

Desarrollo de una herramienta computacional para la evaluación financiera de proyectos de  
recobro mejorado en campos colombianos de petróleo

Trabajo de Aplicación para Optar al Título de Magister en Evaluación y gerencia de proyectos

María Isabel Sandoval Martínez

Javier Eduardo Arias Osorio

Director

Magister en Administración

Universidad Industrial De Santander  
Facultad De Ingenierías Fisicomecánicas  
Escuela De Estudios Industriales y Empresariales  
Maestría En Evaluación y Gerencia De Proyectos  
Bucaramanga

2023

### **Dedicatoria**

Este trabajo de aplicación va dedicado primeramente a Dios por siempre caminar de la mano conmigo y a mi madre, Gladys Martínez, quien me ha motivado a través del ejemplo a luchar por mis sueños y hacer de este país un mejor lugar. Te amo mucha madre mía.

A mis hermanos por brindarme apoyo constante en mi formación personal y profesional

A mis compañeros de maestría, especialmente a Maye y Jorgito, por los grandes momentos y por enseñarme a ver la belleza inesperada de las cosas.

A mi personita especial quien con su forma de ver la vida y paciencia me inspira cada día a crecer y ser mejor.

A mis amigos, compañeros y demás personas, que con pequeñas acciones contribuyeron al desarrollo exitoso de este proyecto.

### **Agradecimientos**

Al grupo de investigación Recobro Mejorado y la Escuela de estudios industriales y empresariales de la universidad industrial de Santander por permitirme llevar a cabo este trabajo de aplicación e incentivar mi crecimiento personal y profesional, siendo motor de conocimiento en cada uno de los proyectos emprendidos.

Al director del proyecto, el Ingeniero Javier Arias Osorio, por su confianza y ser una guía constante durante el desarrollo del trabajo de aplicación.

## Contenido

Resumen .....	6
1. Introducción.....	11
2.1. Objetivo general: .....	13
2.2. Objetivos específicos:.....	13
3. Generalidades de evaluación financiera en proyectos de inversión .....	14
3.1. Inversión inicial del proyecto .....	18
3.2. Egresos.....	21
3.3. Ingresos.....	25
3.5. El flujo de efectivo libre ( <i>FNE</i> ) .....	28
3.6. La tasa de oportunidad ( <i>i</i> ).....	29
4. Modelos de evaluación financiera .....	30
4.1. Valor presente Neto (VPN). .....	31
4.2. Tasa interna de Retorno (TIR).....	32
4.3. Tasa verdadera de rentabilidad (TIR modificada).....	35
4.4. Modelo de Periodo de Recuperación (PR) .....	36
4.5. Método de recuperación ajustado .....	37
4.6. La relación beneficio/costo (RB/C).....	38
4.7. Métodos usados en la evaluación de procesos de recuperación de petróleo ....	39
5. Metodologías para el desarrollo de una herramienta computacional. ....	40
5.1. Metodología scrum.....	42
5.2. Programación extrema (XP).....	44
6. Desarrollo de la herramienta computacional .....	50
6.1. Definición de historias y mapa de historias. ....	52
6.2. Priorización y organización historias de usuario .....	56
6.3. Ejecución y seguimiento.....	57
6.3.1. Sprint 1.....	57
6.3.2. Sprint 2.....	63
6.3.3. Sprint 3.....	67
6.3.4. Sprint 4.....	69
6.3.5. Sprint 5.....	72
7. Evaluación con caso de estudio .....	75
7.1. Análisis de sensibilidad .....	79

7.2. Análisis del uso de la herramienta .....81  
Conclusiones.....83  
Referencias .....85

### Tabla de figuras

Figura 1. Flujo general de fondos y utilidades en un proyecto de inversión.....	14
Figura 2. Ejemplo de flujo de caja neto. ....	15
Figura 3. Distribución del porcentaje de regalías según el número de barriles producidos.....	27
Figura 4. Frecuencia relativa de uso del VPN en diferentes países .....	31
Figura 5. Ciclo de vida de un software según (a) Metodologías tradicionales y (b) metodologías convencionales .....	41
Figura 6. El ciclo de entrega pequeñas e incrementales.....	45
Figura 7. Ruta de trabajo para la herramienta computacional.....	50
Figura 8. Modelo para la definición de las historias de usuario.....	53
Figura 9. Mapa de historias de usuario. ....	55
Figura 10. Backlog priorizado por iteración (sprint).....	56
Figura 11. (a) Grafica burn-down para el sprint 1. (b) Resultado del Backlog priorizado para el sprint 1.....	58
Figura 12. Sección datos generales del proyecto. ....	59
Figura 13. Sección de datos y eventos de producción e inyección.. ....	59
Figura 14. Sección para ingresos de CAPEX de subsuelo e infraestructura.....	60
Figura 15. Sección con el resumen de las inversiones CAPEX.....	61
Figura 16. (a) Sección tipo formulario para registrar las inversiones de capital de trabajo. (b) Tabla para almacenar las inversiones registradas. ....	61
Figura 17. (a) Sección tipo formulario para registrar las inversiones diferidas. (b) Tabla para almacenar los valores diferidos .....	62
Figura 18. (a) Sección tipo formulario para registrar los egresos OPEX. (b) Tabla para almacenar los egresos registrados. ....	63
Figura 19. (a) Grafica burn-down para el sprint 2. (b) Resultado del Backlog priorizado para el sprint 2.....	64
Figura 20. Sección de ingresos en función de la producción de petróleo y reducción por calidad .....	65
Figura 21. Sección para el cálculo de los ingresos netos. Relacionada con la historia de usuario HU13 .....	65

Figura 22. Sección con el flujo de caja construido automáticamente. Relacionado con la historia de usuario HU15.....	66
Figura 23. Lista de indicadores financieros calculados por la herramienta. Relacionado con la historia de usuario HU 16.....	66
Figura 24. (a) Grafica burn-down para el sprint 3. (b) Resultado del Backlog priorizado para el sprint 3.....	67
Figura 25. Sección de organización de egresos OPEX periódicos .....	68
Figura 26. Sección para el cálculo y comparación de indicadores financieros.....	68
Figura 27. (a) Grafica burn-down para el sprint 4. (b) Resultado del Backlog priorizado para el sprint 4.....	69
Figura 28. Adición de dos botones en la sección de eventos para agregar la información arrojada por el simulador CMG.....	70
Figura 29. Diseño de un dashboard amigable. ....	71
Figura 30. Sección de inicio tipo índice con accesos rápidos. ....	72
Figura 31. (a) Grafica burn-down para el sprint 5. (b) Resultado del Backlog priorizado para el sprint 5.....	73
Figura 32. Sección para sensibilizar variables .....	73
Figura 33. Propiedades del campo de estudio. ....	76
Figura 34. Comportamiento del flujo de caja para el caso base y el proceso de inyección vapor con fluegas 15% molar.....	79
Figura 35. Diagrama de araña de las variables sensibilizadas con la relación de beneficio/costo .....	80
Figura 36. Perfil de variación del indicador RB/C extraído de la herramienta.....	81

