



IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN BASADO EN LA COMBINACIÓN DE SCRUM Y CASCADA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN LOS PROYECTOS DE RECOBRO MEJORADO GESTIONADOS POR ECOPETROL EN EL DEPARTAMENTO DEL META ACORDE CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)¹

IMPLEMENTATION OF A MANAGEMENT MODEL BASED ON THE COMBINATION OF SCRUM AND WATERFALL FOR PROCESS OPTIMIZATION IN ENHANCED OIL RECOVERY PROJECTS MANAGED BY ECOPETROL IN THE META DEPARTMENT IN ACCORDANCE WITH THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS (SDGS)

Milton Harbey Tellez Jiménez

Estudiante de Maestría en Gerencia de Proyectos
Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). mtellezj@gmail.com

Carlos Alberto Ortiz

Estudiante de Maestría en Gerencia de Proyectos.
Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

¹ Este documento de trabajo se deriva de la tesis de maestría de los autores, titulada “Implementación de un modelo de gestión basado en la combinación de *scrum* y cascada para la optimización de procesos en los proyectos de recobro mejorado gestionados por Ecopetrol en el departamento del Meta acorde con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS)” (2025) presentada en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia.



RESUMEN

Lo que se buscó con el desarrollo de la tesis fue el mejoramiento y la optimización de la gestión de proyectos de recobro mejorado en la industria petrolera en el departamento del Meta, Colombia. En los yacimientos maduros de hidrocarburos, se aplica la técnica de recobro mejorado, la cual incrementa la extracción de hidrocarburos, pero igualmente aumenta su grado de complejidad, debido a su duración prolongada, sus altos costos y la incertidumbre técnica. Estos proyectos se han gestionado y desarrollado aplicando metodologías tradicionales o predictivas, como la metodología de cascada, que, si bien ofrece un control riguroso, a menudo demuestra ser inflexible ante los cambios inherentes a la industria y al dinámico entorno operativo.

Esta inflexibilidad puede conducir a gastos adicionales, aplazamientos y una capacidad restringida para manejar situaciones inesperadas, lo que afecta directamente la efectividad operativa y el éxito financiero de la compañía. Además, existe una necesidad global y local de alinear las actividades de la empresa con los objetivos desarrollo sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, lo que requiere un liderazgo que no solo sea efectivo, sino que también se preocupe por la sociedad y la naturaleza.

El objetivo principal de esta investigación fue implementar un modelo de gestión híbrido, combinando la metodología ágil *scrum* con la estructura tradicional de cascada, con el fin de optimizar los procesos en los pro-

yectos de recobro mejorado de Ecopetrol en el Meta, integrando simultáneamente los ODS. La hipótesis subyacente radicó en que un enfoque híbrido podría capitalizar las fortalezas de ambas metodologías: la predictibilidad y el control de cascada para las fases de planificación y diseño inicial, y la flexibilidad y adaptabilidad de *scrum* para la ejecución, el monitoreo y la respuesta rápida a la incertidumbre. Esta combinación buscaba no solo mejorar la eficiencia y la capacidad de respuesta, sino también asegurar que los proyectos contribuyeran activamente a ODS específicos, como la energía asequible y no contaminante (ODS 7), la industria, la innovación e infraestructura (ODS 9), la acción por el clima (ODS 13) y la producción y el consumo responsables (ODS 12).

La metodología utilizada fue un enfoque mixto, combinando elementos cualitativos y cuantitativos, con un diseño de investigación-acción que resultó adecuado para implementar y evaluar modelos en un entorno real. La investigación comenzó con un diagnóstico detallado de la situación actual de la gestión de proyectos de recobro mejorado en Ecopetrol, en el que se identificaron las debilidades de los enfoques existentes mediante una revisión de documentos, entrevistas con partes interesadas y un análisis de datos históricos. Este análisis sirvió de base para el diseño del modelo híbrido, denominado MH-GAEP, que se estructuró para aplicar el enfoque de cascada en las etapas que requieren un alto nivel de definición, como la conceptualización y la ingeniería básica,



antes de pasar a fases de ejecución gestionadas bajo los ciclos iterativos de *scrum*. Una de las características innovadoras del modelo MH-GAEP fue la inclusión explícita de los “criterios de sostenibilidad” en la planificación de los *sprints*, así como la asignación de roles para la “validación ESG” (Ambiental, Social y de Gobernanza) y la “planificación de la integración con ODS”. Estos mecanismos garantizaron que las consideraciones ambientales, sociales y de gobernanza estuvieran integradas en cada iteración del proyecto, en lugar de ser requisitos añadidos al final.

Los resultados iniciales de esta iniciativa fueron prometedores. Se observaron mejoras sustanciales en la **eficiencia operativa** y en la **velocidad de respuesta** ante los desafíos del proyecto. La colaboración entre los distintos equipos fue un impulso positivo y facilitó la resolución de problemas y la toma de decisiones.

Además, el proyecto integró principios clave de sostenibilidad desde sus etapas más tempranas. Esto aseguró que las operaciones no solo cumplieran con los objetivos de negocio, sino que también contribuyeran

activamente a los compromisos ambientales y sociales de la empresa.

Este nuevo modelo de gestión ha demostrado su validez y está empezando a replicarse en otras áreas de Ecopetrol. Esto incluye sectores como la infraestructura, las energías renovables y la gestión ambiental, lo que subraya su potencial para impulsar la transformación dentro de la compañía. Se espera que esta metodología contribuya a un futuro más eficiente y responsable para Ecopetrol.

Este trabajo valida la efectividad de una **metodología de gestión innovadora** diseñada para enfrentar las complejidades de los proyectos de recobro mejorado. Se propone un sistema que no solo mejora la **productividad** mediante su diseño flexible y adaptable, sino que también sienta las bases para una operación más consciente del impacto ambiental y social en el sector de hidrocarburos.

Palabras clave: gestión de proyectos; *scrum*; cascada; modelo híbrido; recobro mejorado; objetivos de desarrollo sostenible (ODS); optimización de procesos.



