



**Prototipo de gestión de KPI con alertas inteligentes para
transporte de hidrocarburos (PGAI)**

**Modalidad:
Innovación Organizacional
“Business case”**

**Prototipo de gestión de KPI con alertas inteligentes para transporte de
hidrocarburos (PGAI)**

**Nilton Augusto Ruiz Rodríguez
Carlos Andrés Silva Jiménez
Nicolás Eduardo Moreno García**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
**Magíster en gerencia de proyectos
Magíster en proyectos de desarrollo sostenible**

Directora:
Martha Cecilia Jaimes Castañeda

Modalidad:
**Innovación Organizacional
“*Business case*”**

Universidad EAN
Ingeniería
Gerencia de proyectos
Bogotá D.C., Colombia

Resumen ejecutivo

El proyecto Prototipo de gestión de KPI con alertas inteligentes para transporte de hidrocarburos (PGAI) permite resolver una de las problemáticas actuales en los centros de control del sector petróleo y gas integrando indicadores de desempeño (KPI) con herramientas de visualización y analítica predictiva que permitan utilizar estos indicadores como insumo para modelos predictivos que garanticen la eficiencia, integración de información y predicción de eventos para la toma de decisiones en la operación de transporte de hidrocarburos.

El análisis organizacional efectuado evidenció una fragmentación de la información, un nivel bajo en la predicción de sucesos críticos y restricciones en los procesos de automatización en el ámbito operativo.

El PGAI facilita la toma de decisiones en los centros de control, centralizando información clave en la operación, visualizando en tiempo real indicadores estratégicos para la toma de decisiones y estableciendo alertas inteligentes para optimizar este proceso en los centros de control. Este prototipo permite identificar desviaciones, optimizar recursos en entornos de presión y complejidad, todo soportado en analítica predictiva, IoT e inteligencia artificial.

Basado en la metodología SCRUM, el PGAI tuvo fases de desarrollo, pruebas y ajustes en iteraciones, buscando generar el mayor valor posible para el usuario final y el área gerencial de la operación de transporte de hidrocarburos.

Los resultados alcanzados señalan un incremento en la eficiencia operacional, monitoreo y uso de los datos, y capacidad de atención para la toma de decisiones frente a situaciones de contingencia y/o emergencia. El prototipo sugerido es seguro, escalable y puede ser utilizado en otros ámbitos industriales.

En conclusión, el prototipo representa una iniciativa de gran relevancia estratégica, dirigida a las metas de transformación digital, sostenibilidad e innovación en el sector energético de Colombia.

Palabras clave: KPI, alertas inteligentes, transporte de hidrocarburos, transformación digital, innovación organizacional.

Contenido

Objetivos y alineación estratégica	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos.....	8
1 Contexto y desafío de innovación PGAI	9
1.1 Análisis del ecosistema de innovación del sector y de la solución PGAI.....	9
1.2 Entendimiento de las necesidades del sector transporte hidrocarburos.....	10
1.3 Mapa de empatía del cliente/usuario para PGAI	10
1.4 Definición del problema utilizando "How Might We" (HMW) para PGAI	12
2 Solución innovadora.....	13
2.1 Solución innovadora PGAI.....	13
2.2 Descripción de la solución PGAI (storyboard).....	14
2.3 Prototipo conceptual PGAI	15
2.4 Análisis de la experiencia del usuario mediante Journey Map en el desarrollo del PGAI	17
3 Análisis de mercado y competencia	18
3.1 Análisis de tendencias emergentes y tecnologías disruptivas PGAI	19
3.2 Mapa de posicionamiento de innovación PGAI.....	19
3.3 Evaluación de la solución PGAI con las partes interesadas.....	20
4 Plan de implementación bajo metodologías ágiles	20
4.1 Hoja de ruta de innovación y metodología de desarrollo PGAI	21
4.2 Equipo y recursos necesarios.....	23
5 Análisis financiero y de impacto	24
5.1 Inversión inicial para el prototipo	24
5.2 Proyección de beneficios en la fase piloto	25

Prototipo de gestión de KPI con alertas inteligentes para transporte de hidrocarburos (PGAI)	5
5.3 Escalamiento e implementación industrial	26
5.4 Proyección de ingresos y costos a cinco años.....	26
5.5 Indicadores financieros.....	27
5.6 Análisis de sensibilidad.....	27
6 Gestión de riesgos y oportunidades	28
6.1 Matriz de riesgos y estrategias de mitigación	28
7 Métricas de éxito y KPI de innovación.....	29
7.1 OKR del PGAI	30
7.2 Métricas de innovación	30
8 Plan de gestión del cambio y adopción	31
8.1 Estrategia de comunicación interna y externa, mensajes clave y métricas ...	31
8.2 Cronograma de comunicación y responsables	32
9 Cultura de innovación y mejora continua.....	32
9.1 Valores y comportamientos que fomentan la innovación en la organización .	33
9.2 Programas de incentivos para la innovación.....	33
9.3 Plan para abordar la resistencia al cambio	33
Conclusiones y recomendaciones.....	34
Conclusiones.....	34
Recomendaciones.....	35
Referencias.....	36
A. Anexo. Análisis DOFA.....	40

Figuras

Figura 1 Mapa de empatía	11
Figura 3 HMW para modelo de sistema de gestión de KPI con alertas inteligentes ...	12
Figura 4 Storyboard para modelo de sistema de gestión de KPI con alertas inteligentes	15
Figura 5 Prototipo conceptual	16
Figura 6 Arquitectura prototipo conceptual	17
Figura 7 Journey Map para el PGAI	18
Figura 8 Hoja de ruta de innovación.....	21
Figura 9 Diagrama de Gantt.....	22
Figura 10 Diagrama de Flujo SCRUM	22

Tablas

Tabla 1 Tecnologías relacionadas a la solución.....	13
Tabla 2 Aplicaciones de la propuesta.....	14
Tabla 3 Análisis de tendencias emergentes.....	19
Tabla 4 Mapa de posicionamiento de innovación para el PGAI.....	19
Tabla 5 Evaluación de la solución con las partes interesadas.....	20
Tabla 6 Estructura equipo de innovación.....	23
Tabla 7 Recursos tecnológicos y espacios requeridos.....	23
Tabla 8 Recursos tecnológicos y espacios requeridos prototipo.....	24
Tabla 9 Beneficio neto prototipo.....	25
Tabla 10 Recursos tecnológicos y espacios requeridos.....	26
Tabla 11 Beneficio neto.....	26
Tabla 12 Indicadores financieros.....	27
Tabla 13 Análisis de sensibilidad.....	28
Tabla 14 Matriz de riesgos y estrategias de mitigación.....	28
Tabla 15 OKR del proyecto.....	30
Tabla 16 Métricas de innovación.....	31
Tabla 17 Estrategias de comunicación.....	31
Tabla 18 Cronograma de comunicación.....	32
Tabla 19 Análisis DOFA de capacidades internas.....	40

Objetivos y alineación estratégica

Objetivo general

Desarrollar un prototipo de gestión de KPI con alertas inteligentes para el monitoreo en tiempo real en los centros de control del sector de transporte de hidrocarburos.

Objetivos específicos

- Caracterizar el estado actual de la gestión de KPI y sistema de alertas inteligentes en los centros de control seleccionados del sector de transporte de hidrocarburos, delimitando el contexto de aplicación del prototipo.
- Identificar enfoques, tecnologías y buenas prácticas aplicables al diseño funcional del prototipo de monitoreo con base en los hallazgos identificados en la revisión documental.
- Determinar las necesidades del área operativa de monitoreo del transporte de hidrocarburos e identificar las oportunidades de mejora para la automatización de procesos.
- Analizar el impacto del prototipo de gestión de KPI con alertas inteligentes en la sostenibilidad y su aporte para los centros de control en el sector transporte de hidrocarburos.

1 Contexto y desafío de innovación PGAI

El sector de transporte en la industria petróleo y gas se enfrenta a una competencia intensa derivada de la multiplicidad de grupos de interés involucrados en su cadena de valor; sumado a esto, el sector, en particular, enfrenta a desafíos relacionados con la eficiencia operativa, el impacto ambiental asociado a las emisiones de CO₂ y un consumo energético susceptible de optimización.

La operación actual de transporte de hidrocarburos se caracteriza por la dispersión de la información en múltiples plataformas, lo que incrementa los tiempos de respuestas de los operadores en los centros de control para la toma de decisiones críticas ante escenarios operativos que pueden comprometer la integridad y la confiabilidad de los sistemas de transporte (CENIT, 2024).

La implementación de inteligencia artificial, el análisis y visualización de datos se presentan como herramientas con potencial para optimizar la identificación y medición de indicadores clave de rendimiento (KPI). Su aplicación estratégica optimizaría el flujo de transporte y promoviendo el cumplimiento de la normativa ambiental vigente (Indra, 2021).

Considerando la relevancia de la sostenibilidad en el contexto mundial actual, el PGAI contribuye al cumplimiento del ODS 9: Industria, innovación e infraestructura. Esto se fundamenta en su potencial para integrar tecnologías de punta, lo que conlleva a una reducción del consumo energético, una disminución de los costos operativos directo, una mejora en la robustez de la infraestructura y el desarrollo de un modelo innovador con potencial de ser escalado en otros procesos de la industria (CENIT, 2024).

1.1 Análisis del ecosistema de innovación del sector y de la solución PGAI

El sector de transporte de hidrocarburos ha presentado cambios recientemente, impulsados por la digitalización de los sistemas operativos, el fortalecimiento de los marcos regulatorios en seguridad y eficiencia energética, y la incorporación de tecnologías limpias. De acuerdo con el Ministerio de Minas y Energía (2023) y el Departamento Nacional de Planeación (2022), estos cambios han propiciado la adopción de soluciones integradas de monitoreo, visualización y análisis en tiempo real para la mitigación de riesgos operativos.

Tendencias como IoT para hacer seguimiento en tiempo real o la aplicación de IA para prevenir fallas, incluyendo la adopción de energías renovables para la reducción de la huella de carbono, se configuran como innovaciones relevantes en el sector (Indra, 2021).

En el ecosistema de innovación del sector, se han identificado diversos actores, que abarcan desde las autoridades regulatorias y los operadores logísticos hasta las comunidades y los proveedores de insumos y servicios. El PGAI se presenta como una estrategia para dinamizar este escenario mediante la integración de datos, la visualización accesible y una operación intuitiva con tableros predictivos (Ortiz & Pardo, 2021). Este tipo de iniciativas contribuyen al sector en términos de eficiencia energética, sostenibilidad y optimización de la seguridad operativa (CENIT, 2024).

1.2 Entendimiento de las necesidades del sector transporte hidrocarburos

Los centros de control donde se toman las decisiones técnicas cruciales carecen de una integración efectiva de datos. La necesidad de consultar información en múltiples plataformas conlleva tiempos de respuesta largos, lo que incrementa la incertidumbre y los costos directos de la operación (Ortiz & Pardo, 2021).