**Tablas**

Tabla 1. Resumen de las variables CAPEX y OPEX en la industria de hidrocarburos .....	16
Tabla 2. Resumen de las variables CAPEX para métodos de inyección de polímeros y vapor .....	20
Tabla 3. Resumen de las variables OPEX para métodos de inyección de polímeros y vapor .	23
Tabla 4. Resumen operación para la obtención del flujo de caja en cada periodo.....	29
Tabla 5. Resumen de revisión de trabajos de evaluación financiera en procesos de recuperación de petróleo. ....	40
Tabla 6. Información de las historias de usuario.....	54
Tabla 7. Diccionario de datos para sección de datos generales e ingresos .....	74
Tabla 8. Diccionario de datos para inversiones, CAPEX, diferidos y capital de trabajo.....	74
Tabla 9. Diccionario de datos para gasto de operación (OPEX).....	75
Tabla 10. Eventos de producción e inyección.....	76
Tabla 11. Datos generales proyecto ICV .....	77
Tabla 12. Resultados de los indicadores de rentabilidad para diferentes precios del fluegas sensibilizados con la herramienta.....	79

**Lista de apéndices**

Apéndice A. Detalle de las historias de usuario.....	89
Apéndice B. Manual de usuario .....	92
Apéndice C. Nombre y logo de la herramienta .....	100

## Resumen

**Título:** Desarrollo de una herramienta computacional para la evaluación financiera de proyectos de recobro mejorado en campos colombianos de petróleo\*

**Autor:** María Isabel Sandoval Martínez \*\*

**Palabras clave:** Evaluación financiera, metodologías ágiles, recobro mejorado, Herramienta computacional, software financiero.

### Descripción:

Actualmente, en Colombia las técnicas de recobro mejorado han sido reconocido como las mejores alternativas para brindar la seguridad energética requerida por el país mientras se alcanza una completa transición energética. No obstante, la incertidumbre tecnológica y de factibilidad es muy alta por la novedad de los métodos y múltiples factores presentes. Frente a este panorama son fundamentales las evaluaciones financieras confiables, precisas y ágiles, ya que permiten pronosticar la conveniencia de invertir en este tipo de proyectos a corto plazo. Por lo anterior, en este trabajo se construyó una herramienta computacional para la evaluación financiera de proyectos de recobro mejorado. En la primera parte se hizo una revisión bibliográfica de los diferentes métodos de evaluación financiera para establecer los principales indicadores usados en la técnica de recobro mejorado y con esto definir la data de salida requerida en la herramienta computacional. Adicionalmente, se identificaron los principales parámetros CAPEX y OPEX para reconocer las características de la data de entrada en la herramienta. Posteriormente, se procedió al diseño y construcción del producto bajo una metodología agile, donde se trabajaron con avances iterativos e incrementales para cumplir con los requerimientos de los usuarios. El desarrollo de este producto se logró mediante la ejecución de cinco iteraciones (sprints) con una velocidad de 30 puntos de historia por un sprint de 35 horas de trabajo. Al finalizar las iteraciones se obtuvo una herramienta computacional programada a través de macros en Excel y lenguaje de scripts Visual Basic for Applications (VBA) con las funcionalidades establecidas. Finalmente, la herramienta fue evaluada con un caso de estudio de un proceso de inyección cíclica de vapor con flue gas para identificar sus ventajas y desventajas. El producto resultante cumple con las funcionalidades propuestas, logrando ser una herramienta flexible, intuitiva y fácil de usar para los interesados.

---

\* Trabajo de aplicación

\*\* Facultad de fisicomecánicas. Escuela estudios industriales y empresariales. Director Javier Eduardo Arias Osorio

### Abstract

**Title:** Desarrollo de una herramienta computacional para la evaluación financiera de proyectos de recobro mejorado en campos colombianos de petróleo\*

**Author:** María Isabel Sandoval Martínez \*\*

**Keywords:** Financial evaluation, agile methodologies, enhanced recovery, computer tool, financial software.

### Description

In Colombia, enhanced recovery methods have been recognized as the best alternatives to provide the energy security required by the country while a complete energy transition is achieved. However, the technological and feasibility uncertainty is very high due to the novelty of the methods, and multiple factors must be considered. In this scenario, reliable, accurate, and agile financial evaluations are essential since they allow forecasting the convenience of investing in this type of project in the short term. Therefore, in this work, a computational tool was built for the financial evaluation of enhanced recovery projects. Firstly, a review of the different financial evaluation methods was made to establish the main indicators used in the enhanced recovery technique and define the output data required in the computational tool. Additionally, the main CAPEX and OPEX parameters were identified to recognize the characteristics of the input data in the tool. Subsequently, the product was designed and built under an agile methodology, where iterative and incremental progress was made to accomplish the user requirements. The development of this product was achieved by executing five iterations (sprints) with a rate of 30 story points for a sprint of 35 hours of work. At the end of the iterations, a computational tool was obtained, which was programmed through Excel macros and Visual Basic for Applications (VBA) scripting language with the established functionalities. Finally, the tool was evaluated with a flue gas cyclic steam injection process case study to identify its advantages and disadvantages. The resulting product complies with the proposed functionalities, becoming a flexible, intuitive, and easy-to-use tool for the interested.

---

\* Application thesis

\*\* Facultad de fisicomecánicas. Escuela estudios industriales y empresariales. Director Javier Eduardo Arias Osorio

## Introducción

Los métodos de recobro mejorado son técnicas en la etapa de producción, donde líquidos o gases son inyectados para cambiar las propiedades de los fluidos o de la roca con el objetivo de reducir la saturación aceite residual y aumentar la cantidad de reservas recuperables (Thomas, 2008). Estos se pueden clasificar en tres grandes grupos; térmicos, químicos y miscibles (Farauq Ali, 1995).