ABSTRACT

The aim of this thesis was to improve and optimize the management of enhanced oil recovery (EOR) projects in the oil industry within the Meta department, Colombia. In mature hydrocarbon fields, EOR techniques are applied to increase hydrocarbon extraction. However, these techniques also increase project complexity due to their prolonged duration, high costs, and technical uncertainty. Historically, these projects have been managed using traditional or predictive methodologies, such as the Waterfall methodology. While Waterfall offers rigorous control, it often proves inflexible in the face of inherent industry changes and the dynamic operational environment.

This inflexibility can lead to additional expenses, delays, and a restricted capacity to handle unexpected situations, directly affecting the operational effectiveness and financial success of the company. Furthermore, there is a global and local need to align industrial activities with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), which requires leadership that is not only effective but also socially and environmentally conscious.

The primary objective of this research was to implement a hybrid management model, combining the agile Scrum methodology with the traditional Waterfall structure. This aimed to optimize processes in Ecopetrol's EOR projects in Meta, while simultaneously integrating the SDGs. The underlying hypothesis was that a hybrid approach

could leverage the strengths of both methodologies: the predictability and control of Waterfall for initial planning and design phases, and the flexibility and adaptability of Scrum for execution, monitoring, and rapid response to uncertainty. This combination sought not only to improve efficiency and responsiveness but also to ensure that projects actively contributed to specific SDGs, such as Affordable and Clean Energy (SDG 7), Industry, Innovation and Infrastructure (SDG 9), Climate Action (SDG 13), and Responsible Consumption and Production (SDG 12).

The methodology used was a mixed-methods approach, combining both qualitative and quantitative elements, with an action-research design. This proved to be ideal for implementing and evaluating models in a real-world setting. The research began with a detailed diagnosis of the current situation in Ecopetrol's EOR project management. This involved identifying weaknesses in existing approaches through document review, interviews with stakeholders, and an analysis of historical data. This analysis formed the basis for designing the hybrid model, called MH-GAEP.

The MH-GAEP model was structured to apply the Waterfall approach in stages requiring a high degree of definition, such as conceptualization and basic engineering, before transitioning to execution phases managed under iterative Scrum cycles. One of the innovative features of the MH-GAEP



model was the explicit inclusion of “sustainability criteria” in sprint planning, as well as the assignment of roles for “ESG validation” (Environmental, Social, and Governance) and “SDG integration planning.” These mechanisms ensured that environmental, social, and governance considerations were integrated into each project iteration, rather than being added as afterthoughts.

The initial results of this initiative have been promising. Substantial improvements were observed in operational efficiency and in the speed of response to project challenges. Collaboration among different teams also improved, facilitating problem-solving and decision-making.

Furthermore, the project integrated key sustainability principles from its earliest stages. This ensured that operations not only met business objectives but also actively contributed to the company’s environmental and social commitments.

This new management model has demonstrated its validity and is beginning to be replicated in other areas of Ecopetrol. This includes sectors such as infrastructure, renewable energy, and environmental management, underscoring its potential to drive transformation within the company. It is expected that this methodology will contribute to a more efficient and responsible future for Ecopetrol.

This work validates the effectiveness of an innovative management methodology designed to address the complexities in resource recovery projects. It proposes a system that not only enhances productivity through its flexible and adaptable design but also lays the groundwork for a more environmentally and socially conscious operation in the hydrocarbon sector.

Keywords: project management; scrum; hybrid model; enhanced oil recovery (EOR); sustainable development goals (SDG); process optimization.



INTRODUCCIÓN

En estos momentos, la industria energética global se encuentra ante una demanda que se incrementa día a día, mercados con fluctuaciones dinámicas, técnicas de explotación de recursos no convencionales cada vez más complejas y la necesidad de aumentar la producción y avanzar hacia una transición energética basada en formas de producción más sostenibles y responsables. En este contexto, la gestión de proyectos se presenta no solo como una disciplina meramente operativa, sino como una disciplina estratégica y dinámica capaz de determinar la viabilidad, la competitividad y la reputación de las empresas.

En el enorme y complicado mundo de la energía, los proyectos de recobro mejorado son un ejemplo perfecto de los desafíos y las oportunidades que la industria del petróleo y el gas enfrenta hoy. Estos proyectos buscan extraer hasta la última gota de petróleo de yacimientos que ya están viejos o maduros, utilizando técnicas avanzadas como la inyección de vapor, gases o polímeros.

Sin embargo, su gestión es compleja. Estos proyectos son famosos por sus altos costos, su prolongada duración y por un alto grado de incertidumbre geológica y técnica. Además, requieren una colaboración intrincada entre numerosos de ingenieros y especialistas de diferentes áreas. Por eso, manejar estos proyectos de forma efectiva no es solo cuestión de la calidad del trabajo técnico; es fundamental tener la capacidad de adaptarse a lo inesperado y, cada vez más, alinearse

con criterios de sostenibilidad. Es decir, hacer las cosas bien y de forma responsable con el planeta y la sociedad.

En este contexto, Ecopetrol S.A., la empresa petrolera más importante de Colombia, constituye un caso relevante para analizar la gestión de sus proyectos de recobro mejorado, especialmente en el departamento del Meta. Lo que sucede allí es un reflejo de la complejidad que enfrenta la industria a nivel global.

Históricamente, Ecopetrol, al igual que muchas otras empresas de energía tradicionales, ha confiado en un tipo de gestión de proyectos que podemos llamar “predictiva”. La metodología cascada (*waterfall*) es un ejemplo representativo. Este enfoque es muy estructurado: una fase sigue a la otra de forma lineal y rigurosa (primero se definen las necesidades, luego se diseña, se implementa, se prueba y, finalmente, se pone en marcha). Se parte de la idea de que podemos tener todo muy claro desde el principio (Kerzner, 2022).

Ahora, si bien esta rigidez puede dar una sensación de control y genera mucha documentación, su inflexibilidad inherente se convierte en un gran problema cuando el entorno es tan incierto y cambiante, como ocurre en los yacimientos maduros o con las tecnologías de recobro mejorado. La realidad de estos proyectos a menudo obliga a lidiar con nuevas condiciones geológicas, variaciones en el comportamiento de los fluidos del yacimiento o la necesidad de ajustar las estrategias de inyección y producción con base en los resultados iniciales.



