles por parte de los interesados. La Tabla 4-10, detalla el registro de interesados, mientras que en la Tabla 4-11 se detallan las estrategias a seguir para conseguir el apoyo requerido de cada uno de ellos.

Tabla 4-10: Registro de interesados.

| No. | Interesados | Inquietudes en el proyecto | Posición actual | Posición deseada |
|-----|--|--|-----------------|------------------|
| 1 | Director del proyecto | Asegurarse de que el proyecto se ejecute con éxito. | A favor | A favor |
| 2 | Responsable Ingeniería y Tecnología | Integración técnica de la tecnología AGS-GDM | A favor | A favor |
| 3 | Responsable 2 (Operaciones y Mantenimiento) | Facilidad de operabilidad y costos de mantenimiento | Neutral | A favor |
| 4 | Responsable 3 (Medio Ambiente y Calidad) | Impacto ambiental positivo, cumplimiento con normativas ambientales. | A favor | A favor |
| 5 | Responsable 4 (Gestión Financiera y Administrativa) | Costos iniciales, retorno de inversión, viabilidad financiera | A favor | A favor |
| 6 | Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón San Pedro de Pelileo (Gabriel Zúñiga) | Beneficios comunitarios, impacto en la población local. | A favor | A favor |
| 7 | Prefectura del Tungurahua | Beneficios comunitarios, impacto en la sociedad. | Neutral | A favor |
| 8 | Viceministro de Economía y Finanzas del Gobierno del Ecuador | Financiamiento, impacto económico nacional. | A favor | A favor |

| No. | Interesados | Inquietudes en el proyecto | Posición actual | Posición deseada |
|-----|--|--|-----------------|------------------|
| 9 | Ministro del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador (José Dávalos) | Cumplimiento con políticas ambientales, impacto ecológico. | A favor | A favor |
| 10 | Otras fuentes de Financiación (LACIF, CI, CAF) | Retorno de inversión, impacto sostenible. | Neutral | A favor |
| 11 | Empresas de logística (Amazon, Correos, otros) | Impacto en la cadena de suministro, costos de transporte | Desconoce | A favor |
| 12 | Proveedores del equipamiento de la tecnología AGS-GDM | Compatibilidad, soporte técnico, costos. | A favor | A favor |
| 13 | Empresa de TI (Informático) | Integración tecnológica, ciberseguridad. | Desconoce | A favor |
| 14 | Empresa de seguridad | Seguridad del sitio y de los datos. | Desconoce | A favor |
| 15 | Empresa de software de simulación | Eficiencia del software, soporte técnico. | Neutral | A favor |
| 16 | Operarios de la PTAR | Cambios en las operaciones diarias, formación necesaria. | Neutral | A favor |
| 17 | Empresa de consultores ambientales | Impacto ambiental y cumplimiento normativo. | Desconoce | A favor |

Tabla 4-11 Estrategias para conseguir apoyo.

| N | Estrategias potenciales para conseguir apoyo |
|----|---|
| 1 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Conservar la comunicación eficaz, transparente y constante |
| 2 | |
| 3 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reducción de costos a largo plazo |
| 4 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mantener la comunicación eficaz, transparente y constante durante todo el proyecto. ▪ Análisis de costos y beneficios detallados. ▪ Garantías de retorno de inversión. ▪ Presentar beneficios sociales y económicos para la comunidad. |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Alinear el proyecto con los planes de desarrollo regional, mostrar impactos positivos en la región. |
| 8 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Demostrar impacto positivo en la economía nacional, buscar financiación verde. ▪ Involucramiento y comunicación eficaz, transparente y constante durante todo el proyecto. |
| 9 | |
| 10 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Proporcionar análisis financieros detallados, asegurar el cumplimiento con sus criterios de sostenibilidad. |
| 11 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fijar acuerdos favorables. ▪ Presentar beneficios a la imagen de la empresa, relacionadas con la RSC. |
| 12 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Comunicación clara y concisa. ▪ Negociar contratos con garantías de soporte. |
| 13 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Desarrollar soluciones tecnológicas a medida, asegurar altos estándares de ciberseguridad. |
| 14 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Implementar sistemas de seguridad robustos, proporcionar formación y planes de contingencia |

| N | Estrategias potenciales para conseguir apoyo |
|----|--|
| 15 | ▪ Integración y pruebas rigurosas, capacitación en el uso del software. |
| 16 | ▪ Programas de formación e Involucrar en el proceso de transición, y demostrar beneficios laborales. |
| 17 | ▪ Asegurar cumplimiento con normativas y certificaciones ambientales. |

4.4.1 Plan de involucramiento de los interesados

Para ello se ha considerado un análisis de únicamente aquellos interesados cuya posición actual es neutral y aquellos que desconocen del contexto del proyecto:

Responsable 2 (Operaciones y Mantenimiento)

Posición actual: Neutral

Estrategias:

- **Capacitación continua:** Programar capacitación sobre de la nueva tecnología.
- **Manuales de operación:** Proveer manuales detallados y guías de mantenimiento.
- **Simulaciones prácticas:** Realizar simulaciones operativas con el personal.

Prefectura del Tungurahua

Posición actual: Neutral

Estrategias:

- **Reuniones informativas:** Realizar reuniones periódicas para mantener informados.
- **Alineación con planes regionales:** Asegurar que esté alineado con el desarrollo regional.
- **Colaboración interinstitucional:** Promover colaboración con entidades gubernamentales.

Otras fuentes de Financiación (LACIF, CI, CAF)

Posición actual: Neutral

Estrategias:

- **Propuestas detalladas:** Preparar y presentar propuestas de financiamiento detalladas.
- **Demostración de sostenibilidad:** Resaltar los aspectos sostenibles y beneficios a largo plazo.
- **Reuniones con financistas:** Deliberar las oportunidades de financiamiento

Empresas de logística (Amazon, Correos, otros)

Posición actual: Desconocedor

Estrategias:

- **Acuerdos logísticos:** Negociar acuerdos que aseguren una logística eficiente y sostenible.
- **Presentación de beneficios:** Demostrar que el proyecto optimiza la cadena de suministro.
- **Colaboración en sostenibilidad:** Promover la colaboración en iniciativas de sostenibilidad.

Empresa de TI (Informático)

Posición actual: Desconocedor

Estrategias:

- **Integración tecnológica:** Involucrar en la integración de sistemas tecnológicos.
- **Seguridad informática:** Asegurar altos estándares de ciberseguridad.
- **Contrato fijo:** Ofrecer un contrato fijo con pago oportuno.

Empresa de seguridad

Posición actual: Desconocedor

Estrategias:

- Negociar contratos concisos con pagos oportunos.
- Involucrar y hacer partícipe del feedback.
- Comunicación oportuna.

Empresa de software de simulación

Posición actual: Neutral

Estrategias:

- Colaborar en el desarrollo y personalización de software de simulación.
- Contratos claros con pagos oportunos.
- Proveer flexibilidad laboral.

Operarios de la PTAR

Posición actual: Neutral

Estrategias:

- Implementar programas de formación y desarrollo de habilidades.
- Involucrar a los operarios en el proceso de transición y recoger su feedback.
- Mantener canales de comunicación abiertos.

Empresa de consultores ambientales

Posición actual: Desconocedor

Estrategias

- Hay que asegurar que el proyecto cumpla con todas las normativas ambientales.
- Establecer un canal de comunicación abierta y concisa
- Ofrecer pagos oportunos y beneficios a largo plazo

4.4.2 Plan de Gestión de las comunicaciones**Tabla 4-12:** Plan de Gestión de las Comunicaciones.

| Contenido | Razón de la comunicación | Destinatario | Canal | Responsable | Frecuencia. |
|---|--|--|--|-----------------------|------------------------------------|
| Introducción y objetivos del proyecto | Dar a conocer el acta de constitución del proyecto. | Todos los <i>stakeholders</i> | Reuniones formales e informes digitales. | Director del proyecto | Inicio del proyecto |
| Información de los <i>stakeholders</i> clave en el proyecto | Analizar en conjunto las responsabilidades y asegurar su involucramiento o para el éxito del proyecto. | Equipo del proyecto y <i>stakeholders</i> claves | Reuniones online y correos | Director del proyecto | Inicio del proyecto |
| Implementación de la tecnología AGS-GDM | Mantener a los <i>stakeholders</i> informados de la evolución. | Equipo del proyecto, operarios. | Informes Reportes Reuniones. | Equipo del proyecto | Diariamente. |
| Contenido | Razón de la comunicación | Destinatario | Canal | Responsable | Frecuencia. |
| Identificación y gestión de riesgos del proyecto | Para mitigar y contrarrestar cualquier eventualidad que impacte al proyecto. | Equipo del proyecto | Informes digitales y reuniones | Director del proyecto | Cuando se identifiquen los riesgos |

| Contenido | Razón de la comunicación | Destinatario | Canal | Responsable | Frecuencia. |
|--|---|--|---|-----------------------|---------------------------------|
| Actualización sobre la entrega y transporte de los equipos a la PTAR | Para asegurar la entrega, calidad y requerimientos de los equipos | Equipo de proyecto Empresa de seguridad y logística | Correos electrónicos Llamadas telefónicas | Director del proyecto | Según sea necesario |
| Puesta en marcha de la tecnología AGS.GDM | Para asegurar la correcta instalación, mantenimiento y operabilidad del sistema | Responsable 1 y 2 | Informes digitales y <i>Meetings</i> | Director del proyecto | Una vez puesta en marcha |
| Información sobre la obtención de permisos, licencias y evaluaciones ambientales | Para asegurar que el proyecto se ejecute con las regularizaciones adecuadas. | Equipo de proyecto Responsable 4 (del ámbito ambiental) | Informes digitales Reportes Permisos y licencias Documentación | Director del proyecto | Según sea necesario y oportuno. |
| Reportes de financiación del proyecto | Para mantener un registro minucioso de los gastos y asegurar la distribución correcta del presupuesto | Responsable 5 | Informes digitales Documentación financiera | Director del proyecto | Mensual |

4.5 Dominio de desempeño entrega

Para asegurar que el proyecto se ejecute de manera efectiva y exitosa con el cumplimiento de los objetivos establecidos, se lleva a cabo un plan de gestión de la calidad con el fin de manejar minuciosamente los entregables en cada paquete de trabajo del proyecto.

En la Tabla 4-13, se muestran los requisitos de cada actividad, junto a las métricas de calidad establecidas para garantizar el desempeño favorable de los mismos.

Posterior se lleva un control riguroso mediante las hojas de verificación en formato *check-list* para corroborar que los requisitos se hayan cumplido acorde a las pautas establecidas, además sirve como herramienta de mitigación ya que permite identificar y corregir eventualidades que puedan afectar al proyecto.

4.5.1 Plan de Gestión de la Calidad

El plan de gestión de la calidad es una fase significativa a nivel del dominio de desempeño de entrega, resulta un recurso sumamente valioso para asegurar resultados satisfactorios en función de las expectativas de los stakeholders, además alinea controladamente con los objetivos del proyecto.

Tabla 4-13: Plan de Gestión de la calidad.

| Paquete de trabajo | Actividad | Requisito | Métrica | Requisito de calidad |
|---------------------------------------|--|---|--|--|
| 10. Gestión | Gestionar durante todo el ciclo de vida del proyecto | Plan de gestión aprobado, recursos asignados | No. de Hitos Cumplidos | Cumplimiento de los hitos del plan del proyecto. |
| | Preparar las solicitudes de permisos y licencias | Listado de permisos y licencias necesarias. | Hoja de Verificación 10.10 | Permisos obtenidos sin errores y en tiempo. |
| | Obtención de permisos y licencias | Las solicitudes deber ser presentadas dentro de los plazos y procesos establecidos. | No. de permisos y licencias obtenidos | Cumplimiento de requisitos legales |
| | Validar los permisos y licencias | Antes de la instalación del sistema AGS-GDM es necesario obtener la aprobación de los <i>stakeholders</i> claves. | Hoja de Verificación 10.10 | Cumplimiento del 100% de permisos verificados con las autoridades competentes. |
| | Gestión de financiación | Plan de financiación aprobado. | 100% de los fondos necesarios asegurados. | Financiamiento acorde al presupuesto y en tiempo. |
| | Preparar solicitudes de financiación | Documentación precisa y completada | 100% de solicitudes preparadas correctamente en el primer intento. | Solicitudes conformes a los requisitos de los financiadores. |
| | Acuerdos y contratos firmados de financiación | Contratos revisados y firmados por las partes interesadas claves. | 100% de contratos firmados sin discrepancias. | Contratos revisados por el equipo legal. |
| 20. Estudios y evaluaciones iniciales | Diagnostico situacional de la PTAR | Informe de diagnóstico inicial. | Hoja de verificación 20.10 | Informe conforme a las metodologías de evaluación estándar. |
| | Identificación de zonas estratégicas de la PTAR | Mapa de zonas estratégicas. | Hoja de Verificación 20.10 | Conformidad con las normativas ambientales. |
| | Monitoreo de efluentes | Informe de monitoreo de la | Hoja de Verificación 20.20 | Datos de monitoreo precisos y |