Actualmente, en Colombia se tiene un factor de recobro del 15.8% y se espera aumentar a 35% para estar cerca del promedio mundial de recuperación, donde por cada punto porcentual que se pueda recupera se adiciona 614 millones de barriles a las reservas de petróleo en el país (Acosta, 2017). El ministerio de minas y energía nacional ha reconocido las técnicas de recobro mejorado como las mejores alternativas para lograr este objetivo y brindar la seguridad energética requerida por el país mientras se alcanza una completa transición energética (Rico., 2023).

Los métodos de recuperación de petróleo son procesos de alto costo e incertidumbre, por lo tanto, la evaluación financiera juega un papel muy importante en la definición de las mejores alternativas para su implementación y masificación en los campos (Taber et al. 1997b) (Hartono et al., 2017). Para cumplir con los objetivos del aumento de la producción de petróleo y hacer una buena gestión de los métodos de recobro mejorado, las empresas operadoras se han unido con las universidades bajo el concepto de la triple hélice, donde la Universidad y centros de investigación se encargan de desarrollar las primeras fases que involucran la selección y diseño del proceso, mientras que la empresa lleva a cabo el piloto y masificación de la tecnología. Particularmente, el Grupo de investigación de Recobro Mejorado (GRM) de la UIS ha apoyado a varias empresas operadoras en Colombia durante el análisis de prefactibilidad con la selección y diseño de los procesos a través de pruebas experimentales y simulaciones

numérica representativas escalas de campo (León, 2019) (Ariza, 2020; Martínez, 2020). El grupo ha sido reconocido por sus fortalezas en las evaluaciones técnicas; no obstante, el análisis financiero se ha convertido en un reto, ya que la falta de estandarización y conceptualización de los aspectos financieros hace que la evaluación de las tecnologías tome más tiempo y sea más complejo de lo estimado.

Por lo anterior, en este proyecto se propone el desarrollo de una herramienta computacional para la evaluación financiera de métodos de recobro mejorado, usando lenguaje de programación de alto nivel. Esta herramienta debe ser flexible e intuitiva para que los usuarios puedan hacer los cálculos financieros de diferentes tecnologías, sensibilizando los ingresos y egresos. Para cumplir con el objetivo del trabajo en la primera fase se hizo una revisión bibliográfica para analizar los principales métodos e indicadores financieros y estimar los parámetros CAPEX y OPEX más empleados en la industria de los hidrocarburos. Adicionalmente, se estudiaron diferentes metodologías ágiles para la creación de softwares. En la segunda fase, se construyó la herramienta computacional siguiendo una ruta de trabajo con filosofía ágil. Finalmente, en la tercera fase se evaluó el funcionamiento mediante un caso base de simulación numérica para corroborar el cumplimiento de los requisitos sugeridos por el usuario.

## **1. Objetivos**

### **1.1.Objetivo general:**

Desarrollar una herramienta computacional para la evaluación financiera de proyectos de recobro mejorado en campos colombianos de petróleo

### **1.2.Objetivos específicos:**

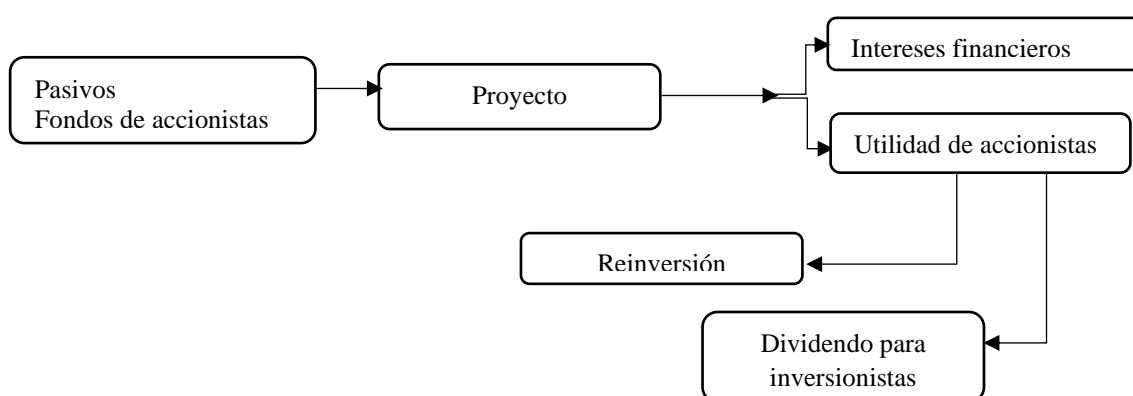
- Analizar las metodologías para el desarrollo de una herramienta computacional y modelos para la evaluación financiera de proyectos en el sector de hidrocarburos.
- Estimar los principales parámetros CAPEX y OPEX involucrados en los proyectos de recobro químico y térmicos en los campos colombianos.
- Diseñar la herramienta de evaluación financiera para proyectos de recobro mejorado mediante lenguaje de programación de alto nivel.
- Evaluar el funcionamiento de la herramienta usando resultados de simulaciones numéricas de un método de recobro químicos y térmico.

## 2. Generalidades de evaluación financiera en proyectos de inversión

Un proyecto de inversión es considerado como una actividad que inicialmente absorbe fondos y más tarde genera dinero (figura 1). Los fondos pueden ser obtenidos de préstamos de capital (pasivos) o de recursos propios por parte de los inversionistas. Mientras que la utilidad neta generada puede ser usada para pagar intereses de los préstamos y a los inversionistas. Las ganancias de los inversionistas pueden ser pagadas como dividendos o reinvertirse en el proyecto (Jahn et al, 1998).

Figura 1.