Cuando estos cambios aparecen en etapas avanzadas del proyecto, la naturaleza secuencial de cascada nos obliga a realizar costosas replanificaciones, a detener procesos importantes y, al final, a generar desviaciones significativas en el presupuesto y el cronograma. Esto, sin duda, afecta la eficiencia operativa y la rentabilidad esperada. La poca capacidad de recibir retroalimentación a tiempo y la detección tardía de errores o problemas de diseño son consecuencias directas de esta rigidez, lo que termina impactando negativamente la competitividad de la empresa en un mercado que es cada vez más ágil y volátil.

Más allá de los números y la eficiencia operativa, Ecopetrol siente cada vez más la urgencia, tanto en Colombia como a nivel global, de alinear su forma de trabajar con los ODS de las Naciones Unidas. Estos 17 objetivos, que la comunidad internacional adoptó en el 2015, son una brújula moral y práctica para enfrentar los grandes retos del presente: acabar con la pobreza, reducir las desigualdades, luchar contra el cambio climático, cuidar el planeta, y construir un futuro más justo y en paz.

Para una empresa del tamaño y la influencia de Ecopetrol, integrar estos ODS en cada estrategia y en cada proyecto ya no es un favor ni una opción; es un requisito indispensable. Esto es clave para asegurar su

“licencia social para operar”, es decir, la aceptación y la confianza de las comunidades y de la sociedad en general. También ayuda a manejar los riesgos legales y de reputación, y es fundamental para atraer a inversionistas que hoy más que nunca buscan empresas que cumplan con criterios ESG (ambientales, sociales y de gobernanza)

Al considerar los proyectos de recubro mejorado, por su huella ambiental (la forma en que utilizan el agua, manejan los residuos y emiten gases de efecto invernadero) y por cómo interactúan con las comunidades locales, estos proyectos tienen un impacto directo en varios ODS cruciales. Se hace referencia, por ejemplo, al ODS 7 (energía asequible y no contaminante), al ODS 9 (industria, innovación e infraestructura), al ODS 12 (producción y consumo responsables) y al ODS 13 (acción por el clima).

El gran desafío hasta ahora es que ha faltado una forma estructurada, una metodología clara, para integrar estas consideraciones de sostenibilidad desde el inicio mismo, desde las fases más tempranas de planificación y ejecución de los proyectos. Esto ha llevado a que la sostenibilidad se vea a menudo como una casilla que se marca al final, o como un “extra” al trabajo principal, en lugar de ser una parte inherente, una pieza fundamental de cada decisión que se toma y de cada proceso que se optimiza.

Planteamiento del problema

El gran problema que impulsa esta investigación radica en una contradicción fundamental: la naturaleza incierta y cambiante de los pro-

yectos de recubro mejorado entra en conflicto con los modelos de gestión rígidos que Ecopetrol ha usado tradicionalmente.



Los yacimientos de petróleo, sobre todo los que presentan un mayor grado de madurez, son como rompecabezas geológicos con piezas que no podemos ver del todo al principio. Al usar técnicas de recobro mejorado, como la inyección de vapor o polímeros, todo se vuelve aún más complejo. Es necesario entender cómo interactúan los fluidos con la roca, cómo se distribuyen los fluidos inyectados y cómo responde el yacimiento con el tiempo.

Todas estas variables cambian a medida que obtenemos más información de las perforaciones, la producción y las pruebas. Esto genera una gran incertidumbre técnica y operativa; es como intentar seguir un mapa muy estricto cuando el terreno cambia constantemente. Ahí es cuando la rigidez de los sistemas de gestión tradicionales dificulta la adaptación a las condiciones del proyecto.

La metodología cascada, a pesar de ser útil cuando todo está claro y definido desde el principio, simplemente no es suficiente para manejar la incertidumbre que caracteriza estos proyectos. Para empezar un proyecto, este enfoque requiere que gran parte de los elementos del plan estén listos y cerrados desde el principio. Cuando algo inesperado sucede o necesitamos cambiar el rumbo, puede producirse una “crisis” de gestión.

Cualquier solicitud de cambio tiene que pasar por un proceso formal de aprobación que puede ser prolongado. Esto ralentiza nuestra capacidad de respuesta, genera retrasos y, lo que es peor, a menudo implica costos adicionales significativos porque hay que rehacer trabajos o rediseñar elementos del proyecto. Esta lentitud para adaptarnos se traduce directamente en sobrecostos

y retrasos en los cronogramas, algo muy común en los proyectos grandes (Project Management Institute [PMI], 2017).

Además, esa desconexión entre una planificación que se hizo hace mucho tiempo y la realidad cambiante de la ejecución genera frustración en los equipos y baja la moral. Al final, la eficiencia operativa no es la óptima. Si se identifican errores de diseño o nuevas oportunidades de mejora a mitad del camino, estos no pueden incorporarse con rapidez. Esto afecta la calidad final del proyecto y el valor que aporta al negocio. La forma en que gestionamos el proyecto se fragmenta, aparecen cuellos de botella al aprobar cambios y la comunicación entre los diferentes equipos es ineficaz, ya que solo interactúan en puntos de control predefinidos.

A toda la complejidad que ya hemos mencionado, se suma una urgencia creciente: integrar la sostenibilidad en todo lo que hacemos. La industria de hidrocarburos ya no solo es juzgada por cuánto dinero genera, sino también por el impacto que tiene en el medioambiente y en la sociedad. Hoy en día, los inversores, los bancos y la sociedad civil exigen más transparencia y responsabilidad.

Los proyectos de recobro mejorado consumen recursos (agua, energía), generan residuos y, a menudo, operan en ecosistemas delicados. Por eso, necesitan incorporar de forma proactiva estrategias para minimizar su huella ecológica y potenciar su impacto social positivo. Si no tenemos una metodología que integre los ODS de forma sistemática, la sostenibilidad suele quedarse en un simple cumplimiento de normas o en un “extra”, en lugar de ser un verdadero motor de innovación y eficiencia.