| Paquete de trabajo | Actividad | Requisito | Métrica | Requisito de calidad |
|---------------------------------|---|---|---|--|
| | | calidad de los efluentes | | verificables por la autoridad pertinente. |
| | Análisis de viabilidad técnica | Informes de viabilidad técnica aprobados | No. de reportes e informes validados | Informe revisado por responsable técnico del equipo de proyecto. |
| 30. Adquisición Sistema AGS-GSM | Diseño del sistema | Se debe obtener la información a detalle de una investigación minuciosa del sistema AGS.GDM | Informe de diseño completado al 100% y No. de reportes de investigación validados | conformidad con los requisitos técnicos y funcionales. |
| | Recolección de requisitos | Informes de requisitos técnicos. | Hoja de Verificación 30.10 | Informe de requisitos validados por las partes interesadas. |
| | Revisión y ajustes de diseño | Se debe obtener la validación de los informes de revisión | 100% de ajustes implementados y validados | Informe con los ajustes conformes con las especificaciones iniciales. |
| | Elección y contratación de proveedores | Se debe obtener ofertas de proveedores fiables | No. de ofertas aprobadas | Aprobación de ofertas por el director de proyecto. Al menos 8 deben ser aprobadas. |
| | Negociación, acuerdos y contrataciones | Se debe establecer acuerdos concisos y transparentes | 100% de contratos firmados | Cumplimiento de requerimientos del proyecto y <i>stakeholders</i> . |
| | Recepción y verificación de la entrega de los equipos | Se debe inspeccionar exhaustivamente los equipos recibidos para asegurar su calidad. | Hoja de Verificación 30.20 | Cumplimiento de especificaciones y requerimientos de los equipos recibidos. |
| 40. Construcción e Instalación | Preparación del sitio | Prepara el área para la instalación del sistema | Zona lista para la instalación | Área libre, segura y lista para permitir el trabajo de instalación |
| | Montaje de equipos | Se debe seguir las pautas establecidas para el montaje de los equipos | Equipos y accesorios encajan correctamente | Todo el equipo montado y asegurado |
| | Conexión de sistemas | Se debe asegurar que todos los | Sistemas habilitados y | Todo el sistema funcional acorde a |

| Paquete de trabajo | Actividad | Requisito | Métrica | Requisito de calidad |
|------------------------------|--|---|--|--|
| | | sistemas funciones correctamente acorde al manual de operabilidad. | funcionando al 100% | los requerimientos técnicos sin errores. |
| | Pruebas de funcionamiento | Se debe asegurar el cumplimiento del plan de pruebas. | Hoja de Verificación 40.10 | Pruebas correctas con los protocolos definidos. |
| | Pruebas integradas del sistema | Se debe asegurar el cumplimiento de las pautas establecidas en el plan de pruebas integradas | N de pruebas completadas y verificadas. | Pruebas aprobadas conformes con los protocolos establecidos. |
| | Corrección de errores | Se debe asegurar que se cumplan las correcciones pertinentes | Hoja de Verificación 40.20 | Correcciones verificadas y aprobadas. |
| 50. Socios comerciales | Empresas de Tecnología y suministro de equipos | Acuerdos y contratos firmados para asegurar el éxito del proyecto. | N de contratos firmados con posibles proveedores el sistema AGS.GDM | 10 a 20 empresas proveedoras de equipos e insumos vinculados con el sistema AGS-GDM |
| | Entidades financieras y de apoyo económico | Contratos firmados. | N de contratos firmados para financiamiento | Todos los acuerdos están finalizados y cumplan con los requisitos del proyecto |
| | Instituciones académicas y de investigación | Alianzas estratégicas cumplidas. | Nª de acuerdos y contratos firmados para asegurar la viabilidad técnica científica del sistema AGS-GDM | 6 instituciones académicas de educación superior que apoyen la investigación del sistema AGS-GDM |
| 60. Capacitación y operación | Desarrollo de programas de capacitación | Los operarios del área de la PTAR deben recibir la formación pertinente para el funcionamiento del sistema. | % de operarios formados que superen la prueba de aprendizaje práctico. | Todos los operarios deben superar las pruebas de aprendizaje, demostrando su competitividad laboral. |
| | Inicio de operaciones | Se debe asegurar el cumplimiento de los parámetros establecidos en el | Nª de actividades realizadas acorde al plan de operaciones en la fecha prevista | Operaciones iniciales validas conforme al plan operacional. |

| Paquete de trabajo | Actividad | Requisito | Métrica | Requisito de calidad |
|--------------------|---|---|--|---|
| | | informe de operaciones. | | |
| | Monitoreo preliminar de las operaciones | Informe de arranque | Hoja de verificación 60.10 | Arranque sin errores significativos. |
| | Ajustes y optimización | Se debe asegurar que el sistema este optimizado para asegurar su funcionalidad a largo plazo. | Hoja de Verificación 60.20 | Ajustes conformes con los requerimientos operativos. |
| | Identificación de mejoras | Se deben establecer las mejoras pertinentes en el caso de ser necesario. | 80% de mejoras identificadas. | Mejoras alineadas con los objetivos del proyecto. |
| 70. Cierre | Elaboración de informes de desempeño | Entrega del informe final. | 100% de informe redactado | Informe revisado y aprobado por las partes interesadas. |
| | Evaluación de impacto ambiental | Informe de impacto ambiental. | N de evaluaciones ambientales aprobadas por la autoridad competente. | Evaluaciones aprobadas conforme a la normativa ambiental. |
| | Documentación de las lecciones aprendidas | Documento de lecciones aprendidas. | Hoja de Verificación 70.10 | Validación de la Documentación precisa y completa. |

4.5.2 Hojas de Verificación

Las hojas de verificación son herramientas imprescindibles en la gestión del dominio desempeño entrega, permite el monitoreo progresivo de los avances en las tareas, asegurando que todas cumplan con las pautas establecidas en el plan de proyecto. Además, permite verificar los estándares de calidad durante todas las etapas o paquetes de trabajo del proyecto, asegurando que se cumplan los requisitos específicos y se identifiquen los problemas potenciales que puedan acarrear amenazas e incidir en riesgos de alto impacto en el proyecto.

La Tabla 4-14 facilita la estandarización de las actividades, validando paulatinamente el cumplimiento de los requisitos de cada uno de los paquetes de trabajo para garantizar la efectividad y el éxito del proyecto.

Tabla 4-14: Hojas de verificación del proyecto.

| HOJA DE VERIFICACIÓN 10.10 | | |
|--|-----------|-----------|
| Responsable (Administración) | | |
| Paso necesario | SI | NO |
| Accesibilidad a la información requerida | | |
| Información validada | | |
| Información incorporada a las solicitudes de permisos y licencias | | |
| Solicitudes de permisos y licencias reguladas acorde a la normativa local | | |
| Solicitudes de permisos y licencias revisadas antes de ser enviadas | | |
| Solicitudes de permisos y licencias enviadas a las autoridades competentes. | | |
| Aprobación de solicitudes por las autoridades correspondientes. | | |
| Monitoreo y seguimiento de solicitudes de permisos y licencias hasta su aprobación total. | | |
| HOJA DE VERIFICACIÓN 20.10 | | |
| Responsable (Administración y Auditor) | | |
| Paso necesario | SI | NO |
| Accesibilidad a las instalaciones y documentación | | |
| Revisión de documentación en orden y correcta | | |
| Inspección visual de las instalaciones | | |
| Evaluación del funcionamiento de los procesos en la PTAR | | |
| Inspección de zonas críticas | | |
| Mapeo de zonas estratégicas | | |
| Verificación del cumplimiento de regulaciones con las normativas ambientales | | |
| Revisión final y aprobación del informe de los hallazgos | | |
| HOJA DE VERIFICACIÓN 20.20 | | |
| Responsable (Administración + Técnico Ambiental) | | |
| Paso Necesario | SI | NO |
| Recolección De muestras de agua residual | | |
| Análisis de las muestras de agua | | |
| Verificación de resultados obtenidos de los análisis | | |
| Validación y síntesis de resultados | | |
| Aprobación de informes por las autoridades correspondientes. | | |
| HOJA DE VERIFICACIÓN 30.10 | | |
| Responsable (Administración + Técnico I) | | |
| Paso Necesario | SI | NO |
| Obtención de información y datos de investigación del sistema y de su compatibilidad con la infraestructura existente. | | |
| Validación de la información por la autoridad pertinente | | |
| Revisión de las normativas locales y regulaciones | | |
| Verificación del cumplimiento de estándares de calidad, ambiental y de seguridad | | |
| Revisión y validación del plan de proyecto | | |
| Registro de actividades y hallazgos | | |

| | | |
|---|-----------|-----------|
| Información periódica sobre los avances | | |
| Validación de avances por las autoridades correspondientes. | | |
| HOJA DE VERIFICACIÓN 30.20 | | |
| Responsable (Operación+ Técnico) | | |
| Paso Necesario | SI | NO |
| Acceso a información de los proveedores | | |
| Validación de información | | |
| Verificación de ficha técnica de los quipos | | |
| Verificación del estado de los equipos, componentes y accesorios | | |
| Validación de documentos de garantía de los equipos | | |
| Programar informes respecto a resultados de prueba en fases posteriores | | |
| Validación de conformidades con las partes interesadas claves. | | |
| HOJA DE VERIFICACIÓN 40.10 | | |
| Responsable de Operación | | |
| Paso Necesario | SI | NO |
| Identificación de componentes y sistemas a probar | | |
| Aseguramiento de que se han cumplido todas las condiciones previas necesarias para las pruebas | | |
| Validación de hoja ruta para empezar las pruebas | | |
| Confirmación de reportes de equipos calibrados y listos para su uso | | |
| Procedimiento detallado de cada prueba | | |
| Validación de pruebas de operación y criterios de aceptación | | |
| Revisión detallada de los informes por parte de las partes interesadas claves | | |
| Entrega de informe de validación al director del proyecto | | |
| HOJA DE VERIFICACIÓN 40.20 | | |
| Responsable de Operación. | | |
| Paso Necesario | SI | NO |
| Validación de errores detectados | | |
| Procedimiento de corrección aplicado para cada error detectado | | |
| Subsanación de errores | | |
| Entrega y validación de informes | | |
| Reporte final consolidados del plan de mitigación con las correcciones pertinentes | | |
| HOJA DE VERIFICACIÓN 60.10 | | |
| Responsable de Operación. | | |
| Paso Necesario | SI | NO |
| Establecimiento de una hoja ruta para el monitoreo de las operaciones durante la periodicidad establecida | | |
| Verificación de parámetros de operación y estado de componentes | | |
| Verificación de condiciones de seguridad satisfactorias | | |
| Presentar informes a las autoridades correspondientes | | |
| Validación de la información por el director del proyecto. | | |
| HOJA DE VERIFICACIÓN 60.20 | | |
| Responsable de Operación. | | |
| Paso Necesario | SI | NO |
| Identificación de problemas detectados durante el monitoreo. | | |

| | | |
|--|-----------|-----------|
| Presentar las acciones correctivas realizadas durante la ejecución del sistema. | | |
| Registrar los resultados obtenidos tras realizar los ajustes | | |
| Documentar los nuevos parámetros de operación optimizados. | | |
| Verificar que los cambios realizados han sido efectivos y están validados. | | |
| Involucrar a los operarios en los ajustes realizados | | |
| Asegurar que la documentación este actualizada conforme a los cambios realizados | | |
| Presentar informe de verificación final para cerrar el ciclo de ajustes | | |
| HOJA DE VERIFICACIÓN 70.10 | | |
| Responsable de Operación. | | |
| Paso Necesario | SI | NO |
| Verificación del plan de cierre del proyecto por parte de los <i>stakeholders</i> | | |
| Seguimiento de objetivos cumplidos del proyecto | | |
| Documentar las lecciones aprendidas durante la implementación y operación del sistema | | |
| Validación de la documentación de lecciones aprendidas | | |
| Registro de éxitos y logros alcanzados a largo del proyecto | | |
| Registro y validación de recomendaciones para futuras implementaciones | | |
| Seguimiento de acciones que deben llevarse a cabo como resultado de las lecciones aprendidas | | |
| Aprobación final y aceptación por las partes interesadas. | | |

4.6 Dominio de desempeño de incertidumbre

Para supervisar el proyecto respecto a las posibles eventualidades que puedan surgir se elabora un plan para la gestión de riesgos que proporciona un control más riguroso, con la ayuda de la matriz de probabilidad e impacto (Tabla 4-15) se procede a clasificar los riesgos identificados al proyecto.