A pesar de la disponibilidad de recursos humanos y tecnológicos, se identifican áreas de mejora en la automatización y visualización de datos. La solución propuesta, que incorpora alertas inteligentes y seguimiento en tiempo real, se alinea con la estrategia organizacional del sector transporte de hidrocarburos favoreciendo la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad de las operaciones (Indra, 2021; Ortiz & Pardo, 2021; CENIT, 2024).

1.3 Mapa de empatía del cliente/usuario para PGAI

El instrumento de recolección de datos empleado para la construcción del mapa de empatía, a partir de fuentes es la gestión documental (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2001). El mapa de empatía es una herramienta que permite representar las conductas y los sentimientos del usuario objeto de estudio. La validación de las percepciones y requerimientos de las vicepresidencias, gerentes, profesionales y líderes del centro de control facilita el diseño de un modelo de sistema de gestión de KPI con alertas inteligentes que responda a las necesidades operativas específicas de los centros de control del sector de transporte de hidrocarburos (Gasca & Zaragoza, 2020).

Del análisis derivado del mapa de empatía, se identificaron dificultades inherentes a la consolidación de información dispersa en diversos sectores de la organización en una plataforma unificada. Esto dificulta la toma de decisiones oportunas por parte del usuario. No obstante, la aplicación del mapa de empatía presenta restricciones al basarse en la percepción actual de los usuarios acerca de su experiencia con los sistemas y herramientas existentes. Esto, se complementa con la revisión del estado actual en otras industrias y soluciones, con el fin de desarrollar un prototipo consolidado que responda eficazmente a las necesidades del sector transporte de hidrocarburos.

El objetivo del diseño propuesto radica en la integración de los indicadores clave de la organización en una herramienta única y automatizada. Esta herramienta deberá proporcionar al usuario final sugerencias para la toma de decisiones estratégicas, garantizando así la eficiencia operativa y la mitigación de incidentes en los sistemas de transporte de hidrocarburos (García, 2023).

La Figura 1 muestra el mapa de empatía aplicado a los centros de control del sector de transporte de hidrocarburos.

Figura 1 Mapa de empatía

¿Qué piensa y siente?	¿Qué ve?	¿Qué escucha?
<ul style="list-style-type: none"> Existe una preocupación latente por la eficiencia operativa y cumplimiento de indicadores de la organización, por lo cual busca una herramienta sólida que soporte la toma de decisiones. 	<ul style="list-style-type: none"> Oportunidades de mejora para consolidar informes de alto impacto con KPIs alineados a los objetivos estratégicos de la organización. 	<ul style="list-style-type: none"> Diferentes tendencias en la industria para implementar técnicas y herramientas de transformación digital en la organización.
<ul style="list-style-type: none"> Buscar nuevas capacidades tecnológicas que permitan mejorar el desempeño de las operaciones de hidrocarburos. 	<ul style="list-style-type: none"> Equipos de trabajo realizando múltiples tareas de forma manual, lo cual disminuye los tiempos para la toma de decisiones. 	<ul style="list-style-type: none"> Se requieren resultados en tiempo real para la eficiencia operativa y energética en el transporte de hidrocarburos.
<ul style="list-style-type: none"> Siente que la información está dispersa en diferentes áreas de la organización, por lo cual buscaría una tecnología que integre la información en un solo lugar. 	<ul style="list-style-type: none"> Oportunidad para consolidar en un sistema de gestión los indicadores claves de la organización, que permitan la captura de información en tiempo real. 	<ul style="list-style-type: none"> Existen muchos reportes y herramientas, pero no hay nada que centralice la información y que de forma autónoma genere recomendaciones al usuario final.
<ul style="list-style-type: none"> Por la cantidad de información que maneja en el día a día, existe el miedo de cometer algún error de tipo operativo, por lo cual buscaría una herramienta que le ayude al análisis y toma de decisiones en tiempo real. 	<ul style="list-style-type: none"> Hay demasiada información que para el día a día es difícil de analizar y que resultaría útil para la toma de decisiones si estos datos estuvieran debidamente priorizados para mejorar el tiempo de respuesta al momento de operar los sistemas de transporte de hidrocarburos. 	<ul style="list-style-type: none"> Desde la Vicepresidencia y Gerencia se cuestiona sobre la forma en la cual se está realizando la operación de transporte de hidrocarburos, quieren ver resultados tangibles en términos de eficiencia operativa, energética y costos.
¿Qué dice y hace?	¿Cuáles son sus dolores?	¿Cuáles son sus necesidades o ganancias?
<ul style="list-style-type: none"> Promover en las gerencias de la organización el uso de herramientas de transformación digital útiles y en tiempo real para mejorar la eficiencia en los procesos de transporte de hidrocarburos. 	<ul style="list-style-type: none"> No existe una herramienta que consolide todos los indicadores KPIs de las distintas áreas de la organización y que responda al cumplimiento de los objetivos estratégicos de la compañía. 	<ul style="list-style-type: none"> Se busca una mayor eficiencia en la operación de los sistemas de transporte de hidrocarburos.
<ul style="list-style-type: none"> Presentación en reuniones con directivos de casos de negocio que justifiquen el presupuesto para la incorporación de nuevas tecnologías de transformación digital. 	<ul style="list-style-type: none"> No hay información consolidada precisa que agilice la toma de decisiones ante eventos operativos y además, se requiere justificar de manera urgente a la organización la inversión en tecnologías de transformación digital. 	<ul style="list-style-type: none"> Una herramienta centralizada que consolide los principales indicadores KPIs clave para la toma de decisiones operativas.
<ul style="list-style-type: none"> Ejecución de proyectos piloto (desarrollo in-house) que permitan mostrar a la organización la importancia de la implementación de un sistema de gestión de KPIs con alertas inteligentes. 	<ul style="list-style-type: none"> Existen silos de información clave para la toma de decisiones corporativas clave para la operación eficiente en los sistemas de transporte de hidrocarburos. 	<ul style="list-style-type: none"> Integración de todas las fuentes de información de las distintas áreas de la organización en una sola herramienta
<ul style="list-style-type: none"> Solicitan una herramienta que permita el acceso a todos los indicadores KPIs en un solo punto de forma visual, ordenada y escalable, además que genere recomendaciones para la toma de decisiones. 	<ul style="list-style-type: none"> El manejo de un alto volumen de información que debe ser analizada en poco tiempo para la toma de decisiones genera estrés, al no contar con herramientas que realicen la analítica de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> Se busca una solución práctica, segura y eficiente para la toma de decisiones y que genere sugerencias operativas.

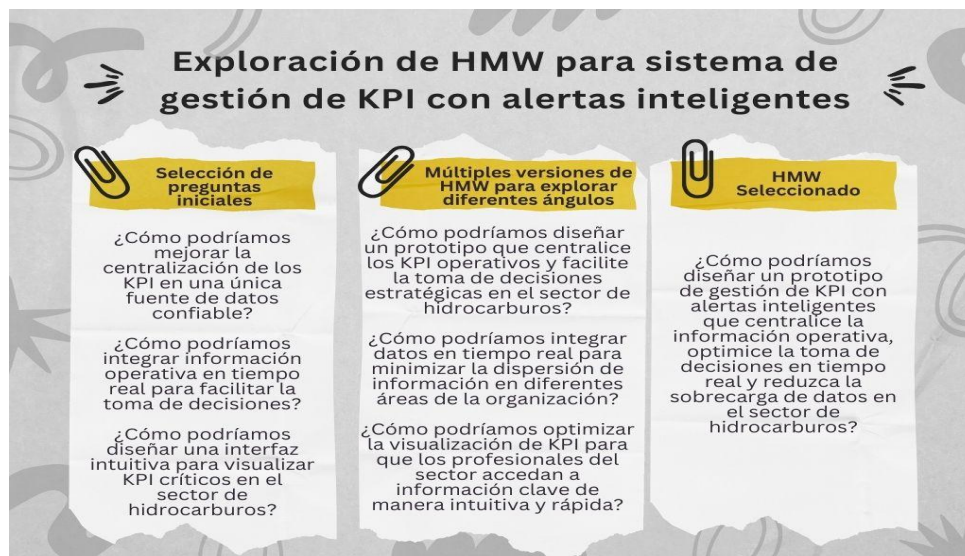
■ Vicepresidencias (Digital y Operaciones)
 ■ Profesionales (Digital y Operaciones)
 ■ Gerencias (Digital y Operaciones)
 ■ Profesionales del Centro de Control

Nota: Elaboración propia, a partir de Gasca & Zaragoza (2020).

1.4 Definición del problema utilizando "How Might We" (HMW) para PGAI

El instrumento de recolección de datos empleado para construir el "How Might We" es la gestión documental (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2001). El principal desafío para los centros de control radica en lograr la integración y centralización de los indicadores operativos en una herramienta unificada que facilite la toma de decisiones del operador con información en tiempo real, en aras de la eficiencia operativa y energética, el cumplimiento del programa de bombeo propuesto y la reducción los costos asociados al transporte de hidrocarburos. El método HMW permite reformular problemas en preguntas que fomentan la creatividad y la generación de soluciones innovadoras en un equipo de trabajo u organización, al sugerir una solución posible y múltiples maneras de abordarla (Knapp, Zeratsky & Kowitz, 2016).

Figura 2 HMW para modelo de sistema de gestión de KPI con alertas inteligentes



Nota: Elaboración propia, a partir de HMW (iLab, 2025).

Dentro del análisis realizado con el método HMW, se identifican desafíos en la centralización de la información en una única fuente de datos, la dispersión de información crítica en diferentes áreas de la organización y la carencia de herramientas que faciliten una toma de decisiones ágil y fundamentada ante escenarios operativos que puedan comprometer la integridad de los sistemas de transporte de hidrocarburos. En este contexto, un sistema de KPI con alertas inteligentes debe garantizar la integración de información relevante en tiempo real, optimizando así la eficiencia y seguridad operativa (Trujillo Moya, 2022).

2 Solución innovadora

En esta sección se presenta el PGAI, detallando las herramientas tecnológicas que lo sustentan, su descripción funcional y un análisis centrado en el usuario final.

2.1 Solución innovadora PGAI

La adopción de herramientas tecnológicas representa una necesidad y, un desafío para el sector de transporte de hidrocarburos. En la Tabla 1, se presentan algunas tecnologías que fueron evaluadas para su posible integración. No obstante, tecnologías como blockchain y energías renovables no se incluyeron en el diseño del PGAI. Esto se fundamentó en su limitada capacidad para resolver la problemática de la integración de información proveniente de múltiples fuentes en una plataforma unificada.

Tabla 1 Tecnologías relacionadas a la solución.