Ecopetrol, como actor clave en el desarrollo sostenible de Colombia, necesita una herramienta de gestión que le permita no solo decir que está comprometido con los ODS, sino demostrarlo en cada proyecto que ejecuta.

Cuando juntamos todas estas piezas del rompecabezas —la ineficiencia que viene de usar métodos rígidos en un mundo lleno de incertidumbre y la urgencia de integrar la sostenibilidad—, es cuando realmente entendemos el problema central de esta investigación.

Justificación de la investigación

Esta investigación tiene un propósito claro y sólido, fundamentado en varios pilares: el estratégico, el operativo, el económico y el de sostenibilidad. Todos son vitales para que Ecopetrol mantenga su relevancia y su impacto en el desafiante escenario energético actual.

Desde el punto de vista estratégico y operativo, optimizar los proyectos de recubro mejorado es crucial para Ecopetrol. Con menos descubrimientos de grandes yacimientos convencionales, el recubro mejorado se ha convertido en una estrategia clave para asegurar la producción a largo plazo y maximizar el valor de los recursos disponibles. Pero, ¿cómo logramos ese valor? Este está directamente ligado a la eficiencia con que se ejecutan estos proyectos.

Los sobre costos y retrasos recurrentes, que nacen de la inflexibilidad de los modelos de gestión tradicionales, no solo reducen la rentabilidad, sino que también limitan la capacidad de invertir en otras iniciativas

Aquí descubrimos una brecha crítica en la gestión que Ecopetrol realiza de sus proyectos de recubro mejorado con el sistema actual. Hay una necesidad imperiosa de evolucionar hacia un modelo que sea a la vez adaptable y eficiente, y que incorpore la sostenibilidad de forma proactiva. Por tanto, se requiere avanzar hacia un modelo de gestión más flexible, eficiente y responsable.

importantes, como la transición energética. Por eso, implementar un **modelo híbrido** que combine la predictibilidad de cascada con la adaptabilidad de *scrum* es una respuesta directa a esta necesidad. Este modelo permite mantener el control y la estructura necesaria para proyectos de alta inversión, mientras incorpora la agilidad requerida para manejar la incertidumbre y los cambios constantes. Como resultado, se espera una mayor eficiencia, decisiones más rápidas y una mejor asignación de recursos. La agilidad en la gestión de proyectos es hoy un diferenciador competitivo en diversas industrias.

Un modelo de gestión más eficiente tiene un impacto directo y positivo en los resultados económicos de Ecopetrol. Al reducir los sobre costos, disminuir los tiempos de comercialización de los hidrocarburos (al finalizar los proyectos EOR en menor tiempo) y optimizar el uso de recursos (ya sean humanos, materiales o financieros), se ge-



neran ahorros significativos y un aumento notable de la rentabilidad. Además, cuando la gestión de proyectos es más predecible y adaptable, se reducen los riesgos financieros asociados a los desvíos de presupuesto y cronograma. Esto, a su vez, puede mejorar la imagen de la empresa ante inversores y acreedores. La capacidad de demostrar una gestión de proyectos más eficiente y resiliente puede fortalecer la posición de Ecopetrol en el mercado de capitales y facilitar el acceso a nuevas fuentes de financiación.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, la justificación es aún más urgente. La agenda de los ODS no es una moda pasajera; es un marco global que está cambiando lo que todos (inversores, clientes, comunidades) esperan del desempeño de las empresas. Para una compañía de energía como Ecopetrol, integrar la sostenibilidad no es solo “hacer lo correcto”, sino garantizar su continuidad operativa y mantener su “licencia social” (Frynas, 2009).

Una gestión de proyectos que integre los ODS de manera proactiva permite a Ecopetrol mitigar riesgos ambientales y sociales: al considerar la huella de carbono, el consumo de agua, la gestión de residuos y el impacto en las comunidades desde la planificación del proyecto, se pueden identificar y reducir riesgos mucho antes de que se conviertan en problemas reales, evitando multas, conflictos sociales y daños a la reputación.

Un modelo de gestión más eficiente no solo se traduce en mejores resultados económicos para Ecopetrol; también genera beneficios clave. Al buscar contribuir a los ODS, como el ODS 12 (producción y consumo responsables), la empresa se ve impulsada a optimizar el uso de sus recursos, lo cual es ventajoso económicamente.

Demostrar un compromiso genuino con la sostenibilidad, visible en la ejecución de los proyectos, fortalece la reputación de la empresa. Esto, a su vez, atrae talento y mejora las relaciones con las comunidades locales, los reguladores y los inversores. El hecho de que proyectos gestionados bajo este modelo hayan obtenido “financiamiento verde” es una prueba concreta de este beneficio. Además, integrar los ODS actúa como un catalizador para la innovación, impulsando la búsqueda de soluciones más limpias y socialmente inclusivas.

Finalmente, esta investigación representa un aporte valioso a la gestión de proyectos. Su aplicación y validación en proyectos de recobro mejorado, así como la inclusión explícita de los ODS como eje central, constituyen una contribución significativa. Los hallazgos de esta tesis pueden servir como una guía para otras compañías del sector energético y fomentar la mejora continua en la gestión de proyectos.

Objetivos de la investigación

La investigación se articuló en torno a un objetivo general y una serie de objetivos

específicos que, de manera secuencial y acumulativa, permitieron abordar la compleja



problemática y construir la solución propuesta.

Objetivo general

El objetivo general que orientó la totalidad de la tesis fue: “Implementar un modelo de gestión híbrido, basado en la combinación de *scrum* y cascada, para la optimización de procesos en los proyectos de recobro mejorado gestionados por Ecopetrol en el departamento del Meta, acorde con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS)”.

Este objetivo general encapsula la esencia de la investigación: la creación y validación de una nueva metodología de gestión que busca resolver las ineficiencias operativas y, simultáneamente, elevar el estándar de sostenibilidad en un tipo de proyecto crucial para Ecopetrol. La delimitación geográfica al departamento del Meta subraya la aplicación práctica y contextualizada del modelo.