Tabla 4-15: Matriz de probabilidad e impacto (P-I) (Maslennikov et al., 2022).

| | | Amenazas | | | | | Oportunidades | | | | | | |
|--------------|------------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|------------------|--|
| Probabilidad | Muy alta 0,90 | 0,05 | 0,09 | 0,18 | 0,36 | 0,72 | 0,72 | 0,36 | 0,18 | 0,09 | 0,05 | Muy alta 0,90 | |
| | Alta 0,70 | 0,04 | 0,07 | 0,14 | 0,28 | 0,56 | 0,56 | 0,28 | 0,14 | 0,07 | 0,04 | Alta 0,70 | |
| | Mediana 0,50 | 0,03 | 0,05 | 0,10 | 0,20 | 0,40 | 0,40 | 0,20 | 0,10 | 0,05 | 0,03 | Mediana 0,50 | |
| | Baja 0,30 | 0,02 | 0,03 | 0,06 | 0,12 | 0,24 | 0,24 | 0,12 | 0,06 | 0,03 | 0,02 | Baja 0,30 | |
| | Muy baja 0,10 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,08 | 0,08 | 0,04 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | Muy baja 0,10 | |
| | | Muy bajo 0,05 | Bajo 0,10 | Moderado 0,20 | Alto 0,40 | Muy alto 0,80 | Muy alto 0,80 | Alto 0,40 | Moderado 0,20 | Bajo 0,10 | Muy bajo 0,05 | | |

Primero, se detalla un listado de riesgos que se hayan sido detectados previamente junto con sus respectivas estrategias para abordarlos. Para clasificar cada riesgo valorado acorde a su importancia dentro del proyecto se siguen los criterios de la matriz de probabilidad e impacto (Tabla 4-15), esta primera clasificación permite al equipo del proyecto priorizar aquellos que son más significativos y que podrían impactar al éxito del proyecto.

Utilizando la (Tabla 4-15) se van a categorizar los riesgos acordes al grado de probabilidad, el tipo de impacto y la afectación que disponen sobre el proyecto.

La importancia se calcula multiplicando la probabilidad y el impacto. El grado de clasificación se fundamenta bajo el criterio de que, si la importancia está entre 0,01 y 0,07 los riesgos se consideran secundarios, si la importancia está entre 0,08 y 0,2 los riesgos se consideran importantes y los riesgos se consideran prioritarios si el número obtenido es mayor a 0,2.

El criterio de categorizar los riesgos permite priorizar aquellos que tienen mayor impacto en el proyecto y elaborar estrategias de mitigación para gestionarlos con antelación.

La Tabla 4-16, muestra la leyenda de la matriz P-I

Tabla 4-16: Desglose de la leyenda de la matriz P-I.

| LEYENDA | |
|----------------|-------------------------------|
| | Riesgo Secundario |
| | Riesgo Relevante |
| | Riesgo de interés prioritario |

4.6.1 Plan de Gestión de los Riesgos

El plan de gestión de los riesgos resulta una herramienta significativa y crucial en la gestión del proyecto, ayuda a identificar potenciales riesgos que puedan impactar al proyecto, de esta forma gestionarlos con acciones asertivas y preventivas para contrarrestar su incidencia en el ciclo de vida del proyecto.

Este plan de gestión de riesgos facilita la planificación de respuestas adecuadas para los riesgos identificados, asegurado que se dispongan de estrategias oportunas y efectivas para mitigarlos.

Además, proporciona un marco regulatorio simple para darle seguimiento continuo a los riesgos de forma organizada y transparente. Al ser un proyecto con un alto grado de incertidumbre se busca contrarrestar la mayor parte de riesgos que puedan incidir o perturbar el éxito del proyecto.

Con el objetivo de identificar y categorizar los riesgos que puedan incidir con mayor o menor grado en el proyecto, se elabora la Tabla: 4-17, que abarca de forma detallada una valoración de las consecuencias de los riesgos, la probabilidad (P), el impacto (Impact) y la importancia (Import) que tiene cada riesgo identificado y en base a la clasificación de la matriz (P-I) (Tabla: 4-15), se empieza a priorizar los riesgos que necesitan ser atendidos con mayor exactitud.

Y más adelante se detallan las posibles estrategias que se van a emplear para mitigar los riesgos asociados con el impacto dentro del proyecto, y contrarrestados de forma oportuna sin perturbar los requisitos de tiempo, costos y calidad.

Las estrategias planteadas para subsanar los posibles riesgos se encuentran detalladamente en la Tabla 4-18. Todas las estrategias consideradas se enumeran en función de número de cada riesgo considerando que éstas cumplan con los requerimientos del proyecto.

Tabla 4-17: Categorización de los riesgos y posibles estrategias de mitigación.

| No. Riesgo | Riesgo | Consecuencia | P | Impact | Import | Priorización |
|------------|---|---|-----|--------|--------|--------------------------------|
| R01 | Retraso para la financiación correspondiente para el proyecto. | Retrasos a nivel de tiempo. Incidencias a nivel de costos y calidad. | 0,5 | 0,8 | 0,4 | Riesgo de interés prioritario. |
| R02 | Cambios en las regulaciones o leyes en localidad. | Rectificaciones en el proyecto hasta llegar a paralizarlo para evitar sanciones. | 0,1 | 0,8 | 0,08 | Riesgo relevante |
| R03 | Incumplimiento de permisos licencias correspondientes al proyecto. | Afectaciones a nivel económico e impacto en el proyecto, | 0,2 | 0,4 | 0,08 | Riesgo relevante |
| R04 | Carente evaluación situacional de la zona de estudio por trabas burocráticas. | Puede resultar en una mala elección de la zona estratégica para la implementación | 0,2 | 0,3 | 0,06 | Riesgo secundario |
| R05 | No conseguir la aprobación final del sistema en función del diseño. | Podría retrasar el proyecto acorde a lo planificado y afectar a los costos. | 0,3 | 0,2 | 0,06 | Riesgo secundario |
| R06 | Problemas de viabilidad técnica para implementar el nuevo sistema. | Podría afectar al plazo de ejecución del proyecto e impactar costos y calidad. | 0,5 | 0,4 | 0,2 | Riesgo relevante |
| R07 | Retraso en la entrega de equipos | Podría retrasar el incumplimiento del proyecto. | 0,5 | 0,2 | 0,1 | Riesgo relevante |
| R08 | Problemas en el montaje y armada de equipos del nuevo sistema. | Repercusiones en el funcionamiento y mantenimiento a largo plazo. | 0,2 | 0,6 | 0,12 | Riesgo relevante |
| R09 | Falta proveedores del sistema AGS-GDM. | Podría repercutir en el éxito y calidad del proyecto. | 0,6 | 0,8 | 0,48 | Riesgo de interés prioritario |
| R10 | Problemas para transportar los equipos | Podría retrasar el proyecto y aumentar los costos. | 0,6 | 0,7 | 0,42 | Riesgo de interés prioritario |

| No. Riesgo | Riesgo | Consecuencia | P | Impact | Import | Priorización |
|------------|--|---|-----|--------|--------|-------------------------------|
| R11 | Fallo en las negociaciones con Instituciones académicas y de investigación | Podría limitar la cantidad de socios comerciales. | 0,5 | 0,4 | 0,2 | Riesgo relevante |
| R12 | Dificultad en la adquisición de insumos para la instalación del sistema | Retraso en la implementación y posible aumento en los costes | 0,5 | 0,4 | 0,2 | Riesgo relevante |
| R13 | Insuficiente formación y capacitación para los operarios. | Podría afectar al funcionamiento a largo plazo y repercutir en los costes. | 0,3 | 0,2 | 0,06 | Riesgo secundario |
| R14 | Inferencias técnicas con el software de simulación | Podría afectar a la compatibilidad del sistema con las instalaciones existentes | 0,5 | 0,4 | 0,2 | Riesgo relevante |
| R15 | Problemas con las pruebas iniciales | Podría afectar a la funcionalidad del sistema | 0,2 | 0,3 | 0,06 | Riesgo secundario |
| R16 | Fallos en el monitoreo de órdenes de compra | Podría retrasar la entrega de los equipos | 0,3 | 0,2 | 0,06 | Riesgo secundario |
| R17 | Fallas en el sistema de monitoreo y control | Podría afectar a la calidad del proyecto | 0,6 | 0,7 | 0,42 | Riesgo de interés prioritario |
| R18 | Incumplimiento de los servicios subcontratados | Podría afectar al flujo de trabajo del proyecto con sobrecostos y retrasos. | 0,3 | 0,4 | 0,12 | Riesgo relevante |
| R19 | Variaciones negativas en la calidad de los efluentes | Podría traer sanciones e incluso repercusión con la comunidad local. | 0,2 | 0,7 | 0,14 | Riesgo relevante |
| R20 | El proyecto no se ha concretado acorde a lo planificado. | Posible aumento en los costos y cronogramada. | 0,6 | 0,8 | 0,48 | Riesgo de interés prioritario |
| R21 | Intervención por parte de la comunidad aledaña | Podría llegar a retrasar el proyecto o darle una mala imagen. | 0,2 | 0,4 | 0,08 | Riesgo secundario |
| R22 | Mala comunicación entre los <i>stakeholders</i> | Conflicto de interés y retrasos en el proyecto | 0,3 | 0,6 | 0,18 | Riesgo relevante |

| No. Riesgo | Riesgo | Consecuencia | P | Impact | Import | Priorización |
|------------|----------------------|---------------------------------------|-----|--------|--------|------------------|
| R23 | Falta de compromiso. | Podría afectar al éxito del proyecto. | 0,2 | 0,7 | 0,14 | Riesgo relevante |

Tabla 4-18: Estrategias de mitigación a los riesgos.

| No. Riesgo | Respuesta a los riesgos |
|------------|---|
| R01 | Ampliar relaciones estratégicas con diversos inversores capaces de continuar financiando el proyecto en caso de que exista algún retraso de carácter económico. Además, asegurarse de cumplir todos los requerimientos establecidos en los contratos de financiación para evitar postergaciones durante su ejecución. |
| R02 | Mantener en constante actualización la información respecto a las regulaciones y leyes implantadas a nivel regional y local, en el caso de nuevas reformas considerar la vigencia. Tener en cuenta un plan de contingencias para adaptar los cambios al proyecto sin impactar en el plazo y costes. |
| R03 | Verificar que los permisos y licencias estén correctamente emitidos y certificados por las autoridades competentes. Cerciorarse que cumplan el tiempo de vigencia acorde a lo pautado en el proyecto, evitando que esto pueda incidir en el aumento de costes. |
| R04 | Planificar la cantidad de visitas necesarias para recolectar toda la información necesaria, inspeccionar las instalaciones. Contar con los permisos requeridos para acceder a información de carácter administrativa de la zona de estudio. |
| R05 | Verificar la viabilidad técnica del diseño, para ello se deberá detallar un manual claro y conocido de los procesos y sistemas implantados. Además de involucrar a todos los <i>stakeholders</i> en el proceso de diseño, considerar sus opiniones y sugerencias para garantizar un <i>feedback</i> enriquecedor y que aporte valor a los resultados finales del proyecto. |
| R06 | Asegurar previamente un estudio minucioso del sistema AGS- GDM con evidencias y respaldo técnico, además de contar con un especialista en el proceso que asegure la operabilidad del sistema. |
| R07 | Fijar un plan de logística riguroso para la entrega de los equipos, involucrar a partes interesadas claves que aseguren la compra, transporte y entrega de los equipos a la zona del proyecto. Contra con un plan de contingencia en el caso de que exista algún retraso en Aduanas, para ello es necesario entablar la comunicación pertinente con los <i>stakeholders</i> y gestionar con antelación este tipo de eventualidades. |
| R08 | Contar con una manual de montaje de los equipos fácil de entender, muy bien detallado que permita al responsable de operación escalarlo en práctica. Para ello es necesario que el manual esté disponible antes de la llegada del equipamiento, de esta forma los operarios puedan contar con la preparación necesaria al momento de ejecutar el montaje. Además, se deberá asegurar los equipos de carga pesada para levantar, entre otros equipamientos e insumos para el traslado y elevación de los equipos. |
| R09 | Para ello en la fase de investigación se tendría que haber valorado la adquisición del sistema, haber estudiado el mercado y gestionado las comunicaciones pertinentes para establecer los contratos o acuerdos para las provisiones requeridas en el proyecto. |
| R10 | Para evitar problemas en el transporte es necesario asegurar contratos rigurosos con las empresas de logística. Contar con un plan de contingencia |

| | |
|-----|---|
| | sólido en el caso de retrasos imprevistos y asegurar la entrega de los equipos en tiempo y espacio previsto. |
| R11 | Establecer una comunicación clara, otorgar beneficios colectivos y desarrollar buenas relaciones. |
| R12 | Estudiar previamente con profundidad el mercado, valorar la imagen de las entidades proveedoras. Para asegurar que todo se lleve conforme a lo establecido, definir cláusulas claras y rigurosas en los contratos de adquisición |
| R12 | Establecer relaciones estratégicas con diversos proveedores en el caso de eventualidades, monitorizar el mercado, tener un plan de contingencia para el aprovisionamiento de suministros. |
| R13 | Elaborar un plan de formación sólido. Ofrecer las facilidades para la formación continua, hacer partícipe a los operarios en la ejecución del proyecto, valorar sus opiniones para fortalecer el sistema. |
| R14 | Contar con un software robusto, de fácil adaptabilidad con el sistema y las infraestructuras ya existentes. Además de contar con un informático sumamente competente en el manejo de estos sistemas. |
| R15 | Para asegurar que no exista problemas en la fase de pruebas iniciales, los procesos de simulación previamente deben ser rigurosos, posterior contar con el apoyo del personal técnico especializado así como los operarios para subsanar las eventualidades inmediatamente |
| R16 | Desarrollar un plan de seguimientos de pedidos eficientes. Proporcionar los medios necesarios para controlar el rastreo en toda su cadena de transporte de los pedidos realizados y evitar retrasos. Hay que asegurar de que el informático cuente con los medios para monitorear los pedidos realizados, a su vez garantizando la seguridad y éxito del proyecto. |
| R17 | Implementar sistemas de monitoreo continuo para adaptarse rápidamente a las variaciones del entorno y asegurar la calidad del producto final y garantizar una transición sostenible exitosa. |
| R18 | Asegurarse de que los contratos tengan pautados las cláusulas correctamente y que todas las partes interesadas estén de acuerdo con ello. |
| R19 | Asegurarse de que el sistema cumpla eficientemente con el tratamiento, mantener un monitoreo continuo y rigurosos de los efluentes antes de su disposición final. Mediciones regulares de las características físico- químicas y microbiológicas de los efluentes. |
| R20 | Implementar una gestión del proyecto sólida durante todo su ciclo de vida. Poner a disposición los medios y recursos para asegurar que todo se ejecute según lo planificado. Establecer un seguimiento y monitoreo periódico de los avances realizados. |
| R21 | Asegurarse de que, durante la ejecución del proyecto, haya la menor inferencia posible de generar molestias a la población. Involucrar a la comunidad en el proceso para aumentar la aceptación y apoyo. |
| R22 | Fomentar la colaboración entre los miembros del equipo y asegurar su participación en las reuniones periódicamente. Incentivar su participación y cooperación continua, mediante estrategias pautadas en conjunto. |
| R23 | Incentivar su compromiso a participación, pautar condiciones de trabajo claras, que generen beneficio en conjunto alineado con los objetivos y requerimientos del proyecto. |