TECNOLOGÍA	APORTES	ANÁLISIS COMPARATIVO	FUENTE
Inteligencia artificial (IA) y machine learning (ML)	Predicción de fallas. Optimización de rutas. Automatización de procesos.	Es una tecnología que se está empezando a incorporar en procesos de predicción de fallas en equipos de bombeo en el sector de hidrocarburos, pero que aún no se encuentra implementada en los centros de control y en toda la cadena de transporte por su alto costo de implementación.	(Nkem Elliot et al., 2024) (Nzubechukwu Chukwudum Ohalet et al., 2023)
Internet de las cosas (IoT)	Monitoreo en tiempo real. Seguridad operativa. Integración de datos.	Tiene una alta madurez tecnológica y se encuentra implementado en centros de control de Colombia que cuentan con sistemas SCADA y sistema de control distribuido, por su capacidad de captura de datos en tiempo real.	(Stolyarov, n.d.)
Big data y analítica avanzada	Análisis predictivo. Visualización de datos.	Es una tecnología madura y de bajo costo en Colombia, para el desarrollo de dashboards, almacenamiento bases de datos y análisis predictivo.	(Nkem Elliot et al., 2024)
Energías renovables y sostenibilidad	Reducción de emisiones. Eficiencia energética. Cumplimiento normativo.	En la actualidad esta tecnología ha tomado fuerza en Colombia para la transición energética, sin embargo, su alto costo implica la incorporación de infraestructura física y de diseño en la generación de energías limpias, por lo cual no se incluye dentro de PGAI.	(Choi et al., 2017)
Blockchain	Transparencia en la cadena de suministro. Contratos inteligentes.	Tiene muy baja adopción y aplicación en el sector hidrocarburos, costos elevados en su implementación y no responde a las necesidades de PGAI.	(Ahmad et al., 2021)

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 2 se presentan aplicaciones tecnológicas implementadas en sectores como energía, logística y manufactura. En estas, se identifica la importancia de la adopción de soluciones para la visualización de datos en tiempo real, la aplicación de analítica avanzada y la conexión segura de datos mediante IoT.

A partir de este análisis comparativo, se priorizaron para el PGAI herramientas como: Power BI para la visualización de indicadores, Azure IoT Hub para la integración de datos, SQL Server para la organización de la información en bases de datos y el uso de herramientas de analítica predictiva.

Igualmente, la fase conceptual y de diseño del PGAI debe considerar integralmente la gobernanza y la calidad de los datos. La efectividad de la visualización y la precisión de la analítica predictiva no dependen exclusivamente de las herramientas tecnológicas seleccionadas, sino de atributos como la calidad, la trazabilidad y la consistencia de los datos.

Tabla 2 Aplicaciones de la propuesta.

SECTOR	APLICACIÓN
Energía	Dashboards y alertas en centrales para cumplimiento ambiental (Schneider Electric EcoStruxure)
Logística	DHL y Amazon emplean IoT y analítica avanzada para optimizar rutas y gestionar flotas en tiempo real.
Manufactura	Uso de sistemas inteligentes para predecir fallos en líneas de producción (Siemens).

Nota: Elaboración propia.

2.2 Descripción de la solución PGAI (storyboard)

En un caso de negocio es fundamental la descripción del proceso propuesto mediante una estructura clara y concisa. El uso del storyboard facilita la generación de una narrativa organizada y coherente, permitiendo una transición lógica desde la identificación de una problemática específica hasta el desarrollo del PGAI como una solución innovadora (Kaneko Aguilar, 2021). A continuación, se muestra la implementación de un sistema de gestión de KPI con alertas inteligentes en el sector transporte de hidrocarburos, demostrando cómo la digitalización y el análisis predictivo mejoran la toma de decisiones en tiempo real.

El storyboard propuesto evidencia que, además de la existencia de múltiples fuentes de información distribuidas en diversas plataformas, los procesos de decisiones empleados por los operadores del centro de control carecen de una articulación eficiente.

En este contexto, el PGAI se orienta a que la información presentada sea significativa y accionable para los usuarios en el momento de ejecutar intervenciones operativas. Esto se logrará mediante la priorización de eventos críticos y la implementación de alertas inteligentes, proporcionando la información necesaria para la adopción de medidas oportunas ante situaciones operativas relevantes.

La digitalización de procesos en el sector del petróleo y gas tiene el potencial de reducir los incidentes operativos en un 40% e incrementar la eficiencia energética en un

15%. Estos datos evidencian la importancia de incorporar tecnologías emergentes como un factor determinante para la evolución y optimización de la industria (CENIT, 2024).

Figura 3 Storyboard para modelo de sistema de gestión de KPI con alertas inteligentes



Nota: Elaboración propia, a partir de “Capítulo 6: Storyboard” (Kaneko Aguilar, 2020)

2.3 Prototipo conceptual PGAI

El PGAI se centra en la visualización y análisis de estos 4 indicadores: 1) eficiencia operativa, 2) costos de transporte, 3) cumplimiento del programa y 4) eficiencia energética. Mediante la generación de gráficos dinámicos, el análisis en tiempo real de datos históricos y la generación de alertas inteligentes, el prototipo tiene la capacidad de optimizar la toma de decisiones mejorando la continuidad operativa. La aplicación de analítica avanzada permite a los usuarios anticipar y mitigar posibles fallas antes de su ocurrencia, lo cual se alinea estratégicamente con las tendencias de digitalización en la industria petrolera (Trujillo Moya, 2022).

En la gestión de poliductos y oleoductos, el sistema proporciona indicadores críticos de eficiencia energética y cumplimiento del programa de bombeo, lo que permite la modificación de estrategias de bombeo según la demanda y la disponibilidad operativa. La digitalización de la supervisión de KPI en el sector hidrocarburos puede generar un ahorro

de hasta el 20% en los gastos de transporte y una disminución del 15% en el uso de energía a través de la optimización de los flujos de bombeo. Adicionalmente, la implementación de alertas inteligentes asegura el cumplimiento de los programas operacionales, reduciendo los retrasos y optimizando la eficacia del transporte (Ortiz & Pardo 2021).

Figura 4 Prototipo conceptual

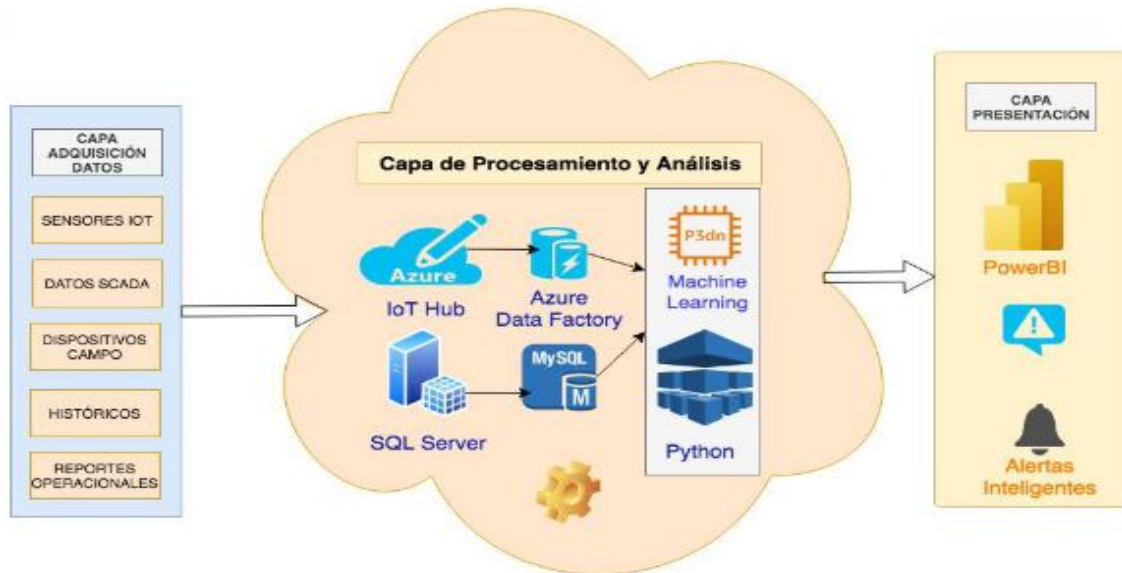


Nota: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la arquitectura prototipo de administración de KPI, que integra información de sensores IoT y SCADA en Azure IoT Hub y SQL Server. El proceso de ETL se automatiza con Azure Data Factory, y se utiliza analítica predictiva con Python y Power BI para mejorar las decisiones en tiempo real (CENIT, 2024; Indra, 2021; Ortiz & Pardo, 2021).

La arquitectura propuesta para el prototipo de gestión de KPI con alertas inteligentes se fundamenta en un modelo estructurado en tres niveles: adquisición de datos, procesamiento y análisis, visualización y gestión.

Figura 5 Arquitectura prototipo conceptual



Nota: Elaboración propia.

2.4 Análisis de la experiencia del usuario mediante Journey Map en el desarrollo del PGAI

La gestión documental es el método de recopilación de información empleado para elaborar el Journey Map a partir de diferentes fuentes (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2001). El Journey Map facilita el análisis de la experiencia del usuario durante su interacción con un sistema en fase de desarrollo, lo que permite la identificación de oportunidades de mejora en cada etapa del proceso (Rosenbaum, Losada Ojalora & Contreras Ramírez, 2017).

Para el PGAI, se ha diseñado un Journey Map para los usuarios, específicamente los operadores de los centros de control encargados del seguimiento y control en tiempo real de las condiciones y eventos operativos que se pueden presentar en los sistemas de transporte de hidrocarburos. Estos usuarios se enfrentan a la exigencia de responder de manera ágil y oportuna ante eventos operativos, consultando actualmente información dispersa en múltiples plataformas: En consecuencia, el Journey Map analiza en detalle los puntos de dolor, las necesidades identificadas y las oportunidades de optimización.