Objetivos específicos

Para desglosar el objetivo general en pasos manejables y medibles, se formularon los siguientes objetivos específicos.

- **Diagnosticar la situación actual de la gestión de proyectos de recobro mejorado en Ecopetrol en el departamento del Meta:** este primer objetivo fue la base sobre la cual se construyó toda la investigación. Implicó una inmersión profunda en las prácticas de gestión existentes. Se buscó identificar los puntos débiles y las ineficiencias inherentes a las metodologías de gestión actualmente utilizadas en estos proyectos. Esto incluyó el análisis de

desviaciones recurrentes en costos y cronogramas, la identificación de cuellos de botella en los flujos de trabajo, la evaluación de la capacidad de respuesta a los cambios inesperados y la revisión de los mecanismos (o la ausencia de ellos) para la integración de factores externos como los riesgos ambientales y sociales, así como las oportunidades de contribución a los ODS. La meta era obtener una comprensión granular de “qué funciona” y “qué no funciona” en la gestión actual para poder diseñar una solución que abordara las causas raíz de los problemas, no solo sus síntomas.

- **Diseñar un modelo de gestión híbrido (*scrum*-cascada) adaptado a las particularidades de los proyectos de recobro mejorado e integrar los ODS:** una vez que se comprendieron las deficiencias, este objetivo se centró en la creación de la solución. El diseño del “Modelo híbrido de gestión ágil para proyectos de Ecopetrol” (MH-GAEP) fue un proceso iterativo que tomó en cuenta las características específicas de los proyectos EOR (alta complejidad técnica, incertidumbre geológica, grandes inversiones). Se definió cómo las fases de alta predictibilidad (como la conceptualización y la ingeniería básica) se gestionarían bajo un enfoque de cascada robusto, mientras que las fases de ejecución y los detalles técnicos se beneficiarían de la flexibilidad y adaptabilidad de *scrum*. La innovación clave aquí radicó en la arquitectura del modelo para asegurar una integra-



ción fluida entre ambas metodologías, lo que evitó crear una “costura” que generara nuevos problemas. Más importante aún, este objetivo incluyó la incorporación deliberada y sistemática de los ODS en el diseño del modelo. Esto implicó definir cómo los criterios de sostenibilidad (ambientales, sociales, de gobernanza) se traducirían en requisitos de proyecto, cómo se monitorearían y cómo los equipos de *scrum* los tendrían en cuenta en cada ciclo de trabajo. Se buscaron mecanismos claros para la “validación ESG” y para asegurar la contribución a ODS específicos desde la planificación hasta la ejecución del proyecto.

- **Implementar el modelo híbrido diseñado en un proyecto piloto de recobro mejorado en Ecopetrol en el departamento del Meta:** este objetivo marcó la transición de la teoría a la práctica. No bastaba con diseñar un modelo; era crucial probar su viabilidad en un entorno real. Se seleccionó un proyecto de recobro mejorado específico en el departamento del Meta para actuar como “piloto”. La implementación implicó no solo la adopción de las nuevas metodologías y herramientas, sino también un cambio cultural significativo. Esto requirió una capacitación intensiva de los equipos involucrados, la adaptación de los sistemas de planificación y seguimiento existentes de Ecopetrol, y un acompañamiento constante durante el ciclo de vida del proyecto piloto para asegurar la correcta aplicación del MH-GAEP.

Este objetivo también incluyó la documentación de las lecciones aprendidas durante la implementación, con la identificación de los desafíos y los factores de éxito en el proceso de adopción.

- **Evaluar el impacto del modelo híbrido implementado en la optimización de procesos y la integración de los ODS:** el objetivo final y crítico fue la evaluación del desempeño del MH-GAEP. No se trataba solo de implementar, sino de medir el impacto. Esta evaluación se realizó mediante un enfoque dual. Por un lado, se llevó a cabo una evaluación cuantitativa para medir las mejoras tangibles: reducción de tiempos de ejecución, disminución de desviaciones de costo, mejora en la calidad de los entregables y eficiencia en la resolución de problemas. Estos datos se compararon con la línea base establecida en el diagnóstico y con el desempeño de proyectos similares gestionados bajo metodologías tradicionales. Por otro lado, se realizó una evaluación cualitativa para capturar aspectos más intangibles: la percepción de los equipos sobre la agilidad en la toma de decisiones, la mejora en la comunicación y colaboración, la adaptabilidad a los cambios y la satisfacción general con el nuevo modelo. Crucialmente, se evaluó la efectividad de la integración de los ODS, analizando el cumplimiento de los criterios ESG definidos, la contribución a los ODS específicos y la percepción de los *stakeholders* sobre el compromiso de sostenibilidad del proyecto. El análisis





de los resultados del proyecto piloto y la evidencia de su replicabilidad y escalamiento a otras áreas de Ecopetrol fueron fundamentales para validar la tesis y su impacto potencial a gran escala.

En su conjunto, estos objetivos establecen una hoja de ruta integral, desde el enten-

dimiento profundo del problema hasta la validación empírica de una solución innovadora y sostenible, y marcan un camino claro para la mejora continua en la gestión de proyectos de Ecopetrol y, por extensión, para la industria de hidrocarburos.

METODOLOGÍA

La presente investigación adoptó un enfoque metodológico mixto, combinando elementos cualitativos y cuantitativos, y se implementó bajo un diseño de investigación-acción. Esta elección metodológica fue crucial para abordar la problemática de la optimización de la gestión de proyectos de

recobro mejorado en Ecopetrol y la integración de los ODS, ya que permitió desarrollar un ciclo iterativo de diagnóstico, diseño, implementación y evaluación en un entorno organizacional real.

La metodología se estructuró en las siguientes fases interconectadas:

1. Fase de diagnóstico y análisis situacional

Esta fase inicial tuvo como objetivo principal comprender el estado actual de la gestión de proyectos de recobro mejorado en Ecopetrol en el departamento del Meta, identificando las ineficiencias, cuellos de botella y limi-

taciones de las metodologías de gestión predominantes.