*Flujo general de fondos y utilidades en un proyecto de inversión*



La evaluación financiera tiene como objetivo principal pronosticar la conveniencia de invertir en proyectos. En este tipo de evaluaciones se realizan análisis de sensibilidades en determinado período de tiempo, con el fin de estimar el conjunto de recursos que necesita el proyecto para entrar en operación, los costos operacionales y de producción durante su vida útil, así como los beneficios que podría generar (Smith 2007) (Sapag, 1993) ((Meza, 2015). La evaluación financiera esta presenta desde la etapa de formulación del proyecto donde en

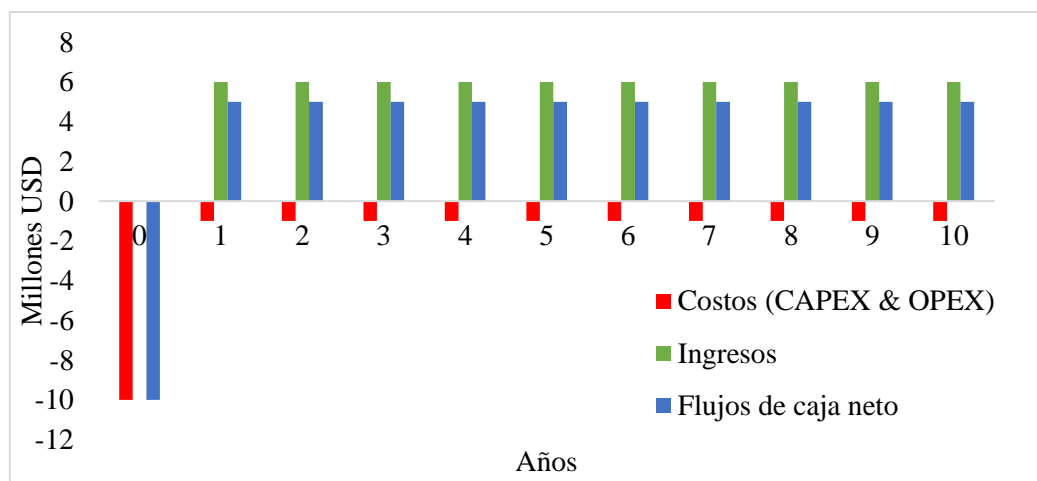
conjunto con los estudios de mercado, técnicos y socioambientales son fundamentales para los análisis de prefactibilidad y factibilidad de una opción de inversión.

El modelo de flujos de caja neto (FCN) es el más usado en la industria de los hidrocarburos para realizar dichas evaluaciones financieras y estimar las utilidades por la ejecución de un proyecto, ya que es un modelo dinámico que incorpora el valor del dinero en el tiempo (Belyadi et al., 2019)(Vidarte, 2009).

Este modelo es normalmente calculado en intervalos de tiempo semestrales o anuales. El cual es representado con flujos de caja neto (figura 2) y considera que los capitales tienen distintos valores en los diferentes momentos del tiempo, los cuales giran en torno a los flujos de efectivo netos esperados en el futuro, la tasa de oportunidad y tipos de proyectos. Por lo tanto, la precisión de estos métodos radica en la correcta determinación de dichas variables. Del flujo de caja se pueden derivar y utilizar una serie de indicadores y métodos para contrastar el rendimiento financiero de los proyectos de inversión como se mostrará más adelante (Jahn et al, 1998).

Figura 2.

*Ejemplo de flujo de caja neto.*



Nota: Tomado de Wheaton, R. (2016). Fundamentals of applied reservoir (Kattie Washington, Ed.).

Para el cálculo de los flujos de efectivo Neto (FNE) se requiere como datos de entrada: la inversión del proyecto (CAPEX), ingresos, y egresos (OPEX) (Wheaton, 2016); depreciación y amortización (endeudamiento); periodos en lo que se presentan ingresos y egresos; impuestos causados y pagados; inversiones adicionales y valor de rescate o salvamento (Padilla et al, 2018). Cada una de estas variables son dependientes de los métodos de recuperación de petróleo, precio del barril, estados de los pozos e infraestructura del campo, calidad del petróleo, profundidad de la arena productora y ubicación del campo como se resumen en la tabla 1 y se detallan en las secciones 2.1-2.3.

Tabla 1.

*Resumen de las variables CAPEX y OPEX en la industria de hidrocarburos*

<b>Fuente</b>	<b>Información</b>	<b>Objetivo de los elementos</b>	<b>Determinación del valor</b>
<b>Ingresos</b>			
<b>Área de yacimientos</b>	*Reservas *Pronóstico de producción de petróleo	Determinar la cantidad de petróleo producido por cada método	<b>Tipo: Ingreso (ecuación 2)</b>  El pronóstico de la producción del petróleo se puede realizar mediante simulación numérica y pruebas piloto
	Costo del barril de petróleo	Estimar ingresos por la producción de	El costo del barril depende de muchos aspectos geopolíticos y de la calidad misma del crudo extraído como se explicó antes. Este es un valor con un alto valor de incertidumbre que se debe tener en cuenta en toda evaluación financiera
<b>Costo para el Desarrollo del campo</b>			
<b>Área de perforación y facilidades de superficie</b>	Costos de perforación y completamiento de nuevos pozos.	*Perforar suficientes pozos de producción nuevos para proporcionar la espacio requerido en acres.	<b>Tipo: CAPEX subsuelo</b>  Estos costos dependen del número de nuevos pozos de producción e inyección perforado y completados.
		*Perforar suficientes pozos de inyección para proporcionar el	Los costos varían según la profundidad, la región y el tipo de fluido inyectado.

		patrón de inyección.	
Actividades de acondicionamiento y conversión de pozos	Costos de acondicionamiento de los pozos, workover	Llevar los pozos de producción e inyección existentes a calidad aceptable	<b>Tipo: OPEX</b> El costo depende del número de pozos de producción e inyección que necesitan reacondicionamiento; variable según la edad del campo. Los costos de desarrollo varían según la profundidad y la región.
<b>Costos por equipos</b>			
Equipos de inyección	Bombas, tuberías, oleoductos, Plataformas; Sistemas de generación de vapor	Instalar equipos para la inyección fluidos	<b>Tipo: CAPEX infraestructura</b> Los costos dependen del número de nuevos pozos de producción e inyección perforado Los costos varían según, el tipo de fluido inyectado, capacidades del campo, la profundidad la región.
Equipos de separación (tratamiento) y compresión	Compresores; Separadores	Instalar equipos suficientes para producir el máximo requisito anual de indicadores de reciclaje.	<b>Tipo: CAPEX infraestructura</b> Inyección de volumen poroso máximo por año.
<b>Costos de operación y mantenimiento</b>			
Costos de operación y mantenimientos	*Lifiting (costos de levantamiento) *Costo de transporte *Dilución con solvente *Mantenimiento	cost de funcionamiento diario normal, la reparación de superficies y mantenimiento y reparación del subsuelo, mantenimiento y servicios (incluye levantamiento artificial de producción primaria).	<b>Tipo: OPEX</b> El costo depende del tipo de crudo producido y pueden variar según la profundidad y región.
<b>Costos de los materiales de inyección</b>			
Costo de materiales inyectados	*Costo del químico * Costo del gas *Costo de la generación de vapor		<b>Tipo: OPEX</b> El costo depende de la cantidad de fluido inyectado por cada barril; el tipo de químico y la fuente de este.
		<b>Mano de obra</b>	
Talento humano	Costo de mano de obra directa e indirecta *Operadores *Personal técnico *personal de apoyo	Dirigir operaciones en los campos durante la implementación de los procesos	<b>Tipo: OPEX</b> El costo depende del riesgo de los procesos, experiencia del personal, ubicación de la región