Figura 6 Journey Map para el PGAI

	CONCIENCIA	CONSIDERACIÓN	ADQUISICIÓN	ONBOARDING	USO REGULAR	RETENCIÓN	RECOMENDACIÓN
ACCIONES DEL USUARIO (OPERADORES CENTROS DE CONTROL)	Se evidencian ineficiencias en la gestión de KPIs: alertas tardías, datos dispersos y falta de integración.	Se analiza la viabilidad de un sistema de alertas inteligentes basado en monitoreo en tiempo real.	Se establecen los indicadores clave de desempeño (KPIs) que serán monitoreados y el diseño de alertas predictivas.	Se presentan los primeros modelos funcionales y los operadores exploran el sistema en un entorno controlado.	Se ejecutan simulaciones utilizando datos históricos para evaluar la detección de anomalías y eficiencia del sistema.	Los usuarios brindan retroalimentación sobre la efectividad del prototipo y sugieren mejoras.	Se documentan los hallazgos y se define la factibilidad de una futura implementación.
PUNTOS DE CONTACTO	Reportes de desempeño, auditorías internas, reuniones con supervisores.	Reuniones con stakeholders, benchmarking de tecnologías, revisión de tendencias en la industria.	Workshops de diseño, modelado conceptual, reuniones de alineación con equipo de desarrollo.	Presentaciones interactivas, acceso a versiones demo, pruebas con escenarios simulados.	Pruebas con datasets reales, revisión de alertas generadas, evaluación de precisión de predicciones.	Encuestas de usabilidad, focus groups, reuniones de evaluación técnica.	Informes de validación, presentación de métricas de efectividad, análisis de costos.
EMOCIONES	Frustración por la falta de control y riesgo operacional. 	Curiosidad por la propuesta, pero escepticismo sobre su aplicabilidad. 	Expectativa por ver resultados, pero dudas sobre la precisión del modelo. 	Curiosidad, pero inseguridad sobre la usabilidad y claridad de las alertas. 	Expectativa de ver mejoras, pero preocupación por falsos positivos o errores en alertas. 	Confianza creciente en la herramienta, pero solicitud de ajustes en parámetros. 	Satisfacción con avances, pero evaluación de costos y escalabilidad antes de tomar decisiones finales. 
OPORTUNIDADES DE MEJORA	Generar evidencia cuantitativa sobre las fallas del sistema actual para justificar la necesidad del prototipo.	Comparar el prototipo con soluciones existentes para demostrar su valor diferencial.	Crear prototipos visuales y simulaciones para recibir retroalimentación temprana.	Implementar iteraciones rápidas para ajustar la interfaz y experiencia del usuario.	Ajustar el algoritmo para mejorar precisión y evitar sobrealertas innecesarias.	Personalizar alertas según el tipo de operación y las necesidades del usuario.	Proponer un roadmap de implementación y pruebas en campo para futuras fases.

Nota: Elaboración propia, a partir de “How to create a realistic customer journey” (Rosenbaum et al., 2017)

El Journey Map desarrollado evidencia un método iterativo en la creación del PGAI, garantizando que el sistema se autogestione con datos en tiempo real (Rosenbaum et al., 2017). Estos ciclos de retroalimentación permiten la identificación de oportunidades de mejora en aspectos como la usabilidad del prototipo, la efectividad de las alertas y la individualización del uso de los KPI del prototipo. En consecuencia, se espera una reducción de errores operativos, la consolidación de la información relevante en una única plataforma para la toma de decisiones y una optimización en la operatividad del PGAI.

3 Análisis de mercado y competencia

Para establecer la viabilidad del PGAI, es necesario analizar el panorama competitivo actual y las dinámicas del mercado dentro de la industria. Esto permite identificar las brechas existentes en la adopción del prototipo, las oportunidades de mejora y la definición de una estrategia de posicionamiento. Este proceso se soporta en el análisis de las tecnologías disponibles (y aplicables) en el ecosistema de innovación (Project Management Institute, 2021).

3.1 Análisis de tendencias emergentes y tecnologías disruptivas PGAI

La identificación precisa de las herramientas tecnológicas aplicables al desarrollo del PGAI ofrece una respuesta puntual a las necesidades específicas para cada uno de los roles involucrados en la operación del sistema de transporte de hidrocarburos. La gestión de KPI debe mejorar en integración, automatización y capacidad predictiva de los procesos. En la Tabla 3 se resumen las tecnologías aplicables y sus requerimientos en relación con el PGAI (ISO 27001, 2018).

Tabla 3 Análisis de tendencias emergentes

Proveedor / Plataforma	Tecnología (arquitectura y soporte)	Capacidades de automatización	Facilidad de integración con PGAI
AVEVA Plant SCADA 2023 R2 (AVEVA, 2023)	Arquitectura modular cliente-servidor, integración con IIoT, soporte en la nube a través de AVEVA Insight y Azure.	Lógica de eventos, scripts personalizados, alarmas inteligentes y soporte para mantenimiento.	Soporta OPC UA, MQTT, SQL y REST API para conectividad avanzada.
Honeywell Experion HS R510 (Honeywell, 2023)	Plataforma SCADA/HMI integrada con redundancia y control distribuido. Diseñada para entornos industriales críticos.	Automatización avanzada en procesos continuos y por lotes. Integración con sistemas de seguridad funcional.	Interfaz robusta pero optimizada para el ecosistema Honeywell.
Rockwell FactoryTalk View SE (Rockwell Automation, 2024)	Plataforma distribuida con integración directa a PLCs Allen-Bradley y soporte en la nube.	Automatización modular con soporte para secuencias y lógica distribuida.	Conectividad con SQL, OPC, IoT y herramientas de visualización externas.

Nota: Elaboración propia.

3.2 Mapa de posicionamiento de innovación PGAI

Para que el PGAI sea operativo, eficiente y escalable debe ser competitivo y posicionarse en el sector. Las herramientas actuales no cuentan con una plataforma unificada que integre la información de toda la cadena de transporte de hidrocarburos, lo cual es una oportunidad de diferenciación para la solución propuesta (Trujillo Moya, 2022).

Tabla 4 Mapa de posicionamiento de innovación para el PGAI

ASPECTO	SITUACIÓN ACTUAL	REQUERIMIENTOS	ROLES AFECTADOS	ACCIONES PARA REALIZAR
Competencia	Competidores con soluciones BI de visualización de KPI sin capacidades predictivas.	Diferenciación con un modelo basado en inteligencia artificial para alertas predictivas.	Gerencia general	Comparación de herramientas de BI y selección de la más compatible con IoT y SCADA (Indra, 2021).
Estrategia	Enfoque reactivo en la resolución de incidencias operativas.	Generación de informes automatizados para toma de decisiones estratégicas.	Área de TI	Desarrollo de modelos de machine learning para anticipar anomalías en los KPI (Rosenbaum et al., 2017).
Implementación	Falta de herramientas con análisis predictivo.	Estrategia de implementación por fases, garantizando adopción progresiva.	Gerencia general	Estrategia de implementación por fases, garantizando adopción progresiva (Schwaber & Sutherland, 2020).

Nota: Elaboración propia.

3.3 Evaluación de la solución PGAI con las partes interesadas

Identificar competidores y actores de interés, es clave para garantizar la implementación del PGAI. Aunque plataformas similares cuentan con herramientas de monitoreo en tiempo real, carecen de capacidad en cuanto a automatización y/o análisis predictivo (Ahmad et al, 2021).

Tabla 5 Evaluación de la solución con las partes interesadas

ASPECTO	SITUACIÓN ACTUAL	REQUERIMIENTOS	ROLES AFECTADOS	ACCIONES PARA REALIZAR
Competencia	Empresas con software de monitoreo en tiempo real sin IA avanzada	Colaboración con proveedores de IA y analítica avanzada para fortalecer la capacidad predictiva del sistema	Líder de innovación	Identificación de proveedores con experiencia en inteligencia artificial y automatización de procesos (Ortiz & Pardo, 2021)
Infraestructura	Herramientas de gestión de KPI que dependen del análisis manual	Evaluación de plataformas en la nube escalables para integrar múltiples fuentes de datos	Equipo de desarrollo	Evaluación de la compatibilidad entre la infraestructura actual y las soluciones en la nube (Indra, 2021)
Implementación	Falta de integración con herramientas avanzadas de IA	Creación de una hoja de ruta de implementación para la integración del prototipo con sistemas externos	Gerencia general	Desarrollo de estrategias de implementación progresiva con fases iterativas (Schwaber & Sutherland, 2020)

Nota: Elaboración propia.

La selección de socios estratégicos y la integración efectiva con plataformas tecnológicas permite un posicionamiento del PGAI. Esta estrategia incrementa la viabilidad y escalabilidad de la propuesta, permitiendo una respuesta eficaz a las necesidades del sector de transporte de hidrocarburos (Kerzner, 2022).

El análisis exhaustivo del mercado y de los competidores es fundamental. Este estudio facilita la identificación de la necesidad de establecer alianzas estratégicas sólidas y delinear un programa de adopción real de la solución (Kerzner, 2022).

El PGAI es un desarrollo interno parcial, donde el diseño conceptual, el funcionamiento, la arquitectura, los flujos de información y la definición de los KPI fueron realizados por el equipo del proyecto. Sin embargo, se decidió integrar herramientas tecnológicas existentes como Power BI, Azure IoT Hub y SQL Server para construir el prototipo de forma más rápida, segura y viable técnicamente.

4 Plan de implementación bajo metodologías ágiles

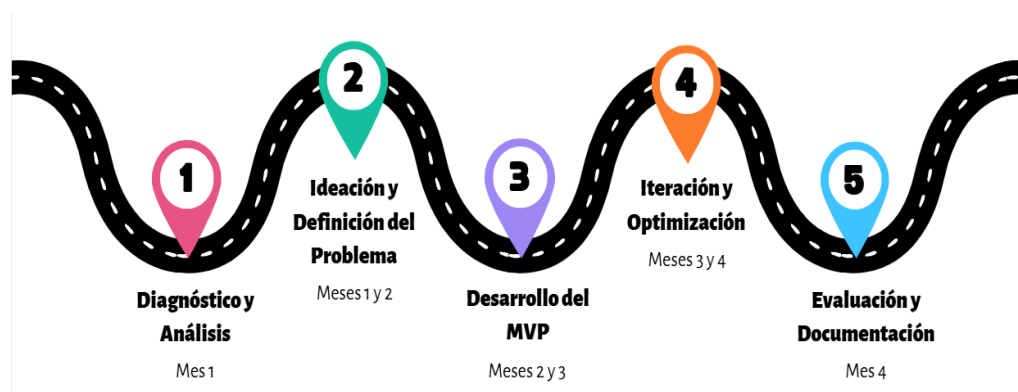
La hoja de ruta para el PGAI se desarrolló mediante la metodología SCRUM, en esta parte se presentan las fases propuestas, sus hitos clave y los recursos necesarios para su implementación.

4.1 Hoja de ruta de innovación y metodología de desarrollo PGAI

La metodología SCRUM facilita la iteración de procesos y el avance incremental de resultados, además promueve la adaptabilidad ante objetivos cambiantes y la retroalimentación permanente en los grupos de interés (Schwaber & Sutherland, 2020).

La hoja de ruta del PGAI está compuesta por 5 fases, lo que permite un avance progresivo de la solución propuesta, reduce riesgos y permite una adopción sencilla para el usuario final (Kerzner, 2022).

Figura 7 Hoja de ruta de innovación



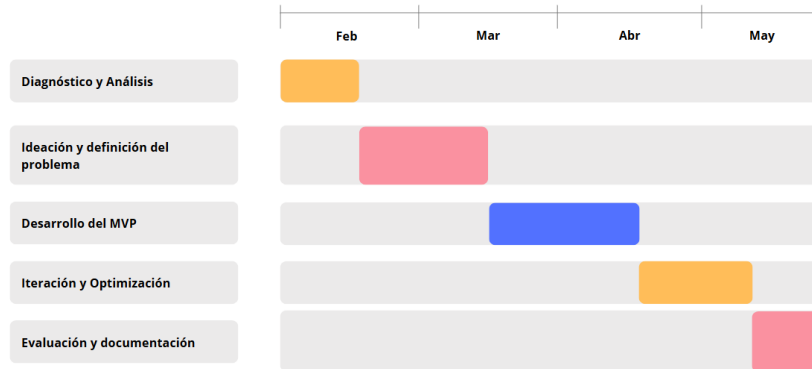
Nota: Elaboración propia.