4.6.2 El valor monetario esperado para eventos de mayor ocurrencia (EVM)

El valor monetario esperado (*Expected Monetary Value, EVM*) es una medida estadística que permite calcular la cifra promedio cuando el escenario futuro incluye sucesos que pueden ocurrir o no. Para medir en términos monetarios el impacto de los eventos más representativos del proyecto, se emplea la fórmula que acoge los parámetros de probabilidad e impacto (1).

$$EVM = P * B \tag{1}$$

La fórmula de EVM describe (P) como la Probabilidad de ocurrencia, multiplicado por (B) que es el Beneficio esperado o conocido previamente como impacto económico (I).

En base a un análisis efectuado de los eventos importantes en el proyecto, esta información nos permite tomar decisiones y priorizar.

En la (Tabla 4-19), se indica el Valor monetario esperado (EVM), para los posibles eventos con mayor impacto y trascendencia en el proyecto.

Tabla 4-19: Valor monetario esperado (EVM) para eventualidades del proyecto.

| Evento | P | I | EVM |
|---|---|---------|-------|
| Falta de proveedores de la tecnología AGS-GDM en el mercado | 8% | -10.000 | -800 |
| Atraso en el suministro de equipos | 5% | -5.000 | -250 |
| Cambio en la regulaciones y normativas | 4% | -7.000 | -280 |
| Mejora en los procesos de tratamiento | 8% | 25.000 | 2000 |
| Fallos en la operabilidad del sistema | 4% | -60.000 | -2400 |
| Problemas con la adaptación del sistema | 3% | -40.000 | -1200 |
| Cambios en el diseño del sistema a instalarse dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales. | Evento con mayor probabilidad de ocurrencia e intereses por los <i>stakeholders</i> | | |

Para ofrecer un panorama más claro del Valor Monetario Esperado (EVM) en el proyecto se ha tomado en consideración una eventualidad con probabilidad de ocurrencia y mayor significancia por parte de los *stakeholders* referente a los cambios en el diseño del sistema, por el grado de complejidad y simplificación (Figura: 4-6). Para calcular el valor monetario esperado (EVM), en este evento multiplicamos la probabilidad de ocurrencia por el impacto final, en función del porcentaje de cada una de las causas, en la que podría darse este cambio y su incidencia al final para cada nodo (2).



Figura 4-6: Diagrama tipo AON para el cálculo del EVM del cambio en el diseño del sistema AGS-GDM. Fuente: Elaboración propia.

$$\text{EVM} = \text{Complejidad} = \text{EVM inicial} + \text{EVM mitad} \quad (2)$$

$$\text{EVM} = 0,30 * (-30.000) + 0,25 * (-18.000) = -13.500$$

$$\text{EVM} = 0,08 * 50.000 + 0,5 * (-13.500) = -63.500$$

Para esta eventualidad, el Valor Monetario Esperado (EVM), deriva con un valor negativo, por lo que se espera que el impacto con el cambio en el diseño del sistema sea más del 50% en pérdida financiera para el proyecto, por lo que se recomienda regirse rigurosamente a las pautas establecidas en las fases de investigación, diseño y desarrollo de la tecnología antes de implementarla operacionalmente en la planta de tratamiento. A esto se le suma el hecho de que existe una planificación detallada de los paquetes de trabajo que siguen una secuencialidad inmutable bajo responsabilidad del director del proyecto.

4.7 Dominio de desempeño trabajo del proyecto

Dentro de la gestión del proyecto se aborda de forma completa la administración y ejecución de los recursos para garantizar eficazmente su empleabilidad real en el proyecto. Para facilitar la gestión de los recursos, el dominio de desempeño del trabajo dentro del PMBOK 7ma edición propone como herramienta la matriz de asignación de responsabilidades (RACI) para cada actividad, donde se precisa y detallan los roles del equipo de proyecto.

La finalidad de la matriz RACI, es monitorear el rol de cada miembro y comprobar que las tareas se hayan completado correctamente con sus respectivos entregables para evitar retrasos durante la ejecución del proyecto.

Además, este dominio establece un Plan de Gestión de las Adquisiciones, que consigna un listado de todos los insumos, equipos o materiales necesarios para la implantación del sistema AGS-GDM dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Este Plan de Gestión de las Adquisiciones, define una serie de criterios de aceptación para contratar a los proveedores idóneos que cumplan con requisitos establecidos en el proyecto y este se ejecute con éxito.

4.7.1 Asignación de Responsabilidades

Para establecer los roles del equipo en función de las actividades asignadas a cada miembro, se desarrolló la matriz de responsabilidades (RACI), presentada en la (Tabla 4-20). En esta matriz, se desglosa la parte de recursos humanos, los principales responsables (R) a cargo de actividades representativas que marcan los distintos paquetes de trabajo (EDT), los principales responsables dentro del proyecto son:

- D: director del proyecto.
- R 1: (Ingeniería y Tecnología)
- R 2 (Operaciones y Mantenimiento)
- R 3 (Medio Ambiente)
- R 4 (Gestión Financiera y Administrativa).

Además, en la matriz de asignaciones RACI (Tabla 4-20), se especifican las siguientes asignaciones:

- R = *Responsible* (persona responsable de ejecutar la tarea)

- A=Accountable (persona con responsabilidad última sobre la tarea)
- C = Consult (persona a la que se consulta sobre la tarea)
- I = Inform (persona a la que se debe informar sobre la tarea).

Los roles asignados previamente en el plan de gestión de los recursos humanos, se efectuó en función de la complejidad y carga de trabajo que engloba el proyecto.

Tabla 4-20: Matriz de asignaciones RACI del proyecto.

| No. | No. EDT | Actividades | D | R 1 | R 2 | R 3 | R 4 |
|-----|----------|--|------|------|------|------|------|
| 1 | 10 | Gestión | | | | | |
| 2 | 10.1 | Gestionar durante todo el ciclo de vida del proyecto | A, R | C, I | C, I | C, I | C, I |
| 3 | 10.10 | Preparar las solicitudes de permisos y licencias | A, I | I | I | R | A, R |
| 4 | 10.10.10 | Obtener las solicitudes de permisos y licencias | A, I | I | I | R | R |
| 5 | 10.10.20 | Validar los permisos y licencias | A, R | I | I | C, I | C, I |
| 7 | 10.20.10 | Preparar solicitudes de financiación | A, R | I | I | I | R |
| 8 | 10.20.20 | Acuerdos y contratos firmados de financiación | A, R | I | I | I | R |
| 9 | 20. | Estudios y evaluaciones iniciales | | | | | |
| 10 | 20.10 | Diagnostico situacional de la PTAR | I | R | R | A, I | I |
| 11 | 20.10.10 | Identificación de zonas estratégicas de la PTAR | I | R | C | C | I |
| 12 | 20.10.20 | Monitoreo de efluentes | I | R | I | A, R | I |
| 14 | 30. | Adquisición Sistema AGS-GSM | | | | | |
| 15 | 30.10 | Diseño del sistema | I | R | R | I | I |
| 16 | 30.10.10 | Recolección de requisitos | I | C | R | I | I |
| 19 | 30.10.40 | Elaboración de planos finales | I | C, A | R | I | I |
| 20 | 30.20 | Elección y contratación de proveedores | A, R | C | I | I | R |
| 26 | 30.30 | Adquisición y entrega de equipos | I | C | R | | R |
| 27 | 30.30.10 | Emisión y coordinación de órdenes de pedido para su entrega en el sitio del proyecto | I | R | R | | R |
| 28 | 30.30.20 | Recepción y verificación de la entrega de los equipos | I | C | R | I | I |
| 29 | 30.30.30 | Inspección de equipos e insumos recibidos | I | C, I | R | I | I |
| 30 | 40 | Construcción e Instalación | | | | | |
| 31 | 40.10 | Preparación del sitio | I | I | R | I, A | I |
| 32 | 40.20 | Instalación de equipos | I | C, I | R | I | I |
| 33 | 40.20.10 | Montaje de equipos | I | I | R | I | I |
| 34 | 40.20.20 | Conexión de sistemas | I | R | R | I | I |
| 35 | 40.20.30 | Pruebas iniciales de instalación | I | R | R | I | I |
| 36 | 40.30 | Pruebas de funcionamiento. | I | R | R, A | I | I |

| | | | | | | | |
|----|----------|--|------|---------|---------|---------|---------|
| 37 | 40.30.10 | Ensayos y verificación componentes | I | C, I | R | I | I |
| 38 | 40.30.20 | Pruebas integradas del sistema | I | R A | R | I | I |
| 39 | 40.30.30 | Corrección de errores | I | I | R | I | C |
| 40 | 50 | Socios comerciales | | | | | |
| 41 | 50.10 | Empresas de Tecnología y suministro de equipos. | R, A | I | I | I | R |
| 42 | 50.20 | Entidades financieras y de apoyo económico. | R, A | I | I | I | R |
| 43 | 50.30 | Instituciones académicas y de investigación. | R, A | I | I | I | I |
| 44 | 60 | Capacitación y operación | | | | | |
| 45 | 60.10 | Desarrollo de programas de capacitación | A | I | R | I | I |
| 46 | 60.10.10 | Diseño de programas de capacitación | A, I | I | R | I | I |
| 47 | 60.10.20 | Elaboración de materiales didácticos | C, A | I | R | I | I |
| 48 | 60.10.30 | Implementación de sesiones de capacitación | C, A | I | R | I | R |
| 49 | 60.20 | Inicio de operaciones | I | I | R | I | I |
| 51 | 60.20.20 | Monitoreo preliminar de las operaciones | A | I | R | I | I |
| 52 | 60.20.30 | Breves ajustes del funcionamiento | C, A | I | R | I | I |
| 53 | 60.30 | Ajustes y optimización | I | A | R | I | I |
| 54 | 60.30.10 | Evaluación del rendimiento | C, A | I | R | I | I |
| 55 | 60.30.20 | Identificación de mejoras | I | R | R | I | I |
| 56 | 60.30.30 | Implementación de ajustes | A | R | R | I | I |
| 57 | 70 | Cierre | | | | | |
| 58 | 70.10 | Elaboración de informes de desempeño | A, R | C, I | C, I | I | C, I |
| | 70.20 | Evaluación de impacto ambiental | A, R | I | I | R | I |
| 59 | 70.20.10 | Compendio de datos ambientales antes, durante y después del proyecto | A, R | I | C, I | R | I |
| 60 | 70.20.20 | Análisis de los efectos del proyecto sobre el medio ambiente | A, R | I | I | C, I | I |
| 61 | 70.20.30 | Redacción del informe final para su revisión y aprobación | A, R | I | I | I | C, I |
| 62 | 70.30 | Informes finales del proyecto | A, R | C, I | C, I | C, I | C, I |
| 63 | 70.30.10 | Documentación de las lecciones aprendidas y las recomendaciones | R, A | C, I | C, I | C, I | C, I |
| 64 | 70.30.20 | Revisión y aprobación del informe por las partes interesadas | R, A | C, I | C, I | C, I | C, I |

4.7.2 Plan de Gestión de las Adquisiciones.

Todas las subcontrataciones para efectuarse se ejecutarán a través del responsable de Administración, el cual está a cargo de gestionar las subcontrataciones de los paquetes de trabajo correspondientes al proyecto, considerando comunicar previamente con los responsables de cada área para solicitar el compendio de información necesaria para las adquisiciones correspondientes.