*gastos generales		
Otros		
Sistema fiscal del país	*Impuestos *regalías	Las tasas dependen de los factores económicos y fiscales del país
Planificación empresarial	*Pronóstico de precio del gas y petróleo *Tasas de descuento *Inflación *factores de mercado * Riesgo político, obligaciones sociales	Calcular los flujos de caja con menor incertidumbre y dar valor al dinero en el tiempo Dependen de factores económicos y sociales del país y empresa operadora donde se desarrolla el proyecto

El proceso de recopilación de estos datos puede ser largo y cada entrada conlleva un rango de incertidumbre que debe ser considerado para la evaluación financiera. En el punto de decisión para proceder con la implementación del proyecto, son comunes incertidumbres de +/- 25%.

### 2.1. Inversión inicial del proyecto

Conocida como costos de inversión o inversión antes de la puesta en marcha, está representada por los activos fijos, los activos diferidos y el capital de trabajo. Estas inversiones dependen del mercado del producto, la técnica empleada y organización. Se calculan con la ecuación 1.

$$\text{Inversión inicial (P)} = \text{Inversiones fijas} + \text{Inversiones diferidas} + \text{capital de trabajo} \quad (1)$$

Los activos o inversiones fijas son aquellas que se realizan en bienes tangibles, se utilizan para garantizar la operación del proyecto, no son objeto de comercialización por parte de la empresa y se adquieren para utilizarse durante su vida útil (Miranda, 2005). Generalmente, este dinero, usado para comprar activos, es denominado CAPEX (Capital expenses) y deber ser

estimado en el tiempo cero del modelo FCN, ya que involucran una gran inversión para construcción de plataformas, instalación de tuberías, compra de equipos, adecuación de pozos, perforación completamiento entre otros (Belyadi et al., 2019; El-Reedy, 2021; Kamari et al., 2014). En la industria de hidrocarburos el CAPEX se divide en subsuelo e infraestructura.

**El CAPEX subsuelo** corresponden al costo integral del pozo, incluyendo la operación del taladro, obras civiles y mecánicas, perforación, completamiento y registros (Padilla & León, 2019). Por otro lado, **el CAPEX de infraestructura** está relacionado con la construcción de todas las facilidades requeridas para transportar y procesar los gases, líquidos y sólidos producidos desde la cara de pozo hasta su punto de entrega de ventas (Moix, 2014) y compra de equipos para la inyección y producción de fluidos.

Las inversiones diferidas son aquellas inversiones en activos intangibles que se realizan antes de la puesta en marcha del proyecto; tales como: los estudios técnicos, económicos y jurídicos; los gastos de organización; los gastos de montaje, ensayos y puesta en marcha; el pago por el uso de marcas y patentes; los gastos por capacitación y entrenamiento de personal; el costo por licencias y permisos. Cuando existe cierta incertidumbre en la estimación de estos montos se recomienda incluirlas como imprevistos por un porcentaje entre el 5% y el 10% del total de los diferidos. Las normas tributarias permiten amortizar los activos diferidos en los 5 primeros años de funcionamiento del proyecto (Miranda, 2005).

Los Campos que involucran la inyección de vapor como método de recuperación de hidrocarburo requieren, principalmente, como inversión CAPEX de infraestructura, la adquisición de generadores de vapor (portátiles y estáticos), bombas de agua, compresores, planta de tratamiento del agua. Adicionalmente, para el desarrollo de estos procesos es necesario líneas especializadas para la producción de petróleo pesado, líneas de flujos revestidas con aislante térmico para evitar periodos durante el transporte del vapor desde el generador hasta cabeza de pozo. Así mismo, requerirán la adquisición de un centro de

procesamiento de fluidos juntos con todos aquellos equipos involucrados en el tratamiento de crudos pesados, centros de generación de energía eléctrica, centros de almacenamiento o baterías de tanques y la inclusión de sistemas de levantamiento artificial. Por otra parte, los CAPEX de subsuelo en este tipo de procesos térmicos incluyen la perforación y cementación de pozos térmicos especiales que soporten la altas temperatura del proceso de inyección de vapor (Padilla et al 2019).

Los campos donde se desarrollan inyección de químicos, así como polímeros y surfactante, incluyen como inversión de infraestructura, unidades completas para la inyección de los químicos, las cuales contienen sistemas de preparación, agitación, filtración y bombeo (Flatts et al., 2021) (Keith et al. 2022). Adicionalmente, se requieren sistemas para el tratamiento del agua de producción y su reinyección (Zekri et al 2021). A continuación, en la tabla 2 se presenta un resumen de CAPEX y rangos encontrados en la literatura para los procesos de inyección de vapor y polímeros. Así mismo, se presenta el tipo de variables para definir dependencias y formas en las que estos valores deberían ser ingresadas en la herramienta computacional.

Tabla 2.

*Resumen de las variables CAPEX para métodos de inyección de polímeros y vapor*

Proceso	CAPEX	Rango de costos (USD)	Tipo de variable	Referencia
	Sistema de generación de vapor (Capacidad 2700 bbl/día) (USD/generador)	2,260,000	Costo dependiente de la capacidad de generación de vapor	Krispin et al (2008)
Inyección de vapor	Pozo térmico (USD/Pozo)	1,000,000-1,500,000	Costo dependiente de la longitud, temperatura, material y diámetro del pozo	Frauenfeld et al. (2006). Shin and Polikar (2006). Krispin et al (2008) Padilla (2019)
	Plantas de tratamiento de agua (Capacidad 3700 bbl/día)	3,300,000	Costo dependiente de la capacidad del caudal del agua	Krispin et al (2008) Padilla (2019)
	Línea de distribución de vapor (USD/Ft)	2.644-152.4	Costo dependiente del tipo material y	Padilla et al 2019

	línea distribución de fluidos USD/ft	3.146-152.4	revestimiento de la línea Costo dependiente del tipo material y revestimiento de la línea	Padilla et al 2019
	Unidad de inyección químicos (USD)	3,000,000- 1,500,000	Costo dependiente de la capacidad de la unidad de inyección y tipo de químico	(Keith et al. 2022).
Inyección químicos	Plantas de tratamiento de agua (Capacidad 3700 bbl/día)	3,300,000	Costo dependiente de la capacidad del caudal del agua	Krispin et al (2008)