La hoja de ruta de innovación tiene como objetivo la optimización de la planificación e implementación del PGAI, facilitando la verificación de hipótesis y la aplicación progresiva de mejoras en las iteraciones del prototipo (Cooper, 2019).

El Diagrama de Gantt del PGAI, permite un monitoreo continuo de las tareas y la visualización fácil de la interrelación entre actividades clave (Project Management Institute, 2021).

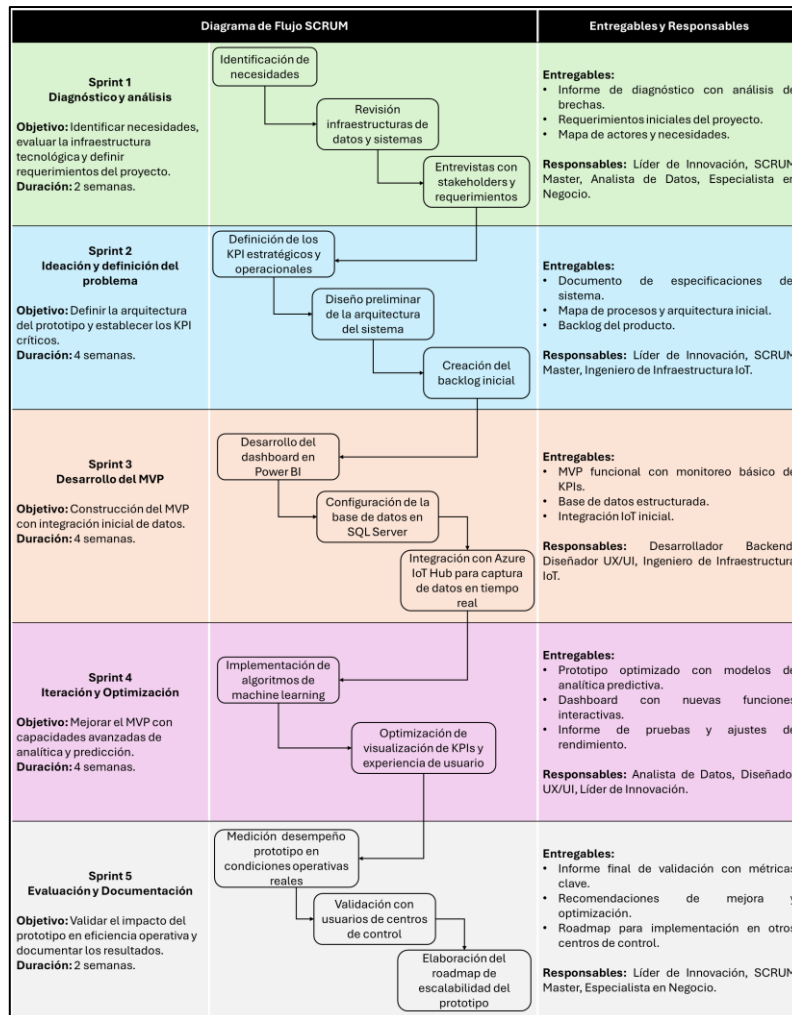
Adicionalmente, se elaboró el diagrama de flujo SCRUM (ver Figura 8), el cual está compuesto por 5 sprints: 1) Diagnóstico y análisis, 2) Ideación y definición del problema, 3) Desarrollo del MVP, 4) Iteración y optimización y 5) Evaluación y documentación. Este proceso de trabajo permite la adaptación ágil del sistema, maximizando los recursos y garantizando decisiones basadas en datos confiables (Cooper, 2019).

Figura 8 Diagrama de Gantt



Nota: Elaboración propia.

Figura 9 Diagrama de Flujo SCRUM



Nota: Elaboración propia.

4.2 Equipo y recursos necesarios

Una adecuada elección y gestión de los equipos, dotándolos de los recursos necesarios para el cumplimiento de sus asignaciones constituye un factor determinante para una gestión efectiva del proyecto (Project Management Institute, 2021). En la Tabla 3, se presenta la estructura del equipo, sus roles y responsabilidades y en la Tabla 4, se indican los recursos tecnológicos más importantes para la implementación del PGAI.

Tabla 6 Estructura equipo de innovación

ROL	CANTIDAD	RESPONSABILIDADES
Líder de innovación	1	Define la estrategia tecnológica y supervisa la ejecución del roadmap.
Scrum Master	1	Facilita la implementación de Scrum y gestiona impedimentos.
Diseñador UX/UI	1	Asegura una experiencia de usuario óptima en la visualización de KPI.
Desarrollador Backend	1	Implementa la arquitectura en la nube y gestiona la integración con bases de datos.
Analista de datos	1	Desarrolla modelos de predicción y optimización de KPI con machine learning.
Experto en negocio	1	Asegura la alineación del prototipo con las necesidades operacionales del sector.
Ingeniero IoT	1	Configura y mantiene los dispositivos de recolección de datos en campo.
Especialista en ciberseguridad	1	Protege la integridad y confidencialidad de los datos.

Nota: Elaboración propia.

Tabla 7 Recursos tecnológicos y espacios requeridos

RECURSO	DESCRIPCIÓN
Azure IoT Hub	Gestiona la recopilación de datos en tiempo real desde sensores desplegados en la red de transporte de hidrocarburos.
SQL Server	Permite el almacenamiento estructurado y análisis de datos operacionales.
Power BI	Herramienta de visualización interactiva para el monitoreo de KPI.
Python con Scikit-Learn	Utilizado para el desarrollo de algoritmos de machine learning aplicados a predicción de fallos.
Firewalls en Azure	Garantizan la protección contra ciberataques y el control de accesos.

Nota: Elaboración propia.

La implementación de una metodología ágil, como SCRUM para el PGAI, permite el establecimiento de una estructura iterativa, robusta y adaptable. En proyectos tecnológicos de alto impacto, como este prototipo, SCRUM minimiza riesgos, aumenta la eficiencia y acelera la generación de valor (Project Management Institute, 2021; Kerzner, 2022).

5 Análisis financiero y de impacto

Este análisis es una etapa fundamental para garantizar la implementación del PGAI desde el punto de vista gerencial. La propuesta tiene en cuenta una inversión inicial de \$320 millones COP para desarrollo y validación, y posteriormente una etapa de implementación a mayor escala. Se calcularon indicadores como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Retorno sobre la Inversión (ROI), cuyos resultados son positivos esto para medir la factibilidad del proyecto (Meza Orozco, 2013).

5.1 Inversión inicial para el prototipo

La inversión está distribuida en recursos tecnológicos, licencias, actividades de desarrollo y capacitación para los usuarios que participarán en la prueba piloto.

Tabla 8 Recursos tecnológicos y espacios requeridos prototipo

CATEGORÍA	CANTIDAD	TOTAL (COP)
Infraestructura de desarrollo		
- Instancias de máquinas virtuales (Azure B2ms / AWS t3.medium) para pruebas y despliegue	\$ 20.000.000	
- Almacenamiento en Azure Blob / Amazon S3 (2 TB) para datos operativos	\$ 12.000.000	
- Redes privadas para conexión segura (Azure Virtual Network / AWS VPC)	\$ 10.000.000	
- Balanceador de carga y protección de red (Azure Application Gateway / AWS ELB)	\$ 20.000.000	
- Servicios de contenedores (Azure Kubernetes Service / AWS EKS) para escalabilidad	\$ 18.000.000	
Subtotal Infraestructura		\$ 80.000.000
Licencias y herramientas		
- Power BI Pro (20 usuarios) para visualización de datos	\$ 12.000.000	
- SQL Server (Base de datos empresarial)	\$ 20.000.000	
- Azure Synapse Analytics o AWS Redshift para análisis avanzado	\$ 12.000.000	
- Logic Apps o AWS Step Functions para automatización	\$ 6.000.000	
Subtotal Licencias y Herramientas		\$ 50.000.000
Desarrollo del prototipo		
- Diseño de dashboards interactivos para monitoreo de transporte	\$ 30.000.000	
- Implementación de modelos de machine learning para alertas inteligentes	\$ 40.000.000	
- Desarrollo de scripts para automatización (Python, Node.js)	\$ 20.000.000	
- Creación de APIs para integración con sistemas externos	\$ 50.000.000	
Subtotal Desarrollo del Prototipo		\$ 140.000.000
Pruebas y validación		
- Pruebas de carga y estrés para el sistema de transporte	\$ 10.000.000	
- Simulación de escenarios operativos críticos	\$ 15.000.000	
- Ajustes técnicos para optimización de desempeño	\$ 5.000.000	

CATEGORÍA	CANTIDAD	TOTAL (COP)
Subtotal Pruebas y Validación		\$ 30.000.000
Capacitación básica		
- Formación inicial para usuarios piloto	\$ 5.000.000	
- Entrega de manuales técnicos para operación	\$ 5.000.000	
- Sesiones de capacitación virtual o presencial	\$ 5.000.000	
- Acceso a plataformas de aprendizaje (LinkedIn Learning, Udemy)	\$ 5.000.000	
Subtotal Capacitación Básica		\$ 20.000.000
Total inversión prototipo		\$ 320.000.000

Nota: Elaboración propia.

Con esta inversión se espera construir un prototipo funcional que permita medir sus resultados antes de pensar en una implementación a gran escala.

5.2 Proyección de beneficios en la fase piloto

Aunque no se prevén ingresos directos en esta etapa, se espera que el prototipo ayude a optimizar procesos y a reducir tiempos de respuesta, lo cual genera beneficios operativos importantes.

Tabla 9 Beneficio neto prototipo

AÑO	INGRESOS ESTIMADOS (COP)	BENEFICIO NETO ESTIMADO (COP)
1	\$ 71.000.000	\$ 28.400.000
2	\$ 81.700.000	\$ 32.680.000
3	\$ 94.000.000	\$ 37.600.000
4	\$ 108.100.000	\$ 43.240.000
5	\$ 124.300.000	\$ 49.720.000
Total Beneficio Neto Acumulado		\$ 240.000.000

Nota: Elaboración propia.

Los ingresos estimados no son ventas directas, sino costos evitados que generan beneficios económicos que reflejan el impacto positivo del PGAI en las operaciones durante su fase de validación. Estos costos evitados están asociados a:

1. Reducción de tiempos de inactividad: Ahorro por reducción de tiempos de respuesta y evitación de fallos imprevistos.
2. Optimización del consumo energético: Ahorro en costos de energía mediante ajustes precisos en los parámetros operativos.
3. Reducción de errores operativos y desperdicios: Menor pérdida de producto por decisiones informadas y oportunas.

Los resultados muestran que el prototipo tiene potencial para recuperar una buena parte de la inversión inicial y ser rentable desde sus primeras aplicaciones.