Recopilación de datos

Se emplearon tres técnicas principales:

- **Revisión documental:** análisis de informes de proyectos históricos, manuales de procedimientos de gestión, análisis *post mortem* y registros de desempeño (costos, cronogramas, calidad). Esta revisión permitió identificar patrones de desviación y puntos críticos recurrentes.
- **Entrevistas semiestructuradas:** se realizaron entrevistas en profundidad con *stakeholders* clave, incluyendo gerentes de proyecto, ingenieros de yacimientos y producción, especialistas en sostenibilidad y personal operativo. Las preguntas se centraron en las percepciones sobre la flexibilidad de los métodos actuales, la comunicación interdepartamental y la integración de factores externos como los riesgos ambientales y sociales.
- **Análisis de datos históricos cuantitativos:** se recopilaron y analizaron



datos de rendimiento de proyectos de recobro mejorado ejecutados previamente. Se abarcaron métricas como desviaciones de costo y cronograma, número de solicitudes de cambio, y tiempo promedio de resolución de problemas, lo que permitió establecer una línea base cuantitativa para la evaluación posterior.

Resultados del diagnóstico

Se confirmó la prevalencia de un enfoque de cascada rígido que generaba inflexibilidad y demoras en la respuesta a cambios, y se identificó una integración reactiva y fragmentada de las consideraciones de sostenibilidad.

2. Fase de diseño del modelo híbrido (MH-GAEP)

Con base en los hallazgos del diagnóstico y la revisión del marco teórico sobre metodologías de gestión de proyectos (cascada y *scrum*) y la integración de ODS, se diseñó el “Modelo híbrido de gestión ágil para proyectos de Ecopetrol” (MH-GAEP).

Arquitectura del modelo

Se estructuró un enfoque híbrido en el que:

- Las fases iniciales de alta definición (conceptualización, ingeniería básica, planificación maestra estratégica y presupuestaria) se mantuvieron bajo la metodología cascada para asegurar la robustez y el control general.
- Las fases de ejecución detallada y operacional (ej., diseño detallado de inyección, perforación de pozos piloto, pruebas de inyección, optimización de producción) se gestionaron bajo la metodología *scrum* mediante ciclos iterativos (*sprints*) para permitir flexibilidad, adaptabilidad y retroalimentación continua.

Puntos de integración clave

Se definieron mecanismos explícitos para la transición entre las fases de cascada y *scrum*, la adaptación de roles de proyecto, y un proceso de gestión de cambios que diferenciaba los cambios macro (cascada) de los micro (*scrum*).

Integración de ODS

Un componente central del diseño fue la incorporación proactiva de la sostenibilidad:

- Se incluyeron “**criterios de sostenibilidad**” como elementos prioritarios en la lista de producto (*product backlog*) del proyecto.
- Se estableció la realización de “**validaciones ESG**” (*Environmental, Social, and Governance*) en cada *sprint review* y se involucró a expertos para asegurar que las decisiones técnicas consideraran sus implicaciones en materia de sostenibilidad.
- Se definieron **métricas de sostenibilidad** específicas (ej., consumo de agua, emisiones, gestión de residuos) para ser monitoreadas y reportadas durante los *sprints*.



3. Fase de implementación en proyecto piloto

El proceso de implementación del MH-GAEP en el proyecto piloto seleccionado para las operaciones de Ecopetrol en el departamento del Meta comprendió las siguientes actividades:

- **Capacitación:** se impartió formación integral a los equipos del proyecto en los principios de *scrum*, cascada y el funcionamiento específico del MH-GAEP, incluyendo su enfoque en sostenibilidad.
- **Adaptación de herramientas y procesos:** se ajustaron las herramientas de planificación y seguimiento existentes en Ecopetrol y se establecieron nuevos procedimientos para soportar el flujo de trabajo híbrido y la incorporación de las ceremonias *scrum* (planificación, *daily scrum*, revisión y retrospectiva).
- **Ejecución:** el proyecto piloto se llevó a cabo siguiendo las pautas del MH-GAEP, con equipos autoorganizados trabajando en *sprints* para entregar incrementos de valor de manera iterativa.

4. Fase de evaluación del impacto

La evaluación final del modelo se realizó mediante un análisis comparativo entre el desempeño del proyecto piloto bajo el MH-GAEP y los datos históricos de proyectos similares.

Evaluación cuantitativa de procesos

Se midieron indicadores clave de rendimiento como:

- Reducción en los tiempos de ejecución de fases específicas.
- Disminución de las desviaciones de costo.
- Tasa de resolución de problemas e impedimentos.
- Nivel de calidad y satisfacción de los *stakeholders* con los entregables.

Evaluación cualitativa de procesos

Se recopiló la percepción de los equipos y *stakeholders* sobre la mejora en la agilidad en la toma de decisiones, la comunicación interdepartamental y la adaptabilidad a los cambios, a partir de encuestas y entrevistas.

Evaluación de la integración de ODS

Se valoró la efectividad de los mecanismos de sostenibilidad mediante el cumplimiento de los criterios ESG definidos, la cuantificación de las contribuciones a los ODS relevantes, y la percepción de los *stakeholders* sobre la incorporación proactiva de la sostenibilidad.

Análisis de replicabilidad

Se consideró el “Informe de Escalamiento e Integración Institucional”, que reportó el “nivel de replicabilidad” (66 %) y la “incor-



poración a procedimientos internos” (100 %), lo que puso en evidencia la viabilidad de la expansión del modelo a otras áreas de Ecopetrol.

La combinación de estas fases permitió una comprensión holística del problema y la

validación de un modelo de gestión innovador, y proporcionó evidencia empírica de su efectividad en la optimización de procesos y la promoción de la sostenibilidad en un entorno industrial complejo.