Como primera parte se ha desarrollado una matriz para la toma de decisiones respecto recurso, material o servicio que se va o no a subcontratar, apreciable en la (Tabla: 4-21).

Tabla 4-21: Matriz para la toma de decisiones en adquisiciones.

| No. EDT | Actividad | Decisión |
|---------|---|--------------------|
| 10. | Gestionar en todo el ciclo del proyecto. | Realización propia |
| | Gestionar solicitudes para permisos. | Realización propia |
| | Obtención de permisos y licencias. | Realización propia |
| | Validar los permisos y licencias. | Realización propia |
| | Gestión de la financiación. | Realización propia |
| | Preparar solicitudes de financiación. | Realización propia |
| | Acuerdos y contratos firmados. | Realización propia |
| 20. | Diagnóstico situacional de la PTAR. | Realización propia |
| | Identificar zonas estratégicas. | Realización propia |
| | Monitoreo de la calidad de los efluentes. | Realización propia |
| | Análisis de viabilidad técnica. | Realización propia |
| 30. | Diseño del sistema AGS-GDM. | Subcontratado |
| | Recolección de requisitos. | Realización propia |
| | Revisión y ajustes de diseño. | Subcontratado |
| | Elección y contratación de proveedores. | Realización propia |
| | Negociación, acuerdos y contrataciones. | Realización propia |
| | Recepción y verificación de equipos. | Realización propia |
| 40. | Preparación del sitio. | Realización propia |
| | Montaje de equipos. | Subcontratado |
| | Conexión de sistemas. | Subcontratado |
| | Pruebas de funcionamiento. | Subcontratado |
| | Pruebas integradas del sistema. | Subcontratado |
| | Corrección de errores. | Realización propia |
| 50. | Empresas de Tecnologías y equipos. | Realización propia |
| | Entidades financieras y de apoyo económico | Realización propia |
| | Instituciones académicas y de investigación | Realización propia |
| 60. | Desarrollo de programas de capacitación. | Realización propia |
| | Inicio de operaciones, pruebas iniciales. | Realización propia |
| | Monitoreo preliminar de las operaciones | Realización propia |
| | Ajustes y optimización | Realización propia |
| | Identificación de mejoras | Realización propia |
| 70. | Elaboración de informes de desempeño | Realización propia |
| | Evaluación de impacto ambiental | Realización propia |
| | Documentación de las lecciones aprendidas | Realización propia |

La correcta implantación del sistema AGS-GDM en la planta de tratamiento, debe asegurarse por parte del responsable de Administración en conjunto con el responsable 2 (Operaciones y Mantenimiento) efectuar las compras correspondientes para la instalación de los equipos, herramientas e insumos bajo una serie de especificaciones que se encuentran a detalle en la (Tabla: 4-22), donde se desglosa los recursos necesarios y especificaciones respecto a las adquisiciones. Los parámetros considerados para llevar a cabo las adquisiciones correspondientes sugieren especificar el motivo de la subcontratación, el equipo o servicio a contratar y la definición previa de si es o necesario hacerlo, considerando las sugerencias de cada miembro del equipo, así como de los stakeholders clave dentro del proyecto.

Tabla 4-22: Especificaciones de las adquisiciones del proyecto.

| Código EDT: 30 | | Adquisición Sistema AGS-GSM | |
|--------------------------------|---------------|--|--|
| Actividad | ¿Adquisición? | Equipo/ Servicio | Motivo subcontratación |
| Diseño del sistema | Si | Personal capacitado en el diseño de sistemas hídricos | Falta de especialización técnica en el diseño del sistema AGS-GDM |
| Revisión y Ajustes del diseño | Si – Compra. | Controladores y PLCs (<i>Controladores Lógicos Programables</i>) Sensores y Medidores | Para la automatización de los procesos y ajustes necesarios del sistema AGS-GDM. |
| Trasporte del equipamiento | Si | Equipo de logística y Transporte | Para trasladar los equipos e insumos necesarios para la implementación del sistema en la planta. |
| Código EDT: 40 | | Construcción e Instalación | |
| Actividad | ¿Adquisición? | Equipo/ Servicio | Subcontratación |
| Montaje de equipos | Si - Compra | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 1 reactor AGS ✓ membranas GDM ✓ Sistemas de Aireación (ya dispone la planta) ✓ Sistemas de Recirculación y Bombeo | <ul style="list-style-type: none"> • Se comprará los equipos e insumos correspondientes para armar el sistema AGS-GDM. • Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, se va a comprar equipos e insumos de buena calidad. |
| Conexión de sistemas | Si. Compra | Tanques y Estructuras de Contención Sistemas de Tuberías y Conexiones | |
| Pruebas de funcionamiento | Si | Sistemas SCADA (<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>): | Para la supervisión y control en tiempo real. |
| Pruebas integradas del sistema | Si | Proveedor de Productos Químicos | Si es necesario, para la operación del sistema. |

4.7.3 Criterios de Selección de las Adquisiciones

Para facilitar la selección de los proveedores acorde a los requerimientos establecidos en el proyecto, se establecieron unos determinados criterios de aceptación para los recursos físicos y humanos bajo los parámetros establecidos en la (Tabla 4-23). Los recursos físicos se valoran en base a la disponibilidad, costo y calidad para asegurar el cumplimiento de las especificaciones de los productos adquiridos respecto a los requisitos técnicos y funcionales del proyecto. Además, se asegura que las adquisiciones se realicen dentro del presupuesto y plazo establecido, evitando sobrecostos y retrasos en el proyecto.

Tabla 4-23: Leyenda para los criterios de aceptación de las adquisiciones.

| RECURSO FÍSICO | | | RECURSO HUMANO | | |
|---|------------------------|-----------------------------|---|---------------|-----------------------------|
| Criterio | Clasificación | Cumple (1) No Cumple (0) | Criterio | Clasificación | Cumple (1) No Cumple (0) |
| Disponibilidad | Inmediata | | Experiencia | Alta | |
| | Tardía | | | Media | |
| Costo | Dentro del presupuesto | | | Baja | |
| | Fuera del presupuesto | | Conocimiento | Alta | |
| Calidad | Alta | | | Media | |
| | Media | | | Baja | |
| | Baja | | Habilidad | Alta | |
| | | Media | | | |
| | | Baja | | | |
| RESULTADOS | | | | | |
| RANGO 2-3 Recurso Optimo. RANGO 0-1 Cambiar Recurso. | | | RANGO 3 -4 Personal idónea. RANGO 2-3 Liberar personal. RANGO 0-1 Cambiar personal. | | |

En la (Tabla 4-24), se aprecia una matriz descriptiva de cómo se realizará la valoración de los distintos proveedores para garantizar la ejecución exitosa del proyecto y asegurar satisfactoriamente los resultados de este, además se especifica de forma detallada en la sección de notas, los requerimientos necesarios para adquirir los recursos en cada paquete de trabajo necesarios.

Tabla 4-24: Matriz de valoración para las adquisiciones.

| CÓDIGO EDT: 30 | | Adquisición Sistema AGS-GSM |
|--|---|-----------------------------|
| Denominación: Contratación de personal capacitado para el Diseño del Sistema | | |
| Responsable: (Ingeniería y Tecnología) | | |
| PROVEEDORES: | NOTAS: Previamente efectuada una fase de investigación exhaustiva y valorado la situación actual de la planta de tratamiento. Procede a la contratación de un especialista en el diseño e implementación de tecnologías hídras con especial enfoque en los sistemas AGS-GDM para el proyecto. Se encargará de estudiar a detalle los requerimientos y las adaptaciones necesarias para la implantación exitosa del sistema en las instalaciones de la PTAR. | |
| Precio objetivo: | | |
| Precio presupuestado: | | |
| Plazo requerido: | | |
| CRITERIOS DE ACEPTACIÓN | | |
| EXPERIENCIA | ALTA | CUMPLE: |
| CONOCIMIENTO | ALTA | CUMPLE: |
| HABILIDAD | MEDIA | CUMPLE: |
| | | TOTAL: |
| Denominación: Compra de medidores y sensores. | | |
| Responsable: responsable 2 (Operaciones y Mantenimiento) | | |

| | | |
|--|--|---------------|
| PROVEEDORES: | NOTAS: Se comprará los siguientes equipos: un sensor de ultrasonido para medir el nivel de agua en los tanques de la PTAR, un sensor de calidad del agua y un sensor de proximidad para monitorear la posición de las válvulas y otros componentes móviles del sistema. Además, se contratará PLC para la gestión de entradas y salidas de los sensores. | |
| Precio objetivo: | | |
| Precio presupuestado: | | |
| Plazo requerido: 15 antes del evento | | |
| CRITERIOS DE ACEPTACIÓN | | |
| EXPERIENCIA | ALTA | CUMPLE: |
| COSTO | FUERA DE PRESUPUESTO | NO CUMPLE: |
| DISPONIBILIDAD | INMEDIATA | CUMPLE: |
| | | TOTAL: |
| Denominación: Contratación del equipo de logística y transporte. | | |
| Responsable: Administración. | | |
| PROVEEDORES: | NOTAS: Se contratará a un equipo de logística encargada del transporte y movilidad de los equipos, una vez gestionando la compra de esta desde el punto de recogida, embarque hasta la llegada a las instalaciones de la PTAR. Se contará con un equipo de alta experiencia según el mercado, además de ello, se valorará previamente su imagen corporativa respecto a la responsabilidad social para alinear a los requerimientos de sostenibilidad que persigue el proyecto. | |
| Precio objetivo: | | |
| Precio presupuestado: | | |
| Plazo requerido: | | |
| CRITERIOS DE ACEPTACIÓN | | |
| EXPERIENCIA | ALTA | CUMPLE: |
| COSTO | FUERA DE PRESUPUESTO | NO CUMPLE: |
| DISPONIBILIDAD | INMEDIATA | CUMPLE: |
| | | TOTAL: |
| CÓDIGO EDT: 40 | Construcción e Instalación | |
| Denominación: Compras para el montaje de equipos. | | |
| Responsable: Operaciones y Mantenimiento. | | |
| PROVEEDORES: | NOTAS: Esa etapa de adquisición es una de las más significativas dentro del proyecto, ya que se efectuará las compras correspondientes según el diseño y esquematización dispuesta en los requerimientos del proyecto. Se va a considerar a los proveedores que proporcionan los accesorios y complementos que faciliten el montaje de los equipos. Los equipos que adquirir son: | |
| Precio objetivo: | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 rector AGS. ▪ 2 membranas GDM ▪ 2 bombas de recirculación de lodos (peristáltica y neumática) ▪ 1 bomba centrífuga ▪ 1 bomba sumergible ▪ 1 caudalímetro | |
| Precio presupuestado: | (Es crucial seleccionar las bombas adecuadas en función de las características del agua residual, por lo que el monitoreo previo es importante en esta decisión) | |
| Plazo requerido: | | |
| CRITERIOS DE ACEPTACIÓN | | |
| EXPERIENCIA | ALTA | CUMPLE: |

| | | |
|---|---|---------------|
| COSTO | FUERA DE PRESUPUESTO | NO CUMPLE: |
| DISPONIBILIDAD | INMEDIATA | CUMPLE: |
| | | TOTAL: |
| Denominación: Compras para la conexión de sistemas. | | |
| Responsable: Operaciones y Mantenimiento. | | |
| PROVEEDORES: | NOTAS: Para la compra de los sistemas de conexión se tiene previsto: | |
| Precio objetivo: | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 tanque de clarificación ▪ Tuberías galvanizadas ▪ Estructuras de contención | |
| Precio presupuestado: | Y otros sistemas de conexión hídricas establecidas previamente en los | |
| Plazo requerido: | parámetros y medidas diseño del proyecto. | |
| CRITERIOS DE ACEPTACIÓN | | |
| EXPERIENCIA | ALTA | CUMPLE: |
| COSTO | FUERA DE PRESUPUESTO | NO CUMPLE: |
| DISPONIBILIDAD | INMEDIATA | CUMPLE: |
| | | TOTAL: |
| Denominación: Contratación para las pruebas de funcionamiento | | |
| Responsable: Operaciones y Mantenimiento. | | |
| PROVEEDORES: | Nota: Se contratará a un proveedor especializado en sistemas de monitoreo en plantas de tratamiento de aguas residuales, sobre todo con enfoque en sistemas SCADA (<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>), para posteriori con la colaboración del informático se realicen las conexiones pertinentes para supervisar y controlar en tiempo real las primeras pruebas de funcionamiento del sistema. La planta ya cuenta con un software de monitorización, por lo que el sistema se adaptaría al software ya existente para dar seguimiento a los parámetros de operación en simbiosis con el nuevo sistema. | |
| Precio objetivo: | | |
| Precio presupuestado: | | |
| Plazo requerido: | | |
| CRITERIOS DE ACEPTACIÓN | | |
| EXPERIENCIA | ALTA | CUMPLE: |
| COSTO | FUERA DE PRESUPUESTO | NO CUMPLE: |
| DISPONIBILIDAD | INMEDIATA | CUMPLE: |
| | | TOTAL: |
| Denominación: Contratación para pruebas integradas del sistema | | |
| Responsable: Operaciones y Mantenimiento. | | |
| Proveedores: | Nota: Se contratará a un proveedor que nos suministre de insumos para las pruebas integradas considerado que los productos sean biodegradables para evitar alteraciones con el sistema AGS-GDM. Así mismo deberán asegurar el transporte seguro, eficiente y efectivo de los insumos. | |
| Precio objetivo: | | |
| Precio presupuestado: | | |
| Plazo requerido: | | |
| CRITERIOS DE ACEPTACIÓN | | |
| EXPERIENCIA | ALTA | CUMPLE: 1 |

| | | |
|----------------|-----------------------|---------------|
| COSTO | FUERA DEL PRESUPUESTO | NO CUMPLE: 0 |
| DISPONIBILIDAD | INMEDIATA | CUMPLE: 1 |
| | | TOTAL: |

4.8 Dominio de desempeño medición

Este último enfoque es el filtro para garantizar el desempeño y éxito del proyecto, abarca progresivamente la valoración de las actividades establecidas en los paquetes de trabajo. Para ello, es imprescindible fijar una serie de métricas que permitan medir el avance del proyecto, actualizar la información continuamente y monitorear durante todo su ciclo de vida hasta culminar con el cierre.