5.3 Escalamiento e implementación industrial

Teniendo en cuenta que el prototipo está orientado a su desarrollo en un sistema de transporte y si los resultados son positivos, se plantea su implementación a una mayor escala, para lo cual se requeriría inversión estimada de \$1.500 millones COP. Esta fase incluye infraestructura tecnológica, desarrollo avanzado, integración de datos, capacitación de usuarios y mantenimiento.

Tabla 10 Recursos tecnológicos y espacios requeridos

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	COSTO ESTIMADO (COP)
Infraestructura Tecnológica	Servidores, almacenamiento en la nube (Azure IoT Hub, SQL Server), licencias de Power BI.	\$600.000.000
Desarrollo de Software	Implementación de algoritmos de IA y Machine Learning en Python, desarrollo de dashboards y alertas inteligentes.	\$400.000.000
Integración de Datos y Seguridad	Automatización de procesos ETL con Azure Data Factory, gestión de ciberseguridad.	\$250.000.000
Capacitación y Adopción	Entrenamiento del personal, talleres de formación y gestión del cambio.	\$150.000.000
Mantenimiento y Actualización	Soporte técnico, mejoras futuras y optimización de modelos predictivos.	\$100.000.000
Total		\$1.500.000.000

Nota: Elaboración propia.

Es importante considerar que parte de la inversión realizada en el desarrollo del prototipo puede requerir ajustes durante la fase de implementación completa. En este sentido, es posible aprovechar economías de escala para reducir costos adicionales, incluyendo la reutilización de infraestructura tecnológica y la experiencia adquirida en capacitación, gestión del cambio. Esto permite optimizar tiempos y recursos en futuras expansiones, facilitando la implementación del prototipo en hasta seis sistemas de transporte.

5.4 Proyección de ingresos y costos a cinco años

A medida que el sistema se implemente de manera completa, se espera que los ingresos aumenten de forma progresiva y los costos operativos se estabilicen.

Tabla 11 Beneficio neto

AÑO	INGRESOS ESTIMADOS (COP)	COSTOS OPERATIVOS (COP)	BENEFICIO NETO (COP)
1	\$750.000.000	\$400.000.000	\$350.000.000
2	\$1.000.000.000	\$450.000.000	\$550.000.000
3	\$1.250.000.000	\$475.000.000	\$775.000.000
4	\$1.500.000.000	\$500.000.000	\$1.000.000.000

AÑO	INGRESOS ESTIMADOS (COP)	COSTOS OPERATIVOS (COP)	BENEFICIO NETO (COP)
5	\$1.750.000.000	\$550.000.000	\$1.200.000.000

Nota: Elaboración propia.

Con esta proyección, el proyecto alcanzaría su punto de equilibrio en el tercer año, lo cual es un indicador positivo y corresponde al escenario en el que el PGAI es escalable para cubrir múltiples sistemas de transporte.

5.5 Indicadores financieros

Para reforzar el análisis, se calcularon los principales indicadores financieros del proyecto los cuales se fundamentan en varios supuestos clave. La inversión inicial incluye costos de infraestructura tecnológica, desarrollo, integración, licencias y capacitación. El ROI se calculó considerando beneficios netos acumulados en cinco años, derivados de mejoras en eficiencia operativa y costos evitados. El VPN se obtuvo usando una tasa de descuento del 10%, reflejando el costo de capital del sector. La TIR se calculó sobre flujos de caja positivos desde el segundo año, y el período de recuperación refleja el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial. El punto de equilibrio se proyecta en el tercer año, cuando los ingresos acumulados superen los costos operativos y la inversión inicial.

Tabla 12 Indicadores financieros

INDICADOR FINANCIERO	VALOR	INTERPRETACIÓN
Inversión Inicial	\$1.500.000.000 COP	Capital requerido para el desarrollo e implementación del sistema.
ROI (Retorno sobre la Inversión)	258.30%	Indica que, por cada peso invertido, el proyecto generará 2.58 veces su valor en beneficios netos.
VPN (Valor Presente Neto)	\$1.283.115.286 COP	Valor actualizado de los beneficios netos, considerando una tasa de descuento del 10%. Un VPN positivo indica rentabilidad.
TIR (Tasa Interna de Retorno)	33.30%	Rentabilidad anual del proyecto. Al ser superior a la tasa de descuento del 10%, demuestra la viabilidad del sistema.
Período de Recuperación de la Inversión	3 años	Tiempo estimado en el que el proyecto generará ingresos suficientes para cubrir la inversión inicial.
Punto de Equilibrio	Tercer año	Momento en el que los ingresos acumulados superan los costos operativos y de inversión.

Nota: Elaboración propia.

Estos resultados muestran que el proyecto tiene muy buenas perspectivas de rentabilidad y recuperación de la inversión.

5.6 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad asume que los flujos de caja serán positivos en cada escenario, gracias a las mejoras operativas, optimización energética y reducción de tiempos de inactividad que genera el sistema. El rango de crecimiento de ingresos refleja el impacto esperado de estas eficiencias, mientras que el aumento de costos considera

los gastos adicionales en mantenimiento, soporte y actualización tecnológica, compensados en parte por economías de escala y reutilización de infraestructura, es así como este análisis permite establecer la solidez del PGAI y es clave para determinar la estabilidad del proyecto bajo diferentes escenarios económicos (Meza Orozco, 2013).

Tabla 13 Análisis de sensibilidad

ESCENARIO	CRECIMIENTO DE INGRESOS	AUMENTO DE COSTOS	VPN (COP)	TIR (%)	ROI (%)
Optimista	12%	2%	\$ 1.500.000.000	35%	280%
Base	10%	3%	\$ 1.283.115.286	33.3%	258.3%
Pesimista	8%	5%	\$ 1.000.000.000	30%	230%

Nota: Elaboración propia.

El análisis financiero demuestra que el PGAI, en los 3 escenarios de sensibilidad planteados, una TIR del 33% en promedio y un VPN positivo; esto garantiza un retorno sobre la inversión inicial. El período de recuperación de la inversión es de tres años, asegura un impacto positivo a largo plazo en la gestión operativa y la reducción de costos del sector (Meza Orozco, 2013).

6 Gestión de riesgos y oportunidades

La identificación previa de riesgos y oportunidades aumenta considerablemente la solidez de un proyecto (ISO 31000, 2018). En este numeral se presentan las amenazas clave y sus estrategias de mitigación, así como las oportunidades del PGAI.

6.1 Matriz de riesgos y estrategias de mitigación

La definición de estrategias de mitigación y la asignación de responsabilidades, es una excelente práctica en la gestión de riesgos (Project Management Institute, 2021). Para el PGAI se elaboró una matriz que integra los riesgos y oportunidades de su implementación, así como una estimación de su impacto, probabilidad y responsables.

Tabla 14 Matriz de riesgos y estrategias de mitigación

RIESGO / OPORTUNIDAD	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	PROBABILIDAD	ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN / IMPLEMENTACIÓN	RESPONSABLE
Integración con sistemas heredados	Dificultad para conectar la solución con plataformas SCADA, IoT y bases de datos SQL Server, lo que podría retrasar la implementación.	Alto	Medio	Diseñar una arquitectura flexible basada en APIs y middleware para garantizar compatibilidad.	Desarrollador Backend
Inconsistencias en los datos	Errores en la captura y procesamiento de KPI debido a datos dispersos o imprecisos, afectando la calidad de la toma de decisiones.	Alto	Alto	Implementar procesos de validación y limpieza de datos automáticos mediante ETL en Azure Data Factory.	Analistas de datos
Baja adopción por parte del personal	Resistencia al cambio debido a la curva de aprendizaje y temor a la automatización del proceso.	Medio	Alto	Diseñar un plan de capacitación progresivo con talleres,	Scrum Master

RIESGO / OPORTUNIDAD	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	PROBABILIDAD	ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN / IMPLEMENTACIÓN	RESPONSABLE
				formaciones personalizadas y guías interactivas.	
Fallos de ciberseguridad	Posibles ataques informáticos que comprometan la confidencialidad y disponibilidad de los datos operacionales.	Alto	Medio	Aplicar cifrado de datos, protocolos de autenticación múltiple, auditorías de seguridad y planes de contingencia.	Especialista en ciberseguridad
Obsolescencia tecnológica	Rápida evolución de las tecnologías utilizadas en la solución, generando incompatibilidades futuras.	Medio	Medio	Diseñar el sistema con modularidad para facilitar actualizaciones y garantizar la escalabilidad de la solución.	Líder de innovación
Dependencia de proveedores	Riesgo asociado a la contratación de servicios en la nube y licencias de software que pueden generar costos adicionales a largo plazo.	Alto	Bajo	Evaluar proveedores alternativos, negociar contratos con cláusulas de continuidad de servicio y establecer mecanismos de contingencia.	Líder de innovación y área de compras
Impacto ambiental y regulatorio	Cumplimiento con normativas ambientales y regulaciones gubernamentales en la operación del transporte de hidrocarburos.	Alto	Medio	Implementar auditorías periódicas y monitoreo en tiempo real de emisiones y consumo energético.	Experto en negocio
Automatización y reducción de costos	Uso de machine learning para la predicción de fallas, reduciendo costos de mantenimiento.	Alto	Medio	Integrar modelos de predicción de fallas en la infraestructura tecnológica de control.	Analista de datos y experto en negocio
Limitada capacidad de análisis energético para la toma de decisiones	El consumo energético está determinado por decisiones operativas, equipos y procesos del sistema de transporte	Alto	Medio	Implementar indicadores de consumo de energía, alertas ante desviaciones y análisis a partir de históricos de consumo de energía en el sistema de transporte	Ingeniería de infraestructura IoT, analista de datos y experto en negocio
Riesgo financiero en transición a implementación	Diferencias significativas entre los costos estimados del prototipo y los requeridos para su implementación completa.	Alto	Alto	Realizar análisis financiero iterativo desde el Sprint 2, y definir roadmap de inversión con priorización de funcionalidades clave.	Líder de innovación y experto en negocio
Expansión a otros sectores	Posibilidad de adaptar el modelo de KPI a manufactura y energías renovables.	Medio	Bajo	Evaluar casos de negocio en otros sectores y realizar pruebas piloto de la solución.	Líder de innovación y experto en negocio

Nota: Elaboración propia.

La gestión integral de riesgos y oportunidades contribuye a la minimización de amenazas potenciales, al fortalecimiento de la robustez operativa y a la optimización del desempeño del PGAI, asegurando su alineación con estándares internacionales de seguridad y eficiencia (ISO 31000, 2018). Adicionalmente, la aplicación de controles efectivos y la implementación de un seguimiento continuo facultan al sistema para adaptarse a los cambios frecuentes en la industria y consolidarse como una opción para la optimización de procesos en el sector. (ISO 31000, 2018; Project Management Institute, 2021).