## 2.2. Egresos.

Los egresos son los costos de operación y producción; gastos de mantenimiento, administración, mercadeo, ventas; la deducción en capital y amortización, la pérdida en venta de activos y diferidos (Meza, 2015) como se presenta en la ecuación 2.

$$\text{Egresos} = \text{OPEX} + \text{Deducción en capital por depreciación} + \text{Amortización} + \text{Diferidos} + \text{otros egresos} \quad (2)$$

### 2.2.1. Costos de operación (OPEX):

Los costos de operación son los desembolsos relacionados a la operación que no pueden ser considerados como activos de la empresa o no pueden ser capitalizados (Bonem, 2018; Moix, 2014). Los costos operativos pueden tener mayor impacto en comparación con el CAPEX, por eso es importante evitar el uso de premisas generales y simples de costos constantes por barril producido. Los costos operativos pueden clasificarse en variables y fijos; directos e indirectos (Kamari 2014).

**Los OPEX directos** son aquellos que tienen un impacto directo en la producción, así como actividades de mantenimientos, *workover*, costo de fluidos inyectados, diluyentes para

facilitar el transporte en otros. **El OPEX indirecto** involucra salarios de gestión, computadoras, escritorios y otros equipos utilizables durante la implementación del proyecto (El-Reedy, 2021).

Por otro lado, se entiende como **OPEX variable** estos costos que dependen de la cantidad de producción obtenidas, ejemplos químicos usados para tratar el crudo en superficie. El **OPEX fijo** está basado en un porcentaje del CAPEX acumulado de los ítems a ser operados y se refiere a aquellos costos que no depende de la producción del campo, así como costos de mano de obra, costos de gestión social y ambiental, seguridad física y costos de mantenimiento (Padilla & Leon, 2019) (Jahn 1998).

Generalmente, los costos de operación (OPEX) en un campo de petróleo se agrupan en costos de extracción y costos de transporte como se muestra en la ecuación 3. En Colombia los costos de operación se registran entre 10-34 \$USD/ Bbl, reflejando las diferentes condiciones de producción y transporte, las cuales varían principalmente según el tipo de crudo (pesado o liviano) y la ubicación del campo con relación a la infraestructura de transporte.

$$\text{OPEX} = \text{Costo de extracción} + \text{costo de transporte} \quad (3)$$

Los costos de extracción representan el 47% del costo total de operación, aproximadamente 7.7-16 USD/bbl. Incluye levantamiento (*lifting cost*), gastos de administración y otros asociados con el procesamiento del crudo como se muestra en la ecuación 4. Además, excluye costo de transporte del campo al puerto de exportación (ACP, 2017).

$$\text{Costos de extracción} = \text{lifting cost} + \text{gastos de admisnistración} + \text{procesamiento del crudo} + \text{inyección de fluido} + \text{costo energetico} \quad (4)$$

Los costos de transporte representan el 53% de los costos de operación, contiene las deducciones por transporte y los costos de la dilución con nafta, y se puede encontrar en un valor de 5.3 y 18.2 USD/bbl. Este valor varía según el tipo de transporte, ruta y precio de la

nafta, la cual ha fluctuado en el año 2020 y 2021 entre 40 y 66 USD/bbl (Tranding economics (abril 2021))

En procedimientos de recuperación térmica por inyección de vapor el OPEX variable se enmarca por el costo por generación de un millón de BTU (MBTU). Este costo depende estrictamente del consumo de combustible para la generación de vapor, del consumo de energía eléctrica y del tratamiento químico necesario para llevar el agua de alimentación a especificaciones aptas para el generador de vapor. En este tipo de procesos también se requiere como OPEX la dilución del crudo con un solvente debido a la alta viscosidad de los crudos donde se implementa este tipo de métodos de recobro mejorado.

Por otro lado, en procesos de inyección de químicos, el costo para la adquisición y transporte de la masa del químico inyectado se puede considerar una forma de gastos operativos (OPEX). Adicionalmente, se incluye como OPEX las actividades de mantenimiento y monitoreo a los que son sometidos los pozos durante la inyección de fluidos. En los crudos en lo que son comúnmente aplicados estos métodos no requieren dilución con solvente; sin embargo, si requieren de tratamiento y transporte en superficie. A continuación, en la tabla 3 se presenta un resumen de OPEX y rangos encontrados en la literatura para estos dos procesos.

Tabla 3.

*Resumen de las variables OPEX para métodos de inyección de polímeros y vapor*

Proceso	OPEX	Rango de costos (USD)	Tipos de variables	Referencias
<b>Inyección de vapor</b>	Generación de vapor (USD/bbl agua)	$0.3861X+1.7122^{**}$	<b>Variable dependiente</b> en forma lineal del precio y tipo de combustible	Chaar (2015), asumiendo como combustible gas natural
	Manejo y tratamiento de agua (USD/bbl agua)	0.1-1.9	Variables numéricas continuas con distribución uniforme dependientes del tipo de químicos	(Anthony and Mohan, 2010). Krispin (2008)
	Lifting cost (USD/bbl aceite)	6-15	Variables numéricas continuas con distribución uniforme y dependencia del tipo de	Lawal (2019) Martinez (2001)

			crudo y método de recuperación	
	Precio de la nafta (USD/bbl nafta)	40-66	Variable aleatoria con distribución uniforme	
	Precio del gas natural (USD/MBTU)	4-10	Variable aleatoria con distribución uniforme	
	Costo administración (USD/bbl aceite)	1.2-2.5	Variables numéricas continuas con distribución uniforme	Krispin (2008)
	Costo transporte (USD/bbl aceite)	5.3 y 18.2	Variables numéricas continuas con distribución uniforme dependiente de la viscosidad del crudo	
<b>Inyección químicos</b>	Químico inyectado (costo adquisición y transporte) _ (USD/libra polímero)	1.50	Variables dependientes del tipo de químico inyectado	(Keith et al. 2022).
	Lifting cost (USD/bbl aceite)	6-15	Variables numéricas continuas con distribución uniforme con dependencia del tipo de crudo y método de recuperación	
	Actividades de mantenimiento y monitoreo	100000 USD /año		(Keith et al. 2022).