Para fortalecer el dominio de desempeño de medición se aconseja formar un consorcio entre otros dominios, como el presupuesto, plazo y los recursos. Estos dominios convergen en el espacio-tiempo para dar un seguimiento real de la duración de las actividades en el plazo, coste y recursos empleados hasta el momento. Para determinar el desempeño, se utilizan los siguientes recursos para la recolección y análisis de la información recopilada:

4.8.1 Gráfica de evolución del trabajo

Un gráfico de avance es una representación gráfica del trabajo restante para un proyecto y el tiempo restante para completarlo. El (Gráfico 4-7), expone la planificación minuciosa y detallada de las horas empleadas al mes o incluso podría proyectarse a lapsos de tiempo más extensos, todo dependiendo del criterio establecido para medir la duración del proyecto.

Partiendo desde que los datos serán considerados reales desde que el proyecto de inicio, estos serán considerados para construir progresivamente la gráfica en tiempo real. Esta gráfica conocida también como *Burndown chart* permite al equipo de proyecto visualizar si se ha retrasado alguna actividad o adelantado el trabajo para garantizar el éxito del proyecto.

El gráfico de *Burndown* permite una visualización sencilla de cómo avanza el trabajo, básicamente indica si el trabajo restante real está por delante (se visualiza por debajo) o por detrás (se visualiza por encima) de la línea de trabajo restante ideal (la línea recta) o también llamada *Ideal Burndown*.

manera que se ejecute acorde a lo dispuesto en los requerimientos y se corrija a tiempo cualquier inobservancia o perturbación que impacte al proyecto. Los parámetros considerados para este formato son: actividades de los paquetes de trabajo, decisión de si aplica o no el formato de control, observaciones y responsable (R).

Tabla 4-25: Formato para el plan de vigilancia controlado.

| No. EDT: 30 | | Adquisición Sistema AGS-GDM | |
|---|---------------|---|----------|
| Fecha: | | Versión: | |
| Dimensionamiento y diseño | Aplica | Observaciones | R |
| Determinar el caudal de diseño y la capacidad de tratamiento requerida. | SI | En la fase de diseño se debe asegurar recopilar esta información. | R1 |
| Evaluar las necesidades de espacio y las modificaciones estructurales necesarias en la PTAR existente | SI | La fase de diagnóstico situacional debe cumplirse conforme el plan de proyecto | |
| Otras especificaciones: | SI | Especificar a detalle las observaciones. | |
| Selección de equipos y tecnología | Aplica | Observaciones | R |
| Elegir membranas adecuadas para el sistema GDM y garantizar su integración con el proceso AGS | SI | Las membranas deben cumplir con los requerimientos establecidos previamente en la fase de investigación y diseño. | R2 |
| Evaluar la durabilidad y eficiencia de los equipos en términos de energía y mantenimiento | SI | Deben tener una certificación de garantía y haber pasado la fase de pruebas iniciales. | |
| Emplear herramientas de simulación para predecir el rendimiento del sistema AGS-GDM. | SI | Con la colaboración del informático se debe integrar al sistema existente en la planta. | |
| Otras especificaciones: | SI | Especificar a detalle las observaciones. | |
| Proveedores y contrataciones | Aplica | Observaciones | R |
| Es necesario que nuestros proveedores cumplan con los requisitos de aceptación en plazo, tiempo y costes. | Si | Los requisitos se han fijado en el paquete de trabajo de la gestión de la calidad. | R2 |
| Es necesario que los proveedores certifiquen una garantía de al menos un plazo de 8 años. | Si | Especificar a detalle las observaciones | R4 |
| Es necesario que los proveedores doten de medios para transportar. | No | Ya contamos con un equipo de logística | - |

| Proveedores y contrataciones | Aplica | Observaciones | R |
|--|---------------------------------|---|----|
| Es necesario que los proveedores cuenten en su modelo de negocio con responsabilidad social corporativa. | No | Esto depende del mercado y el análisis interno del equipo. | R4 |
| Es necesario la verificación de un auditor externo para valora que los equipos | No | No aplica | - |
| Es necesario que el recurso humano contratado para determinas tareas cuenten con al menos 5 años de experiencia en el mercado | No | No aplica | - |
| Es necesario que el recurso humano tenga la especialización correspondiente. | Si | Equivalente a un título de cuarto nivel. | R4 |
| Otras especificaciones: | SI | Aquí se tomará en consideración otras sugerencias del <i>feedback</i> realizado a nivel interno con el equipo de proyecto y se ampliará la matriz si fuese necesario. | D |
| No. EDT:60 | Capacitación y operación | | |
| Fecha: | Versión: | | |
| Capacitación y Formación | Aplica | Observaciones | R |
| Es necesario la formación y entrenamiento de todo el personal operativo y técnico sobre el funcionamiento del sistema AGS-GDM. | SI | Los operarios deben pasar las pruebas de conocimiento y practica para acreditar la formación exitosa. | R2 |
| Es necesario fortalecer actividades educativas para familiarizar al equipo con nuevas tecnologías. | No | Enfocarse en prácticas sostenibles | |
| Otras especificaciones: | SI | Especificar a detalle las observaciones. | D |

4.8.3 Monitorización del Método del valor ganado / Earned Value Method.

El **PMBOK 7** propone la metodología del valor ganado para realizar el respectivo seguimiento y monitorización de los costes en el proyecto. La metodología del valor ganado es un recurso de gestión, que combina parámetros vinculados con el alcance, cronograma y costos con el fin de evaluar el desempeño del proyecto de forma íntegra. En la (Tabla 4-26), se muestra a detalle los parámetros considerados para efectuar la valoración de los costes bajo un criterio de temporalidad (S), las tareas correspondientes a cada paquete de trabajo, y los componentes de control del valor ganado (EV, AC, CV y SV).

Esta metodología facilita al director identificar y medir el progreso, desempeño y predicciones futuras del proyecto en base a datos cuantificables. Los principales componentes del EVM son:

- **Planned Value (PV):** Valor planificado. Es el costo presupuestado para el trabajo programado hasta un momento específico.
- **Earned Value (EV):** Valor ganado. Es el costo presupuestado del trabajo efectivamente realizado hasta un momento específico.
- **Actual Cost (AC):** Costo actual. Es el costo real incurrido para el trabajo realizado hasta un determinado momento.
- **Cost Variance (CV):** Varianza en costes. Es la diferencia entre lo que se debería haber gastado y lo que realmente se ha gastado. Se calcula empleando la formula (3).
- **Schedule Variance (SV):** Varianza en programación. Es la diferencia entre el trabajo culminado hasta el momento de control y el planificado hasta esa fecha. Se calcula utilizando la formula (4).

$$CV = EV - AC \quad (3)$$

$$SV = EV - PV \quad (4)$$

Tabla 4-26: Matriz de valoración de costos según la metodología del valor ganado (EVM).

| S | Tareas | PV | EV | AC | CV | SV |
|---|---|-------------|----|----|----|----|
| | Proyecto | \$2,570,000 | | | | |
| | Gestión | \$250,000 | | | | |
| | Gestionar durante todo el proyecto | \$250,000 | | | | |
| | Obtención de permisos y licencias | \$100,000 | | | | |
| | Preparar permisos y licencias | \$30,000 | | | | |
| | Validar los permisos y licencias | \$70,000 | | | | |
| | Gestión de financiación | \$150,000 | | | | |
| | Preparar solicitudes de financiación | \$50,000 | | | | |
| | Contratos firmados de financiación | \$100,000 | | | | |
| | Estudios y evaluaciones iniciales | \$200,000 | | | | |
| | Diagnostico situacional de la PTAR | \$50,000 | | | | |
| | Identificación de zonas estratégicas | \$25,000 | | | | |
| | Monitoreo de efluentes | \$25,000 | | | | |
| | Análisis de viabilidad técnica | \$100,000 | | | | |
| | Adquisición Sistema AGS-GSM | \$370,000 | | | | |
| | Diseño del sistema | \$150,000 | | | | |
| | Recolección de requisitos | \$30,000 | | | | |
| | Esquemalizaciones preliminares | \$40,000 | | | | |
| | Revisión y ajustes de diseño | \$30,000 | | | | |
| | Elaboración de planos finales | \$50,000 | | | | |
| | Elección y contratación de proveedores | \$120,000 | | | | |
| | Proveedores en el mercado | \$20,000 | | | | |
| | Solicitud de propuestas | \$20,000 | | | | |
| | Evaluación de propuestas | \$30,000 | | | | |
| | Negociación, acuerdos y contrataciones | \$30,000 | | | | |
| | Adquisición y entrega de equipos | \$100,000 | | | | |
| | Emisión de órdenes de pedido | \$40,000 | | | | |
| | Recepción y verificación de los equipos | \$30,000 | | | | |
| | Inspección de equipos e insumos recibidos | \$30,000 | | | | |
| | Construcción e Instalación | \$550,000 | | | | |
| | Preparación del sitio | \$200,000 | | | | |
| | Instalación de equipos | \$200,000 | | | | |

| | | | | | | |
|--|--|------------------|--|--|--|--|
| | Montaje de equipos | \$100,000 | | | | |
| | Conexión de sistemas | \$50,000 | | | | |
| | Pruebas iniciales de instalación | \$50,000 | | | | |
| | Pruebas de funcionamiento | \$150,000 | | | | |
| | Ensayos Y verificación de componentes | \$50,000 | | | | |
| | Pruebas integradas del sistema | \$50,000 | | | | |
| | Corrección de errores | \$50,000 | | | | |
| | Socios comerciales | \$300,000 | | | | |
| | Empresas de Tecnología | \$100,000 | | | | |
| | Entidades financieras | \$100,000 | | | | |
| | Instituciones académicas investigativas | \$100,000 | | | | |
| | Capacitación y operación | \$400,000 | | | | |
| | Desarrollo de programas de capacitación | \$100,000 | | | | |
| | Diseño de programas de capacitación | \$25,000 | | | | |
| | Elaboración de materiales didácticos | \$25,000 | | | | |
| | Implementación sesiones de capacitación | \$50,000 | | | | |
| | Inicio de operaciones | \$150,000 | | | | |
| | Arranque inicial del sistema | \$50,000 | | | | |
| | Monitoreo preliminar de las operaciones | \$50,000 | | | | |
| | Breves ajustes del funcionamiento | \$50,000 | | | | |
| | Ajustes y optimización | \$150,000 | | | | |
| | Evaluación del rendimiento | \$50,000 | | | | |
| | Identificación de mejoras | \$50,000 | | | | |
| | Implementación de ajustes | \$50,000 | | | | |
| | Cierre | \$250,000 | | | | |
| | Elaboración de informes de desempeño | \$15,000 | | | | |
| | Evaluación de impacto ambiental | \$145,000 | | | | |
| | Compendio de datos ambientales antes, durante y después del proyecto | \$50,000 | | | | |
| | Análisis de los efectos del proyecto sobre el medio ambiente | \$50,000 | | | | |
| | Redacción del informe final para su revisión y aprobación | \$45,000 | | | | |
| | Informes finales del proyecto | \$90,000 | | | | |
| | Documentación de las lecciones aprendidas y las recomendaciones | \$40,000 | | | | |
| | Revisión y aprobación del informe por las partes interesadas. | \$50,000 | | | | |

CONCLUSIONES

Este trabajo fin de máster (TFM) se realizó con el fin de contribuir al desarrollo sostenible y progreso económico, social y ambiental del Ecuador, mediante una exploración minuciosa, sólida, vanguardista y transparente de las nuevas tecnologías relacionadas con la gestión de los recursos hídricos y la dirección de proyectos. A través de este esfuerzo, se buscó contemplar una panorámica integral y multidisciplinar, de cómo estos campos poseen la facultad para aunar conocimientos y acciones con el fin de evolucionar trascendentalmente a espacios más resilientes, sostenibles y multifuncionales.