7 Métricas de éxito y KPI de innovación

Los Objectives and Key Results (OKR) o métricas de innovación permiten el desarrollo adecuado y la lanificación de los sprints; además de inducir procesos de mejora continua

y garantizan que el PGAI responda a resultados concretos y medibles (Doerr, 2018; Project Management Institute, 2021; Kerzner, 2022).

7.1 OKR del PGAI

Para el PGAI los OKR están distribuidos en los sprints, con responsables específicos y reportes de avances, esto facilita el seguimiento continuo del proceso (Doerr, 2018).

Tabla 15 OKR del proyecto

OKR 1: Formular un sistema de monitoreo que fortalezca la toma de decisiones en tiempo real						
No.	Meta	Estrategia	Actividad	Indicador	Frecuencia	Responsable
1	Identificar un conjunto inicial de KPI enfocados en la eficiencia para la toma de decisiones en el transporte de hidrocarburos.	Revisión documental y entrevista a actores clave del proceso en el transporte de hidrocarburos y centros de control.	Elaborar una tabla con KPI críticos, su definición y su relevancia para centros de control.	90% de los KPI estratégicos definidos para los centros de control del sector transporte de hidrocarburos.	Trimestral	Analista de Datos
2	Formular un prototipo visual navegable para los KPI orientados al sector transporte de hidrocarburos.	Uso de herramientas de diseño para simular las principales vistas de los KPI.	Construir mockup del dashboard con visualización de alertas y KPI establecidos.	80% del prototipo visual desarrollado con enfoque en los KPI establecidos.	Trimestral	Desarrollador Backend
OKR 2: Evaluar la eficiencia y los beneficios potenciales del sistema de alertas inteligentes						
No.	Meta	Estrategia	Actividad	Indicador	Frecuencia	Responsable
3	Analizar comparativamente el escenario actual y el propuesto.	Definición de lineamientos para el diseño y aplicabilidad de las alertas inteligentes y KPI en centros de control del sector transporte de hidrocarburos.	Establecer la mejora de la implementación de alertas inteligentes y KPI en centros de control en términos de mejora de la eficiencia operativa y fortalecimiento del control y trazabilidad en la toma de decisiones.	100% de los lineamientos incorporados al prototipo propuesto.	Trimestral	Líder de Innovación, Experto en Negocio
OKR 3: Promover la apropiación del sistema por parte de los usuarios desde la etapa conceptual						
No.	Meta	Estrategia	Actividad	Indicador	Frecuencia	Responsable
4	Realizar una presentación del prototipo de KPI y alertas inteligentes, identificando funcionalidades relevantes para el usuario final.	Captura de percepciones iniciales de usuarios clave sobre el prototipo propuesto.	Aplicar una encuesta breve tipo NPS y una pregunta abierta tras la presentación del prototipo.	70% de participación positiva de los actores clave invitados a la socialización del diseño conceptual del prototipo.	Semestral	Scrum Master

Nota: Elaboración propia.

Los OKR dentro del marco metodológico SCRUM permiten definir una visión clara del objetivo del PGAI. Su aplicación permite que el equipo mantenga un enfoque en resultados concretos y alineados con las metas estratégicas formuladas al inicio del proceso (Doerr, 2018; Schwaber & Sutherland, 2020).

7.2 Métricas de innovación

Como complemento a los OKR, las métricas de innovación evalúan el impacto real del PGAI en la operación del sector de transporte de hidrocarburos, están enfocados en la experiencia del usuario, la eficiencia energética y la generación de valor. En la

metodología SCRUM, guían los ajustes entre sprints y orientan las decisiones de mejora del prototipo (Tidd & Bessant, 2021), además validan la adopción del PGAI en términos de eficiencia y sostenibilidad. Son insumo para las revisiones y retroalimentaciones entre sprints (Tidd & Bessant, 2021; Cooper, 2019; Schwaber & Sutherland, 2020).

Tabla 16 Métricas de innovación

MÉTRICA	DESCRIPCIÓN	PLAZO	RESPONSABLE	OBJETIVO ESPERADO
Tasa de adopción	% de centros de control que utilizan activamente el sistema.	4 meses	Scrum Master, Líder de Innovación	90%
Net Promoter Score (NPS)	Nivel de satisfacción de los usuarios con la solución.	4 meses	Experto en negocio	>70
Tiempo medio de aprendizaje	Tiempo requerido para capacitar a los operadores.	2 meses	Scrum Master	<4 semanas
Tiempo de respuesta ante alertas	Reducción en minutos en la detección y respuesta a incidentes.	4 meses	Analista de datos	20%
Reducción de eventos operativos inesperados	% de disminución en fallas detectadas.	4 meses	Ingeniero de Infraestructura IoT	10%
Mejora en eficiencia energética	Reducción en consumo de energía por unidad transportada.	4 meses	Analista de datos	1%

Nota: Elaboración propia.

8 Plan de gestión del cambio y adopción

El éxito del PGAI se materializa en la fase de implementación. Por consiguiente, resulta fundamental una adopción intuitiva y sencilla por parte de los usuarios finales, esto implica la mitigación de la resistencia al cambio mediante una efectiva socialización de los beneficios del piloto y la formulación de métricas claras y cuantificables para evaluar el proceso de implementación y de satisfacción del usuario.

8.1 Estrategia de comunicación interna y externa, mensajes clave y métricas

Esta etapa del PGAI está centrado en la definición de una estrategia de difusión estructurada de los beneficios del prototipo. En la cual se resalta el impacto en la optimización de las operaciones y su integración en los flujos de trabajo (Albuali, 2021).

Tabla 17 Estrategias de comunicación

OBJETIVO	AUDIENCIA	MENSAJE CLAVE	CANAL	RESPONSABLE	MÉTRICA
Informar y educar	Interna/Externa	Beneficios del sistema	Reuniones y capacitación asincrónica	Líder de innovación	Participación
Generar compromiso	Interna	Optimización de procesos	Talleres e intranet	Equipo de TI	Tasa de adopción
Construir confianza	Externa	Sostenibilidad y seguridad	<ul style="list-style-type: none"> Sesiones de cocreación con los operadores de los centros de control y profesionales del área técnica. Demostraciones funcionales del PGAI en el cual los usuarios puedan dar sus puntos de vista de la solución. Material audiovisual que muestre de manera general las funcionalidades de PGAI para 	Líder de Innovación y líder del negocio.	Cobertura

OBJETIVO	AUDIENCIA	MENSAJE CLAVE	CANAL	RESPONSABLE	MÉTRICA
			consulta por parte de los usuarios en el momento que lo requieran.		
Facilitar adopción	Interna	Soporte y capacitación	Capacitación y soporte técnico	Equipo de TI	Satisfacción
Comunicar valor	Externa/Interna	Resultados del proyecto	Comunicados de prensa y notas informativas	Líder de Innovación	Eficiencia operativa

Nota: Elaboración propia.

8.2 Cronograma de comunicación y responsables

El cronograma se divide en 4 fases clave, diseñadas para garantizar una adopción exitosa del PGAI.

Tabla 18 Cronograma de comunicación

NOMBRE DEL INTERESADO	RESPONSABLE DE ENVIAR LA INFORMACIÓN	SPRINTS	MÉTODO DE COMUNICACIÓN	INFORMACIÓN PARA COMUNICAR	FRECUENCIA DE ENVÍO
Operadores	Equipo de TI	2	Sesiones prácticas	Talleres de capacitación	Durante la Implementación (sprint 2)
Equipo técnico	Equipo de TI	2	Sesiones prácticas	Talleres de capacitación	Durante la Implementación (sprint 2)
Alta gerencia	Líder de innovación	3	Reunión presencial	Presentación ejecutiva de la solución	Al inicio del proyecto (sprint 3)
Operadores	Líder de innovación	3	Reunión presencial	Presentación ejecutiva de la solución	Al inicio del proyecto (sprint 3)
Alta gerencia	Líder de innovación	3,4,5	Informe ejecutivo	Reportes de impacto (ROI, eficiencia, TIR)	Quincenal (sprints 3-5)
Accionistas	Líder de innovación	3,4,5	Informe ejecutivo	Reportes de impacto (ROI, eficiencia, TIR)	Quincenal (sprints 3-5)
Todos los usuarios	Líder del negocio	3,4,5	Plataforma digital	Encuestas de satisfacción y retroalimentación	Semanal durante Post-Implementación (sprints 3-5)

Nota: Elaboración propia.

En la fase inicial de la estrategia de difusión, la atención se centra en la alta gerencia, socializando las ventajas de la implementación del PGAI. Posteriormente, se realizarán talleres dirigidos a los operadores y al equipo técnico, mediante sesiones prácticas del uso del PGAI. Finalmente, se recopilarán los resultados de la retroalimentación de todos los usuarios. Esta información permitirá iterar y optimizar los KPI propuestos, orientando los esfuerzos a la demostración cuantitativa de indicadores el ROI y la TIR, los cuales demuestran la viabilidad económica del PGAI.

9 Cultura de innovación y mejora continua

En el desarrollo del PGAI, la cultura de innovación es clave para la transformación digital y la eficiencia operativa. Este capítulo presenta los elementos que la sustentan, desde valores organizacionales hasta mecanismos para enfrentar la resistencia al cambio.

9.1 Valores y comportamientos que fomentan la innovación en la organización

Las entidades innovadoras en el sector de hidrocarburos promueven la adaptación al cambio, el aprendizaje constante y la cooperación multidisciplinaria (CENIT, 2024). En el PGAI, la innovación es un factor transversal desde su concepción, su iteración y su implementación.

9.2 Programas de incentivos para la innovación

Para una exitosa implementación del PGAI, la mejora continua es fundamental. Se proponen incentivos como reconocimientos internos, capacitaciones, participación en comunidades de colegas y/o el uso de estrategias de gamificación (medallas o logros virtuales).

9.3 Plan para abordar la resistencia al cambio

El manejo de la resistencia al cambio es un método progresivo, el cual inicia con la generación de confianza, posteriormente se potencia la participación hasta conseguir una apropiación orgánica por parte de los usuarios (Project Management Institute, 2021).

Para mitigar la resistencia al cambio, se implementarán campañas de expectativa que transmitan de manera clara las bondades del PGAI. Se utilizarán medio como correos masivos, elementos visuales y/ microcápsulas en redes sociales.

Paralelamente, mediante un análisis participativo se identifican las necesidades reales de los usuarios finales, a través de herramientas de captura de información como encuestas, entrevistas y sesiones grupales (*focus group*).

Al validar el PGAI, se contempla adelantar talleres enfocados en la formación práctica en la usabilidad del prototipo para todos los tipos de usuarios (operarios, supervisores, gerentes), también se contempla una selección de multiplicadores (usuarios entusiastas que hayan apropiado el prototipo con claridad y rapidez).

Finalmente, se establecerán y mantendrán canales de retroalimentación permanentes y accesibles (formularios en línea, espacios de conversación virtual y presencial, y un seguimiento periódico del uso y el impacto del PGAI).