RESULTADOS

La implementación del “Modelo híbrido de gestión ágil para proyectos de Ecopetrol” (MH-GAEP) en un proyecto piloto de recobro mejorado en el departamento del Meta, Colombia, arrojó resultados significa-

tivos que validan su efectividad en la optimización de procesos y la integración de los ODS. Los hallazgos se presentan a continuación, categorizados por su impacto principal.

Optimización de procesos y mejora de la eficiencia operativa

La aplicación del MH-GAEP demostró una mejora notable en la agilidad y eficiencia de la gestión del proyecto piloto, particularmente en las fases de ejecución gestionadas con *scrum*, en las que se identificaron los siguientes ítems:

- **Mayor agilidad en la toma de decisiones:** los ciclos iterativos (*sprints*) y las ceremonias diarias de *scrum* (*daily scrums*) facilitaron la identificación temprana de problemas y desviaciones técnicas. Esto permitió que las decisiones críticas se tomaran y se implementaran con una rapidez considerablemente mayor en comparación con los enfoques tradicionales. Por ejemplo, la resolución de impedimentos y la adaptación a nuevos datos del yacimiento se lograron en semanas, en lugar de los meses que típicamente requerían los procesos secuenciales.
- **Reducción de tiempos de respuesta y mitigación de riesgos:** la capacidad de los equipos para validar hipótesis y ajustar el plan de acción en intervalos cortos contribuyó directamente a la reducción de los tiempos de respuesta ante la incertidumbre geológica y operacional inherente a los proyectos de recobro mejorado. Esto se tradujo en una mitigación más efectiva de riesgos, lo que evitó la escalada de problemas y la necesidad de costosos retrabajos en etapas avanzadas del proyecto.
- **Mejora en la comunicación y colaboración interdepartamental:** las interacciones diarias y las revisiones de *sprint* fomentaron una comunicación más fluida y una colaboración intensiva entre las diversas disciplinas (ingeniería de yacimientos, producción, seguridad, ambiente, etc.). Se



observó una reducción de los “silos” de información, lo que optimizó el flujo de trabajo, la resolución colaborativa de problemas y la alineación de los objetivos entre los diferentes equipos.

- **Mayor flexibilidad en la gestión de cambios:** aunque la planificación general del proyecto (fases de cascada) mantuvo su rigor, el enfoque de

scrum en la ejecución permitió una gestión de cambios más orgánica y menos burocrática a nivel de detalle. Los cambios en los requisitos operativos o las especificaciones técnicas pudieron ser incorporados en los siguientes *sprints* de manera eficiente, sin impactar significativamente el cronograma general del proyecto.

Integración proactiva de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS)

Un hallazgo crucial fue la efectiva incorporación de los ODS como un componente intrínseco de la gestión del proyecto, en contraste con los enfoques reactivos o de cumplimiento tradicionales. Esto se puso en evidencia en los siguientes aspectos:

- **Inclusión sistemática de criterios de sostenibilidad:** la integración de “criterios de sostenibilidad” como elementos prioritarios en el *product backlog* del proyecto aseguró que las consideraciones ambientales, sociales y de gobernanza (ESG) fueran abordadas desde la planificación de cada *sprint*. Esto significó que los equipos consideraron activamente los impactos y las oportunidades de sostenibilidad en cada iteración del trabajo.
- **Validación ESG periódica:** la implementación de “validaciones ESG” en las *sprint reviews* permitió que expertos en sostenibilidad revisaran los avances y las decisiones técnicas de los equipos en intervalos regulares. Este

mecanismo aseguró que las prácticas del proyecto estuvieran continuamente alineadas con los compromisos de Ecopetrol en materia de sostenibilidad y con los ODS relevantes.

- **Contribuciones tangibles a ODS específicos:** el modelo facilitó la identificación y el seguimiento de contribuciones directas a ODS como el ODS 7 (energía asequible y no contaminante, mediante la optimización de la eficiencia energética de los procesos EOR), ODS 9 (industria, innovación e infraestructura, mediante la adopción de tecnologías optimizadas), ODS 12 (producción y consumo responsables, mediante la gestión eficiente de recursos y residuos), y ODS 13 (acción por el clima, mediante la minimización de la huella de carbono).
- **Mejora en la percepción y compromiso con la sostenibilidad:** la integración proactiva y visible de los ODS en el día a día del proyecto elevó la conciencia y el



compromiso de los equipos con la sostenibilidad, lo que trascendió el mero

cumplimiento normativo hacia una cultura de responsabilidad compartida.

Escalabilidad y replicabilidad del modelo (evidencia de institucionalización)

El éxito del proyecto piloto no se limitó a su propio desempeño; la investigación reveló que el MH-GAEP tiene un alto potencial de escalabilidad y ha iniciado un proceso de institucionalización dentro de Ecopetrol.

- **Nivel de replicabilidad:** el “Informe de escalamiento e integración institucional” (Ecopetrol, 2025) reporta un “nivel de replicabilidad” del 66 %, superando la meta interna del 60 %. Esto indica que el modelo MH-GAEP es adaptable y aplicable a una amplia gama de proyectos dentro de la compañía, no solo en recobro mejorado.
- **Incorporación a procedimientos internos:** se logró una “Incorporación a procedimientos internos” del 100 %, lo que significa que el MH-GAEP ha sido formalmente incluido en el manual de gestión de proyectos de Ecopetrol. Esta institucionalización es un paso crítico para asegurar la adopción a largo plazo y la estandarización de las nuevas prácticas.
- **Proyectos con financiamiento verde:** el informe también destaca que tres proyectos han obtenido “financiamiento verde” tras la adopción del modelo. Esto subraya cómo la integración de los ODS y las prácticas sostenibles, facilitada por el MH-GAEP, puede mejorar el acceso a capital y fortalecer la

posición financiera de la empresa en un mercado que valora cada vez más las credenciales ESG.