La investigación enfatizó la necesidad de llevar a cabo oportunamente la transición sostenible de infraestructuras hídricas tradicionales carecientes de algún enfoque significativo ante la funcionalidad a largo plazo y su impacto a nivel económico, social y ambiental. A efectos, este escenario implica una serie de cambios y mejoras que se integren armónicamente en todos sus niveles, fases, procesos, requerimientos conforme al proyecto.

Este TFM demostró que la dirección de proyectos ejerce un rol significativo en la dotación de conocimientos, recursos y estrategias para abordar la complejidad e incertidumbre asociadas a la gestión del cambio en un proyecto con enfoque hacia la transición sostenible.

El análisis de la situación actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la región Sur del Ecuador, fue la piedra angular para precisar desafíos y oportunidades de la innovación bajo el modelo de economía circular que confieren las Biofactorías en un proceso de transición sostenible, este análisis aporta valor con triple impacto (económico, social y ambiental) en la región y pretende cooperar con los objetivos dispuestos a nivel global por la Agenda 2030.

El desarrollo de un plan de proyecto integral fundamentado en la metodología de Dirección de Proyectos del PMBOK 7^a edición, ha constatado como se puede llevar a cabo esta transición sostenible mediante la implementación del sistema SGS-GDM de manera oportuna. A través de la planificación estructurada, gestión del alcance, tiempo, costos, riesgos, recursos, comunicaciones y *stakeholders*, es posible llevar a cabo eficiente y eficazmente un proyecto de tal magnitud y complejidad.

No obstante, cabe destacar que la implementación real del sistema propuesto para la transición sostenible de la planta de tratamientos de aguas residuales en la región Sur del Ecuador requerirá de la valoración por parte de la administración pública de la zona de estudio, más allá de la cobertura dispuesta en este trabajo.

En definitiva, este TFM ha aportado una visión académica y técnica de los desafíos y oportunidades que se presenta en este proceso de transición sostenible. En virtud de este esfuerzo, se ha contribuido a la gestión eficiente de los recursos hídricos enfrentando los efectos del cambio climático, considerando el entorno de estudio y los criterios de innovación en la actualidad.

Este trabajo ha acreditado la oportunidad de innovar y contribuir al desarrollo íntegro del país, a través de la transición sostenible y la dirección de proyectos. Con ello, se ha conseguido cumplir con el objetivo principal de este TFM; proporcionado una solución práctica al desafío coetáneo del sector hídrico, mediante la propuesta de implementación del sistema SGS-GDM, preservando a largo plazo los recursos para las generaciones venideras y afrontando las actuales.

BIBLIOGRAFÍA

- AlJaber, A., Martinez-Vazquez, P., & Baniotopoulos, C. (2024). Circular Economy in the Building Sector: Investigating Awareness, Attitudes, Barriers, and Enablers through a Case Study in Saudi Arabia. *Sustainability (Switzerland)*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/su16031296>
- Almulhim, A. I. (2024). Toward a Greener Future: Applying Circular Economy Principles to Saudi Arabia's Food Sector for Environmental Sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 16(2). <https://doi.org/10.3390/su16020786>
- Almulhim, A. I., & Al-Saidi, M. (2023). Circular economy and the resource nexus: Realignment and progress towards sustainable development in Saudi Arabia. *Environmental Development*, 46, 100851. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100851>
- Amaro, F., & Domingues, L. (2023). PMBOK 6th meets 7th: How to link both guides in order to support project tailoring? *Procedia Computer Science*, 219(2022), 1877–1884. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.486>
- Antwerpen, S. van. (2023). A proposed integration of the event and project management body of knowledge. *International Journal of Applied Sciences in Tourism and Events*, 7(2), 108–119. <https://doi.org/10.31940/ijaste.v7i2.108-119>
- Ariza-Rodríguez, J. D., Cárdenas-Ramírez, L. A., & González-Chacón, L. V. (2022). *Diseño de un modelo conceptual para medir madurez ágil en la gerencia de proyectos*.
- Atencio, E., Mancini, M., & Bustos, G. (2024). Enterprise architecture approach for project-based organizations modeling, design, and analysis: An ontology-driven tool proposal. *Alexandria Engineering Journal*, 98, 312–327. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.04.052>
- Aukstuolytė, S. (2023). *Improving Project Management in a small solar (photovoltaic) power plant EPC company with PRINCE2® method*.
- Badran, S. S., & Abdallah, A. B. (2024). Lean vs agile project management in construction: impacts on project performance outcomes. *Engineering, Construction and Architectural Management*. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2023-0470>
- Bareño, E. (2020). Integración de Lean, Design Thinking y Agile en la gestión de proyectos. *SIGNOS-Investigación En Sistemas de Gestión*, 12, 161–174. <https://www.redalyc.org/journal/5604/560467941011/560467941011.pdf>
- Becker, P., Papa, M. F., & Olsina, L. (2024). Exploratory study on the syntactic and semantic consistency of terms in project management glossaries to provide recommendations for a project management ontology. *Science of Computer Programming*, 235, 103094. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scico.2024.103094>
- Beckinghausen, A., Odlare, M., Thorin, E., & Schwede, S. (2020). From removal to recovery: An evaluation of nitrogen recovery techniques from wastewater. *Applied Energy*, 263, 114616. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114616>
- Bernabé-custodio, M. W., Gonzales-salazar, G. R., Campos-díaz, Á. H., Lioo-jordán, F. D. M., Vellón-flores, V. I., Salinas, F. D. M. G. De, Solano-armas, T., & Caro-soto, F. G. (2024). *Project management based on ISO 21500 , to improve productivity in the industry Gestión de proyectos basado en la ISO 21500 , para mejorar la productividad en la industria*. <https://doi.org/10.56294/sctconf2024928>
- Botero Rueda, N. J. (2021). *Metodología De Las Cinco Eses (5S) Y Su Aplicación En La Optimización De Procesos Productivos: Revisión Documental*. 1–42.
- Bushuyev, S., Bushuev, D., & Bushuyeva, N. (2021). Convergence of Project Managers Competencies in Hybrid World. *Scientific Journal of Astana IT University*, 8, 32–44. <https://doi.org/10.37943/aitu.2021.22.46.004>
- Cakmak, E. K., Atasoy, M., Owusu-Agyeman, I., Khatami, K., & Cetecioglu, Z. (2022). *Chapter 19 - Circular city concept for future biorefineries* (A. An, V. Tyagi, M. Kumar, & Z. B. T.-C. E. and R. R. Cetecioglu (eds.); pp. 335–352). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90178-9.00009-3>
- Chow, T., & Cao, D. B. (2008). A survey study of critical success factors in agile software projects

- Journal of Systems and Software*, 81(6), 961–971. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2007.08.020>
- Colina, C., & Muñoz Villalobos, A. (2024). ANÁLISIS DEL LIBRO LA ESTRUCTURA DE LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS POR THOMAS S. KUHN. *Consensus - Santiago*, 8(1 SE-Artículos de Investigación), 15–34. <https://pragmatikasolutions.com/consensus/index.php/consensus/article/view/156>
- Commission, E., & Services, D.-G. for D. (2016). *PM², Project management methodology guide – Open edition*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/doi/10.2799/957700>
- Commission, E., & Services, D.-G. for D. (2017). *OpenPM² project management methodology*. Publications Office. <https://doi.org/doi/10.2799/851323>
- Cristaldo, P. R., De Luise, D. L., La Pietra, L., De Battista, A., & Hemanth, D. J. (2022). Data Mining-Based Metrics for the Systematic Evaluation of Software Project Management Methodologies. *EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*, January, 35–51. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77637-4_3
- Díaz-López, C., Carpio, M., Martín-Morales, M., & Zamorano, M. (2021). Defining strategies to adopt Level(s) for bringing buildings into the circular economy. A case study of Spain. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125048. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125048>
- Du, J., Waite, T. D., Feng, J., Lei, Y., & Tang, W. (2023). Coupled electrochemical methods for nitrogen and phosphorus recovery from wastewater: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(2), 885–909. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01561-x>
- Fabbroni, M., & Pedetti, M. (2023). *Título : Economía circular y Desarrollo endógeno para las ciencias de la administración*. December.
- Fuentes Del Burgo, J., & Sebastián Pérez, M. Á. (2022). Comparative Analysis of the Board Tool in the Agile Methodologies Scrum, Kanban and Scrumban in Software Projects. *Proceedings from the International Congress on Project Management and Engineering, 2022-July(July)*, 1660–1671.
- Furness, M. F. (2023). *The Biofactory : Implementing a Life Cycle Sustainability Assessment Decision Making Tool For Qunatifying Integral Sustainability Benefits Of The Wastewater Circular Economy in Chile Doctoral Thesis*. 189.
- Geels, F. W., Kern, F., & Clark, W. C. (2023). Sustainability transitions in consumption-production systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 120(47), 1–10. <https://doi.org/10.1073/pnas.2310070120>
- Ginnobili, S. (2022). El enfoque histórico filosófico y la didáctica de la ciencia - A 60 años de la publicación de La estructura de las revoluciones científicas. *Revista de Educación En Biología*, 25(2), 3–21. <https://doi.org/10.59524/2344-9225.v25.n2.37589>
- Grau, V., Luis, J., & Rizo, C. (2022). La gestión híbrida de proyectos según los modelos del PMBOK y PRINCE2. *26 Th International Congress on Project Management and Engineering Terrassa, July*. <http://dspace.aepro.com/xmlui/handle/123456789/3103>
- Herdika, H. R., & Budiardjo, E. K. (2020). Variability and Commonality Requirement Specification on Agile Software Development: Scrum, XP, Lean, and Kanban. *2020 3rd International Conference on Computer and Informatics Engineering, IC2IE 2020*, 323–329. <https://doi.org/10.1109/IC2IE50715.2020.9274564>
- Herrera, R. (2021). *Dinámica de la innovación en las empresas del sector de servicios TIC*. 1–165. https://oa.upm.es/67849/1/RAFAEL_LUIS_HERRERA_GONZALEZ.pdf
- International Project Management Association. (2015). Individual competence baseline: for project management. In *Ipma* (Vol. 4).
- IPMA. (2022). *Building Bridges Worldwide Between People and Competences*. 1–12. www.become.pm.
- Jariwala, M. (2024). Incorporating Artificial Intelligence into PMBOK 7th Edition Frameworks: A Domain-Specific Investigation for Optimizing Project Management Performance Domains the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0). *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, 8(3), 63–71. www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd64812.pdf<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

- Jørgensen, M. (2018). *Do Agile Methods Work for Large Software Projects? BT - Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming* (J. Garbajosa, X. Wang, & A. Aguiar (eds.); pp. 179–190). Springer International Publishing.
- Kollmann, R., Neugebauer, G., Kretschmer, F., Truger, B., Kindermann, H., Stoecklechner, G., Ertl, T., & Narodoslawsky, M. (2017). Renewable energy from wastewater - Practical aspects of integrating a wastewater treatment plant into local energy supply concepts. *Journal of Cleaner Production*, 155, 119–129. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.168>
- Kouhhabibi, M. (2022). Linear Economy versus Circular Economy: New raw material. *Turk Turizm Arastirmalari Dergisi*, 4(3), 227–246. <https://doi.org/10.26677/tr1010.2022.1057>
- Kous, K. (2023). Process-oriented model for managing software development projects using the PRINCE2 method. *Innovation, Strategy, and Transformation Frameworks for the Modern Enterprise*, 30–59. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-0458-7.ch002>
- Lam, K. L., Zlatanović, L., & van der Hoek, J. P. (2020). Life cycle assessment of nutrient recycling from wastewater: A critical review. *Water Research*, 173, 115519. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115519>
- López-González, M. A., Serrano-Gómez, L., Miguel-Eguía, V., Muñoz-Hernández, J. I., & Sánchez-Núñez, M. (2021). *Comparative Analysis of the SCRUM and PMI Methodologies in Their Application to Construction Project Management BT - Project Management and Engineering Research* (J. L. Ayuso Muñoz, J. L. Yagüe Blanco, & S. F. Capuz-Rizo (eds.); pp. 17–31). Springer International Publishing.
- Marcelino, E., & Domingues, L. (2022). An analysis of how well serious games cover the PMBOK. *Procedia Computer Science*, 196, 1013–1020. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.104>
- Maricato, J. de M., & Macedo, D. J. (2022). Influencia de los manuales de la OCDE y de la RICYT en la literatura científica y sus contribuciones para la construcción de indicadores de ciencia, tecnología e innovación. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 45(2), e336890. <https://doi.org/10.17533/udea.rib.v45n2e336890>
- Marques, P., Sousa, P., & Tereso, A. (2023). Sustainability in Project Management: PM2 versus PRiSMTM. *Sustainability*, 15(22), 15917. <https://doi.org/10.3390/su152215917>
- Martínez-rodríguez, R. (2023). *Evolución del diseño según el manual de Oslo*. 98, 218–220.
- Maslennikov, V. V., Popova, E. V., & Lyandau, Y. V. (2022). *Project Management Based on PMBOK 7.0 BT - Imitation Market Modeling in Digital Economy: Game Theoretic Approaches* (E. G. Popkova (ed.); pp. 283–289). Springer International Publishing.
- Mayo-Alvarez, L., Del-Aguila-Arcenales, S., Alvarez-Risco, A., Chandra Sekar, M., Davies, N. M., & Yáñez, J. A. (2024). Innovation by integration of Drum-Buffer-Rope (DBR) method with Scrum-Kanban and use of Monte Carlo simulation for maximizing throughput in agile project management. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 10(1), 100228. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100228>
- Mihailova, D. (2023). Redefining business models for the energy transition: Social innovation and sustainable value creation in the European energy system. *Energy Research & Social Science*, 100, 103114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103114>
- Molina-Molina, S., Álvarez-Argaez, S., Estrada-Hernández, J., & Estrada-Hernández, M. (2020). Indicators of science, technology, and innovation: Towards the configuration of a measurement system. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 43(3). <https://doi.org/10.17533/UDEA.RIB.V43N3EI9>
- Novo, V., Tereso, A., Sousa, P., Ribeiro-Lopes, S., & Engrácia, P. (2024). *Application of the PM2 Programme Management Methodology to the Portuguese Project Management Observatory BT - Information Systems and Technologies* (A. Rocha, H. Adeli, G. Dzemyda, F. Moreira, & V. Colla (eds.); pp. 274–283). Springer Nature Switzerland.
- OECD. (2002). *R & D AND PRODUCTIVITY GROWTH: PANEL DATA ANALYSIS OF 16 OECD COUNTRIES* Dominique Guellec and Bruno van Pottelsberghe de la Potterie. SEPTEMBER 2020, 1987–1996.
- Otegi-Olaso, J. R., López-Robles, J. R., & Gamboa-Rosales, N. K. (2021). *A Bibliometric Analysis*