\*\* Correlación desarrollada para diferentes precios del combustible, donde X corresponde al costo del gas natural (USD/MBTU)

### 2.2.2. Deducción en capital por depreciación (D).

Son las deducciones fiscales por inversiones en ítems de capital (CAPEX). Cabe señalar que una deducción de capital no es un elemento de flujo de efectivo, sino que solo se calcula para permitir la determinación de la base imponible. Estas deducciones por depreciación se relacionan con la disminución periódica del valor de un bien material o inmaterial y puede ser calculada mediante tres métodos que se muestran a continuación.

El método de la línea recta es el método más simple donde el activo capital se deprecia en un número de años, según su vida útil (VU) en una misma cantidad por año, teniendo en cuenta un valor residual (VR) del 10% sobre su costo inicial. Lo anterior, con la finalidad de

aplicar correctamente la normatividad contable (Padilla & León, 2019) como se muestra en la siguiente ecuación.

$$D = \frac{I - (I * VR)}{VU} \quad (5)$$

El método de declinación permite depreciar de forma acelerada un activo, debido a que bajo este método el gasto por depreciación es mayor durante los primeros años de vida útil del bien y se puede estimar con la ecuación 6.

$$D = 1 - \sqrt[vu]{\frac{VR}{I}} \quad (6)$$

El método basado en producción es aplicado en equipos cuyo uso no es frecuente y se calcula teniendo en cuenta la vida útil por unidades de producción (VUp) como se muestra en la siguiente ecuación.

$$D = \frac{I - (I * VR)}{VUp} \quad (7)$$

### 2.3. Ingresos

Los ingresos se definen como las entradas líquidas del proyecto por la venta de productos y servicios producidos. En la industria de hidrocarburos los ingresos son determinados con la venta del hidrocarburo, cuya extracción depende de las estrategias de producción y las reservas probadas del campo (Moix, 2014). Adicionalmente, los ingresos pueden ser conformados por el cobro de intereses, el valor de salvamento correspondientes a los activos fijos, incremento de cuentas por pagar, la recuperación del capital de trabajo y la venta de parcial o total del negocio al final de la vida económica del proyecto (Padilla & León, 2019).

Además, de la tasa de recuperación del petróleo, los ingresos dependen del precio de venta del barril del crudo, diferencia de precio por calidad del crudo, el pago de regalías, contribuciones adicionales de las entidades que otorgan los contratos y otras participaciones. Según lo anterior, los ingresos netos por un volumen de crudo producido ( $V_o$ ) en un periodo de tiempo se calcula con la ecuación 8.

$$\text{Ingresos netos} = (V_o - (1 - \text{Regalías}) * (\text{Precio crudo} - \text{descuentos})) \quad (8)$$

El precio de venta del crudo colombiano está normalmente referenciado a los crudos Vasconia y/o Castilla, que a su vez se correlacionan con otros crudos marcadores internacionales y debe cumplir con unos descuentos por calidad (Malagón et al., 2016). Según el reporte de Ecopetrol para el 2020 estos descuentos alcanzaron un valor entre 9 y 13 USD/bbl (Forbes, 2020).

Por otro lado, los precios del barril del crudo son muy volátiles y dependen de muchos aspectos económicos, políticos y sociales. Por lo cual, es considerada como una variable de alto de riesgo que requiere análisis de incertidumbre bajo diferentes escenarios para considerar sus efectos sobre la rentabilidad de un proyecto. El pronóstico del precio del petróleo a menudo se basa en un precio en términos reales fijo, es decir, un aumento en el precio a la tasa de inflación pronosticada (Jahn 1998). Por lo tanto, en la herramienta computacional se debe incluir el efecto de la inflación en el precio del crudo para estimar los ingresos netos.

## **2.4. Regalías e impuestos**

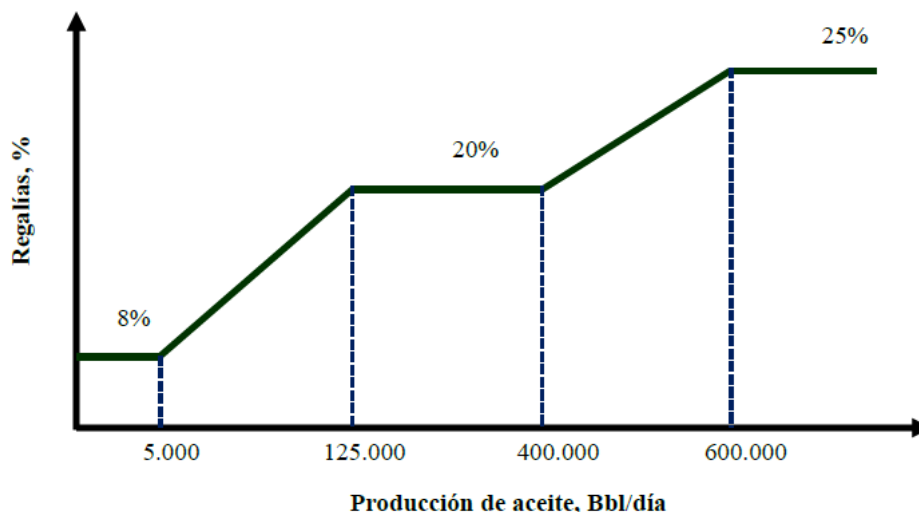
### **2.4.1. Las regalías (R).**

Las regalías son la contraprestación económica a favor del Estado por la explotación de recursos no renovables, como petróleo y gas, que se le otorgan a departamentos y municipios en cuyo territorio se adelantan explotaciones, y a los puertos por donde se transportan dichos

recursos. En Colombia, la ley 756 de 2002 establece el porcentaje de regalías en función de la producción y pueden ser recaudadas en dinero o en especie como se muestra en la figura 3.

Figura 3.

*Distribución del porcentaje de regalías según el número de barriles producidos.*



Nota. Adaptado de Moix, R. (2014). *Evaluación Económica de Proyectos Petroleros*. Bogotá D. C.: Pacific Rubiales Energy.

Las regalías son cargadas directamente a los volúmenes netos producidos del petróleo como se muestra en la ecuación 8 y estas no pueden ser deducidas al impuesto sobre la renta.