- **Adopción en otras áreas:** el modelo ya está siendo adoptado por diversas áreas y proyectos de Ecopetrol más allá del piloto original de recobro mejorado, incluyendo “Proyecto Zona Sur (Infraestructura)”, “Proyecto Verde 2025 (Energía Renovable)”, y “Proyecto Agua Viva (Gestión Ambiental)”, con ajustes y adaptaciones específicas a sus contextos. Esto valida la versatilidad del MH-GAEP.
- **Transferencia de lecciones:** se identificaron doce lecciones transferidas a nuevos equipos, aplicadas en fases de arranque de nuevos proyectos, lo que contribuye al aprendizaje organizacional y a la mejora continua de las prácticas de gestión.

En síntesis, los resultados demuestran que el MH-GAEP no solo mejora la eficiencia operativa de los proyectos de recobro mejorado por medio de la agilidad y una mejor colaboración, sino que también establece un marco robusto y replicable para la integración proactiva de la sostenibilidad, posicionando a Ecopetrol a la vanguardia de una gestión de proyectos más responsable y adaptativa en la industria del petróleo y el gas.



CONCLUSIONES

La presente investigación ha demostrado de manera concluyente que la implementación de un modelo de gestión híbrido, que combina estratégicamente las metodologías *scrum* y cascada, representa una solución efectiva para optimizar los procesos en los complejos proyectos de recobro mejorado gestionados por Ecopetrol en el departamento del Meta. Más allá de la eficiencia operativa, esta tesis valida un marco metodológico que integra proactivamente los ODS, lo que constituye un avance significativo en la gestión de proyectos dentro de la industria de hidrocarburos.

Las conclusiones clave derivadas de los resultados son las siguientes:

1. **Optimización integral de procesos:** el modelo MH-GAEP mitigó eficazmente las limitaciones de la metodología cascada pura en entornos de alta incertidumbre. La agilidad inherente a *scrum*, aplicada en las fases de ejecución, permitió una reducción significativa de los tiempos de respuesta ante cambios y problemas técnicos. Esto se tradujo en una mayor capacidad de adaptación, una minimización de riesgos y una gestión más eficiente de los recursos, lo que impactó positivamente en la eficiencia operativa y la rentabilidad del proyecto piloto.
2. **Mejora sustancial en la colaboración y comunicación:** la estructura de trabajo iterativa y las ceremonias de *scrum* fomentaron una comunicación

más fluida y una colaboración interdepartamental reforzada. La interacción constante entre equipos multidisciplinares redujo los silos de información, lo que llevó a una toma de decisiones más rápida y alineada, y a una resolución de problemas más efectiva en el día a día del proyecto.

3. **Integración efectiva y proactiva de la sostenibilidad:** un hallazgo fundamental es que el modelo MH-GAEP no solo optimiza la gestión operativa, sino que también sirve como un vehículo robusto para la integración proactiva de los ODS. La inclusión de “criterios de sostenibilidad” en los *product backlogs* y la realización de “validaciones ESG” en cada *sprint* aseguraron que las consideraciones ambientales, sociales y de gobernanza fueran componentes intrínsecos de la planificación y ejecución del proyecto, y no meros requisitos de cumplimiento *ex post facto*. Esto valida la capacidad del modelo para alinear los objetivos del negocio con los imperativos de sostenibilidad global.
4. **Validación de la replicabilidad y potencial de institucionalización:** el éxito del proyecto piloto y la evidencia proporcionada por el “Informe de escalamiento e integración institucional” (Ecopetrol, 2025) confirman la alta replicabilidad del modelo (66 %) y su incorporación total a los procedimientos internos (100 %) de Ecopetrol. Esto



demuestra que el MH-GAEP no es una solución aislada, sino un marco escalable con el potencial de transformar la gestión de proyectos en diversas áreas de la compañía, incluyendo infraestructura, energía renovable y gestión ambiental. La obtención de “financiamiento verde” para proyectos que adoptaron el modelo subraya su valor estratégico y su contribución al fortalecimiento de la reputación corporativa.

En síntesis, esta investigación establece que la adopción de un modelo de gestión híbrido

como el MH-GAEP es una estrategia viable y ventajosa para empresas como Ecopetrol. No solo permite una respuesta más ágil y eficiente a la complejidad inherente a proyectos críticos como el recobro mejorado, sino que también facilita una contribución tangible y verificable a los ODS. Este enfoque híbrido no solo optimiza el rendimiento del proyecto, sino que también fortalece la “licencia social para operar” y el posicionamiento estratégico de la organización en un mercado global cada vez más exigente en términos de sostenibilidad.

Aportes de la investigación

- **Aporte teórico-metodológico:** contribuye al cuerpo de conocimiento sobre la gestión de proyectos al validar empíricamente la efectividad de los modelos híbridos en un sector de alta complejidad y bajo un estricto escrutinio ambiental y social.
- **Aporte práctico-organizacional:** proporciona a Ecopetrol un modelo probado y documentado para la optimización de procesos y la gestión de

proyectos complejos, con evidencia de su impacto positivo en la eficiencia y la integración de la sostenibilidad.

- **Aporte a la sostenibilidad industrial:** demuestra un camino concreto para que las empresas del sector de hidrocarburos integren proactivamente los ODS en sus operaciones, sentando un precedente para prácticas más responsables y sostenibles en la industria.

REFERENCIAS

- Ecopetrol. (2025). *Informe de escalamiento e integración institucional* [Documento interno no publicado]. Ecopetrol.
- Frynas, J. G. (2009). *Beyond corporate social responsibility: Oil multinationals and social challenges* (1.^a ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511581540>
- Kerzner, H. (2022). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (13.^o ed.). John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-gb/shop/general-in->





troductory-industrial-engineering/project-management-a-systems-approach-to-planning-scheduling-and-controlling-13th-edition-p-9781119805380

Project Management Institute. (2017). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide)* (6. ° ed.). https://sigi.sic.gov.co/SIGI/files/mod_documentos/anexos/2032/Guia_del_PMBOK_sexta_edicion_espanol.pdf

Tellez Jiménez, M. H., y Ortiz, C. A. (2025). *Implementación de un modelo de gestión basado en la combinación de Scrum y Cascada para la optimización de procesos en los proyectos de recobro mejorado gestionados por Ecopetrol en el Departamento del Meta acorde con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Abierta y a Distancia].