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

El análisis del estado actual de la gestión de KPI y alertas en los centros de control evidenció limitaciones como la falta de integración entre las fuentes de información y de herramientas analíticas para la toma de decisiones en tiempo real. Estas consideraciones justificaron la necesidad de una solución como PGAI, orientada a centralizar los datos en una única plataforma, generar alertas inteligentes y mejorar la capacidad de respuesta ante escenarios operativos.

El análisis documental permitió identificar y contrastar distintos enfoques tecnológicos, arquitecturas funcionales y buenas prácticas en la gestión de indicadores operativos y sistemas de alerta en entornos industriales. A partir de esta revisión se definieron cuatro KPI estratégicos (eficiencia operativa, costos de transporte, cumplimiento del programa y eficiencia energética) esto permitió el diseño de una solución tecnológicamente relevante y organizacionalmente factible como PGAI.

La identificación de las necesidades operativas del sector permitió que el PGAI se centrara en dar respuesta a oportunidades como la automatización en la detección de desviaciones, la visualización de métricas clave para la operación y la consolidación de datos críticos en tiempo real.

El análisis del PGAI como una herramienta que aporta a la sostenibilidad operacional, se evidencia en su capacidad para reducir el consumo energético, minimizar eventos operativos adversos y optimizar recursos en el transporte de hidrocarburos, además de contribuir a la mejora tecnológica de la industria y alinearse con el *ODS 9 Industria, innovación e infraestructura*.

El PGAI representa una solución estratégica e innovadora para el sector transporte de hidrocarburos, al incorporar capacidades de seguimiento en tiempo real, analítica y visualización de datos mediante tecnología de punta, mejora la eficiencia operativa, reduce costos y fortalece la sostenibilidad organizacional. Además de su funcionalidad técnica, el prototipo demuestra comprensión del entorno operativo, escalabilidad y potencial de impacto para el sector hidrocarburos, estableciéndose como una herramienta importante para desarrollar modelos de operación más resilientes, digitales e inteligentes.

Recomendaciones

- Fortalecimiento de la gobernanza y calidad de datos: Diseñar e implementar un marco de gobernanza de datos que defina estándares, roles y procedimientos para garantizar la integridad, trazabilidad y seguridad de la información que alimenta el sistema.
- Gestión del cambio y fortalecimiento del talento humano: Desarrollar un programa de formación y apropiación tecnológica destinado al personal técnico y operativo, enfocado en competencias digitales, análisis de datos y uso estratégico de herramientas de monitoreo inteligente.
- Supervisión tecnológica e innovación continua: Establecer un proceso de monitoreo de tecnologías en auge (IoT, machine learning, big data) que permita la actualización del prototipo, la inclusión de nuevas funcionalidades y conservar su relevancia frente a la transformación entorno tecnológico.
- Validación de los marcos de procesos para la generación de datos: Revisar y ajustar los procedimientos operativos que actualmente realizan los operadores en los centros de control para obtener la información de los sistemas de transporte. Esta revisión debe garantizar que los datos generados cumplan con criterios de confiabilidad, integridad y disponibilidad.
- Registro de aprendizajes y buenas prácticas: Capturar y difundir internamente las lecciones aprendidas, indicadores de impacto y experiencias de los usuarios durante el desarrollo y validación del prototipo, fortaleciendo las capacidades de la organización para futuros proyectos de innovación.

Referencias

Ahmad, R. W., Salah, K., Jayaraman, R., Yaqoob, I., & Omar, M. (2021). Blockchain in Oil and Gas Industry: Applications, Challenges, and Future Trends.

<https://doi.org/10.36227/techrxiv.16825696.v1>

Albuali, Murtadha. (2021). Effective Strategies for Communicating and Managing Communication in a Project Team: My Perspective. *International Journal of Applied Industrial Engineering*. 8. 1-11. 10.4018/IJAIE.20210101.0a1.

AVEVA. (2023). *AVEVA Plant SCADA 2023 R2 – Product datasheet and features*.

Recuperado el 16 de mayo de 2025, de <https://www.aveva.com/en/products/plant-scada/>

Brown, T. (2009). *Change by Design: How Design Thinking Creates New Alternatives for Business and Society*. Harper Business.

CENIT. (2024, marzo). Informe de gestión sostenible 2023. CENIT Transporte y Logística de Hidrocarburos. Recuperado el 16 de mayo de 2025, de <https://cenit-transporte.com/wp-content/uploads/2024/03/19-Marzo-INFORME-SOSTENIBILIDAD-CENIT-2023-19F-MAR-comprimido.pdf>

Choi, Y., Lee, C., & Song, J. (2017). Review of renewable energy technologies utilized in the oil and gas industry. In *INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH* Y. Choi et al (Vol. 7, Issue 2).

<https://www.researchgate.net/publication/317949875>

Cooper, R. G. (2019). *The Agile Stage-Gate Hybrid Model: A New Approach to Managing Product Development*. Routledge.

Departamento Nacional de Planeación. (2022). Informe anual de avance en la implementación de los ODS en Colombia 2022. Recuperado el 16 de mayo de 2025, de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Sinergia/Documentos/2022_14_04_Informe_anual_avance_implementacion_ODS_en_Colombia_2022.pdf

Doerr, J. (2018). **Measure what matters: How Google, Bono, and the Gates Foundation rock the world with OKRs**. Portfolio.

- García, J. M. (2023). Diseño e implementación del sistema de gestión integral de indicadores clave de desempeño (KPI) en Grupo Petromil. Universidad del Norte. Recuperado el 16 de mayo de 2025, de <https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/12998>
- Gasca, J. & Zaragoza, R. (2020). El Workbook de DesignPedia. Itinerarios para innovar: Producto - Experiencia de cliente (CX) - Modelo de negocio: (1 ed.). LID Editorial España. <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/lc/bibliotecaean/titulos/269735>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2001). Metodología de la investigación (2.ª ed., pp. 52–134). McGraw-Hill.
- Honeywell. (2023). Experion HS R510 – Integrated SCADA and HMI solution. Recuperado el 16 de mayo de 2025, de <https://process.honeywell.com/us/en/solutions/products/experion-scada>
- iLab. (2025). Herramienta de Innovación, How might we? Obtenido de iLab: <https://ilab.net/herramientas-innovacion/how-might-we/>
- Indra. (2021, 18 de octubre). La tecnología apoya los desafíos de la industria de hidrocarburos para la transformación energética y la reducción del impacto ambiental. Indra. Recuperado el 16 de mayo de 2025, de <https://www.indracompany.com/es/noticia/tecnologia-apoya-desafios-industria-hidrocarburos-transformacion-energetica-reduccion>
- ISO 27001. (2018). Information technology — Security techniques — Information security management systems — Requirements. International Organization for Standardization.
- ISO 31000. (2018). Risk management - Guidelines. International Organization for Standardization.
- Kaneko Aguilar, J. J. (2020). Story cards para la gestión de talento: storytelling, storyboard y role-playing game: (ed.). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/lc/bibliotecaean/titulos/171644>
- Kerzner, H. (2022). Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling (13th ed.). Wiley.

- Knapp, J., Zeratsky, J., & Kowitz, B. (2016). *Sprint: How to solve big problems and test new ideas in just five days*. Simon & Schuster.
- Meza Orozco, M. (2013). La automatización en sistemas SCADA*. *Revista Técnica de Automatización*, 15(2), 33-45.
- Ministerio de Minas y Energía. (2023). Informe de rendición de cuentas 2023. Oficina de Planeación y Gestión Internacional. Recuperado el 16 de mayo de 2025, de https://www.minenergia.gov.co/documents/11068/Informe_de_Rendicion_de_Cuentas_Nov2023.pdf
- Nkem Elliot, K., Domingo, L., Nkem, K., & Adawari, L. (2024). APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE OIL AND GAS INDUSTRY. APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE OIL AND GAS INDUSTRY Article in *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. <https://doi.org/10.56726/IRJMETS57687>
- Nzubechukwu Chukwudum Ohalete, Adebayo Olusegun Aderibigbe, Emmanuel Chigozie Ani, Peter Efosa Ohenhen, & Abiodun Akinoso. (2023). Advancements in predictive maintenance in the oil and gas industry: A review of AI and data science applications. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 20(3), 167–181. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.20.3.2432>
- Ortiz, L., & Pardo, M. (2021). *Indicadores de desempeño operacional en sistemas de transporte de hidrocarburos*. *Revista de Ingeniería Industrial*, 19(3), 77–89.
- Project Management Institute (PMI). (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) (7th ed.)*. Project Management Institute.
- Ries, E. (2011). *The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses*. Crown Business.
- Rockwell Automation. (2024). *FactoryTalk View SE – Supervisory HMI software*. Recuperado el 16 de mayo de 2025, de <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/software/factorytalk/view.html>
- Rosenbaum, M. S., Losada Otalora, M., & Contreras Ramírez, G. (2017). How to create a realistic customer journey map. *Business Horizons*, 60(2), 143-150. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2016.09.010>

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). **The Scrum Guide**. Scrum.org. Recuperado el 16 de mayo de 2025, de <https://scrumguides.org/scrum-guide.html>

Stolyarov, V. E. (n.d.). The use of intelligent technologies in the development of wells and oil and gas fields on the basis of complex projects Институт проблем нефти и газа РАН. <https://www.researchgate.net/publication/371119971>

Tidd, J., & Bessant, J. (2021). *Managing Innovation: Integrating Technological, Market, and Organizational Change*. Wiley.

Trujillo Moya, G. (2022). *Desarrollo de un modelo para la gestión de indicadores clave de desempeño (KPI) en la industria petrolera*. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado el 16 de mayo de 2025, de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/43924/TrujilloMoyaGuillermo2022.pdf>

A. Anexo. Análisis DOFA

Tabla 19 Análisis DOFA de capacidades internas

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> ○ Conocimiento profundo del sector de transporte de hidrocarburos y sus desafíos operativos. ○ Capacidad para integrar tecnologías avanzadas como IA, IoT y análisis de datos. ○ Experiencia en el desarrollo de soluciones de software y la implementación de metodologías ágiles. ○ Compromiso con la sostenibilidad y la eficiencia energética. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ La creciente demanda de digitalización y automatización en el sector de hidrocarburos. ○ El potencial para expandir la solución a otros sectores y procesos dentro de la organización. ○ La posibilidad de contribuir a los objetivos de desarrollo sostenible y mejorar la imagen corporativa.
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> ○ Posible dependencia de proveedores externos para ciertas tecnologías o componentes. ○ Necesidad de una validación continua con usuarios finales para asegurar la usabilidad y efectividad del prototipo. ○ La ciberseguridad debe de ser un punto muy importante a tomar en cuenta. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ La rápida evolución de la tecnología y la necesidad de mantenerse actualizado. ○ La competencia de otras empresas que ofrecen soluciones similares. ○ Cambios en la regulación o en las condiciones del mercado que puedan afectar la demanda de la solución.

Nota: Elaboración propia.