- of the Professional Skills in the Scientific Journals of Project Management BT - Project Management and Engineering Research (J. L. Ayuso Muñoz, J. L. Yagüe Blanco, & S. F. Capuz-Rizo (eds.); pp. 147–158). Springer International Publishing.
- Padilla, L. (2010). Lean manufacturing manufactura esbelta / ágil. *Revista Ingeniería Primero*, 15(15), 64–69. <http://files.udesprocesos.webnode.es/200000028-6743f683e7/manufactura-esbelta-toyota.pdf>
- Pells, D. L. (2021). Project Management needs a Higher Purpose 1 (Original Long Version) 2. *PM World Journal*, X(I), 2330–4480. <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/us/definition/english/perfect-storm>
- Powell, D. J. (2018). Kanban for Lean Production in High Mix, Low Volume Environments. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 140–143. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.248>
- Robles, Á., Aguado, D., Barat, R., Borrás, L., Bouzas, A., Giménez, J. B., Martí, N., Ribes, J., Ruano, M. V., Serralta, J., Ferrer, J., & Seco, A. (2020). New frontiers from removal to recycling of nitrogen and phosphorus from wastewater in the Circular Economy. *Bioresource Technology*, 300, 122673. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122673>
- Rodrigues, M. C., Domingues, L., & Oliveira, J. P. (2023). Tailoring: a case study on the application of the seventh principle of PMBOK 7 in a public institution. *Procedia Computer Science*, 219, 1735–1743. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.468>
- Rosenberger, P., & Tick, J. (2021). Multivariate optimization of pmbok, version 6 project process relevance. *Acta Polytechnica Hungarica*, 18(11), 9–28. <https://doi.org/10.12700/APH.18.11.2021.11.2>
- Rush, D. E., & Connolly, A. J. (2020). An agile framework for teaching with scrum in the IT project management classroom. *Journal of Information Systems Education*, 31(3), 196–207.
- Saidulu, D., Majumder, A., & Gupta, A. K. (2021). A systematic review of moving bed biofilm reactor, membrane bioreactor, and moving bed membrane bioreactor for wastewater treatment: Comparison of research trends, removal mechanisms, and performance. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 106112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106112>
- Sepúlveda, I. C. Q., Nieto, Y. O., Quiroga Parra, D. J., & Cubillos-González, R. A. (2021). Relación entre Capacidad de Innovación e Índice de Innovación en América Latina. *Journal of Technology Management and Innovation*, 16(3), 47–56. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242021000300047>
- Shastri, Y., Hoda, R., & Amor, R. (2021). Spearheading agile: the role of the scrum master in agile projects. *Empirical Software Engineering*, 26(1). <https://doi.org/10.1007/s10664-020-09899-4>
- Simonaitis, A., Daukšys, M., & Mockienė, J. (2023). A Comparison of the Project Management Methodologies PRINCE2 and PMBOK in Managing Repetitive Construction Projects. *Buildings*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/buildings13071796>
- Srivastava, A., Bhardwaj, S., & Saraswat, S. (2017). SCRUM model for agile methodology. *Proceeding - IEEE International Conference on Computing, Communication and Automation, ICCCA 2017, 2017-Janua*, 864–869. <https://doi.org/10.1109/CCAA.2017.8229928>
- Suitner, J., Haider, W., & Philipp, S. (2023). Social innovation for regional energy transition? An agency perspective on transformative change in non-core regions. *Regional Studies*, 57(8), 1498–1510. <https://doi.org/10.1080/00343404.2022.2053096>
- Takagi, N., & Varajão, J. (2020). Success Management and the Project Management Body of Knowledge (PMBOK): An Integrated Perspective Knowledge (PMBOK): An Integrated Perspectiv. *AIS Electronic Library (AISeL)*, 1–11.
- Takagi, N., Varajão, J., & Ventura, T. (2024). Implementing success management on government-to-government projects: an integrated perspective with the PMBOK guide. *International Journal of Managing Projects in Business*, 17(1), 153–171. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-06-2023-0143>
- Vukomanović, M., Young, M., & Huynink, S. (2016). IPMA ICB 4.0 — A global standard for

- project, programme and portfolio management competences. *International Journal of Project Management*, 34(8), 1703–1705.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.09.011>
- Wambura, D. S. (2024). *Project Management Practices : A Key for Organizational Performance : An Empirical Review*. 90–98.
- Weflen, E., MacKenzie, C. A., & Rivero, I. V. (2022). An influence diagram approach to automating lead time estimation in Agile Kanban project management. *Expert Systems with Applications*, 187, 115866. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115866>
- Yanzer Cabral, A. R., Ribeiro, M. B., & Noll, R. P. (2014). Knowledge management in agile software projects: A systematic review. *Journal of Information and Knowledge Management*, 13(1). <https://doi.org/10.1142/S0219649214500105>
- Zayat, W., & Senvar, O. (2020). Framework Study for Agile Software Development Via Scrum and Kanban. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 17(04), 2030002. <https://doi.org/10.1142/S0219877020300025>
- Zhou, Q., Sun, H., Jia, L., Wu, W., & Wang, J. (2022). Simultaneous biological removal of nitrogen and phosphorus from secondary effluent of wastewater treatment plants by advanced treatment: A review. *Chemosphere*, 296, 134054.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134054>

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1-1: Principales fases de la dirección de proyectos. Fuente: Díaz (2021). | 6 |
| Figura 1-2: Comparación de los estándares entre la guía PMBOK sexta y séptima edición. Fuente: PMI (2021). | 10 |
| Figura 1-3: Triángulo de la providencia en competencias de la ICB. Fuente: IPMA (2022). | 11 |
| Figura 1-4: Estándares fundamentales para la dirección de proyectos según el IMPA. Fuente: IPMA (2022). | 11 |
| Figura 1-5: Los cuatro pilares que sustentan las buenas prácticas de la metodología PM ² . Fuente: PM ² (2023). | 13 |
| Figura 1-6: Diagrama de los roles principales en la organización de acuerdo con la Gobernanza PM ² . Fuente: PM ² Alliance (2022). | 14 |
| Figura 1-7: Estructura de PRINCE2. Fuente: Axelos (2024). | 15 |
| Figura 1-8: Representación gráfica de la tasa de éxito entre las metodologías ágiles y en cascada. Fuente: Jørgensen (2018). | 17 |
| Figura 1-9: Diagrama del proceso de gestión de proyectos con Scrum. Fuente: Mm-partners (2024). | 18 |
| Figura 1-10: Tablero de Kanban. Fuente: Botero Rueda (2021). | 19 |
| Figura 2-1: Ubicación Geográfica del camal Municipal de Pelileo. Fuente: Google Earth (2024). | 26 |
| Figura 2-2: Zona de flameado de la nave de porcinos. Figura 2-3: Zona de descuerado de la nave de bovinos. | 27 |
| Figura 2-4: Proceso de tratamiento de Aguas residuales del Camal de Pelileo. Fuente: GAD de Pelileo (2024). | 30 |
| Figura 2-5: Flujograma del proceso de tratamiento de las aguas residuales. Fuente: GAD de Pelileo (2024). | 31 |
| Figura 3-1: Diferencias entre la economía lineal y circular. Fuente: Almulhim (2024) | 38 |
| Figura 3-2: Diferencias entre el modelo de economía lineal y circular en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Fuente: Kollmann (2017). | 39 |
| Figura 3-3: ODS relacionados con el modelo de economía circular de Biofactorías. Fuente: Elaboración propia. | 40 |
| Figura 3-4: Estructura esquemática del sistema AGS-GDM para el tratamiento y reutilización descentralizados de aguas residuales en Arabia Saudita. Fuente: Almulhim (2024). | 42 |
| Figura 4-1: Estructura de desglose en de la organización del proyecto. Fuente: Elaboración propia. | 45 |
| Figura 4-2: Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) del proyecto | 51 |
| Figura 4-3: Línea Base de Costos. | 66 |
| Figura 4-4: Línea Base de Financiación. | 67 |
| Figura 4-5: Identificación de Interesados según Matriz Poder-Interés. Fuente: Elaboración propia. | 69 |
| Figura 4-6: Diagrama tipo AON para el cálculo del EVM del cambio en el diseño del sistema AGS-GDM. Fuente: Elaboración propia. | 86 |
| Figura 4-7: Gráfico de la evolución de trabajo para el proyecto. | 96 |
| Figura 4-8: Gráfico modelo en Exel para monitorear el trabajo realizado. | 96 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1-1: Evolución de la Guía PMBOK® desde la sexta a la séptima edición. Fuente: PMI (2021). | 9 |
| Tabla 2-1: Producción media de animales faenados. Fuente: GAD de Pelileo (2024). | 26 |
| Tabla 2-2: Matriz de parámetros analizados en la primera muestra (agua cruda). Fuente: Elaboración propia. | 29 |
| Tabla 2-3: Matriz de parámetros analizados en la segunda muestra (agua tratada). Fuente: Elaboración propia. | 29 |
| Tabla 2-4: Datos de consumo eléctrico cuatrimestrales del 2024. Fuente: GAD de Pelileo (2024). | 32 |
| Tabla 2-5: Datos de consumo de agua mensual del centro de faenamiento. Fuente: GAD de Pelileo (2024). | 32 |
| Tabla 3-1: Análisis FODA del sector de aguas residuales respecto a la implementación del modelo de economía circular. Fuente: Elaboración propia. | 37 |
| Tabla 4-1: Acta de constitución del proyecto. | 46 |
| Tabla 4-2: Requerimientos específicos del proyecto. | 48 |
| Tabla 4-3: Duración de las Tareas. | 61 |
| Tabla 4-4: Estimación de Costos de Presupuesto. | 63 |
| Tabla 4-5: Estimación de presupuesto por paquetes de trabajo. | 65 |
| Tabla 4-6: Tarifa de los Recursos Humanos. | 65 |
| Tabla 4-7: Fuentes de Financiación. | 66 |
| Tabla 4-8: Identificación de Interesados en el proyecto. | 67 |
| Tabla 4-9: Evaluación de interesados según la Matriz Poder-Interés. | 68 |
| Tabla 4-10: Registro de interesados. | 69 |
| Tabla 4-11: Estrategias para conseguir apoyo. | 70 |
| Tabla 4-12: Plan de Gestión de las Comunicaciones. | 72 |
| Tabla 4-13: Plan de Gestión de la calidad. | 74 |
| Tabla 4-14: Hojas de verificación del proyecto. | 78 |
| Tabla 4-15: Matriz de probabilidad e impacto (P-I) (Maslennikov et al., 2022). | 80 |
| Tabla 4-16: Desglose de la leyenda de la matriz P-I. | 81 |
| Tabla 4-17: Categorización de los riesgos y posibles estrategias de mitigación. | 82 |
| Tabla 4-18: Estrategias de mitigación a los riesgos. | 84 |
| Tabla 4-19: Valor monetario esperado (EVM) para eventualidades del proyecto. | 86 |
| Tabla 4-20: Matriz de asignaciones RACI del proyecto. | 88 |
| Tabla 4-21: Matriz para la toma de decisiones en adquisiciones. | 90 |
| Tabla 4-22: Especificaciones de las adquisiciones del proyecto. | 91 |
| Tabla 4-23: Leyenda para los criterios de aceptación de las adquisiciones. | 92 |
| Tabla 4-24: Matriz de valoración para las adquisiciones. | 92 |
| Tabla 4-25: Formato para el plan de vigilancia controlado. | 97 |
| Tabla 4-26: Matriz de valoración de costos según la metodología del valor ganado (EVM). | 99 |