#### 2.4.2. Los impuestos (M)

Los impuestos son fuente de recursos fiscales que gravan todos los ingresos que obtenga un contribuyente en el año y que sean susceptibles de generar un incremento neto en momento de su recepción. Con el artículo 100 de la Ley 1819 de 2006, se modificó el artículo 240 del Estatuto Tributario que rige en Colombia, y se estableció la tarifa general del impuesto sobre la renta del 34% para el año gravable 2017 y del 33% del año 2018 en adelante. Sin embargo, para el año 2023 con la reforma tributaria, las petroleras tendrán que pagar sobretasas de hasta 10% y 15%; es decir, las empresas podrían llegar a pagar hasta 50% dependiendo del percentil en el que se encuentre el precio del barril del petróleo en los últimos 10 años.

De modo que cuando el precio del petróleo en los mercados internacionales esté 30% por debajo del valor promedio de los últimos 10 años, a las empresas petroleras no se les cobrará la sobretasa de renta y quedarán con la tarifa única para todas las personas jurídicas, que es de 35%. No obstante, cuando el crudo esté entre 30% y 45% del precio promedio, la sobretasa será de 5%, por lo que las petroleras pagarán en total una tarifa de renta de 40%. Cuando el precio esté entre el percentil 45 y 60, la sobretasa será de 10%, para una tarifa de renta total de 45%. Y finalmente, en los casos en los que los precios internacionales estén arriba del 60% del valor promedio de los últimos 10 años, las petroleras tendrán una sobretasa de 15%, para llegar a una tarifa de renta de 50% (Becerra, 2022).

Este impuesto solo se paga cuando hay ingresos positivos imponibles. Al inicio de un nuevo proyecto, los costos fiscales pueden exceder los ingresos, dando lugar a una base imponible negativa (Jahn 1998).

## 2.5. El flujo de efectivo libre (*FNE*)

El flujo de caja efectivo es considerado flujo de fondos operativos, el cual se refiere al flujo generado por las operaciones sin tener en cuenta el endeudamiento después de impuestos (Fernández 2008b) y se calcula con la siguiente ecuación 9 (Rodríguez et al., 2009).

$$FNE = UAI - M + D - A - \Delta C.T + LC + VR \quad (9)$$

Donde:

*UAI* =Utilidad antes de impuestos

*M* =Impuestos

*D* =Deducciones al capital por depreciación y diferidos

*A* = Amortización por deuda (crédito)

$\Delta C.T$  =Incremento en el capital neto de trabajo

*LC* = Valor liquidación capital del trabajo

$VR$  = Valor residual de activos fijos

La obtención de este flujo de caja involucra varios cálculos con los parámetros definidos anteriormente, los cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 4.

*Resumen operación para la obtención del flujo de caja en cada periodo*

Operación	Periodo		1	2	3	4	5
	Parámetros	Ecuación					
+	Ingresos netos	8					
-	OPEX	3					
-	Depreciación	5-7					
-	Amortización de diferidos						
-	Gastos financieros						
=	<b>Utilidad antes de impuestos (UAI)</b>						
-	Impuestos (M)						
=	<b>Utilidad después de impuestos</b>						
+	Depreciación						
+	Amortización de diferidos						
-	Amortización deuda						
-	Incremento en el capital neto de trabajo ( $\Delta C.T$ )						
+	Valor liquidación capital del trabajo (LC)						
+	Valor residual de activos fijos (VR)						
=	<b>El flujo de efectivo libre (FNE)</b>						

La utilidad operativa ( $UAI$ ) corresponde a la diferencia entre los ingresos netos (ecuación 8) y egresos para cada periodo (ecuación 3). El incremento en el capital de trabajo neto ( $\Delta C.T$ ) corresponde a la diferencia entre el activo y el pasivo circulantes del año actual menos la diferencia de estos en el año anterior (Rodríguez et al., 2009).

## 2.6. La tasa de oportunidad ( $i$ )

La tasa de oportunidad es una tasa de interés que corresponde al riesgo del flujo de caja en cada periodo. La tasa es considerada como el factor determinante para evaluar el proyecto a través de modelos de evaluación financiera dinámicos, y es utilizada para trasladar los

beneficios y costos a diferentes periodos (Meza, 2015). Esta se denomina **tasa de descuento** cuando la inversión (P) se financia con recursos propios de inversionista o **costo de la deuda** si el proyecto es financiando con pasivos. También se puede entender como **costo capital** cuando la inversión viene de varias fuentes propias y pasivos.

### 3. Modelos de evaluación financiera

Los modelos de evaluación financiera se dividen en modelos verticales (estático) y horizontal (dinámicos). Los modelos estáticos de valoración son aquellos que no tienen en cuenta cómo evoluciona el valor del dinero en el tiempo y son usados para analizar estados financieros como el Balance General y el Estado de Resultados, comparando las cifras en forma vertical. Algunos de los métodos son: periodo de recuperación simple; Flujo de Caja Total por unidad monetaria invertida; Flujo medio anual de Caja por unidad monetaria invertida; así como todos los métodos basados en los Estados Financieros de la empresa: ROI, ROA, Múltiplos del EBITDA, etc.

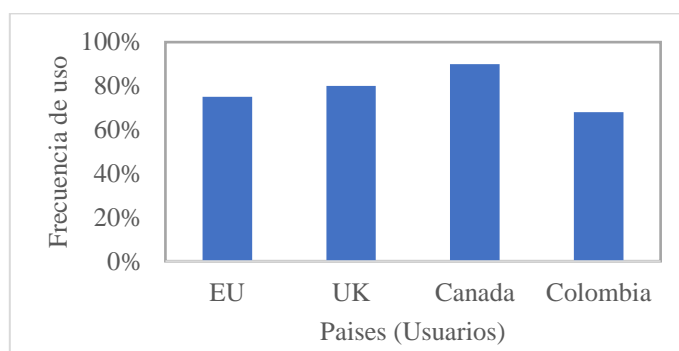
Los modelos dinámicos son aquellos que tienen en cuenta el valor del dinero en el tiempo mediante el uso de las tasas de oportunidad y los flujos de caja efectivos. Las finanzas modernas evitan el uso de medidas estáticas, buscando índices dinámicos de desempeño que consideren el valor del dinero en el tiempo y cuyo cálculo se apoye en los flujos netos de efectivo (Meza, 2015)(Sallenave, 1994). Este tipo de métodos son principalmente usados para la evaluación de procesos de recuperación mejorada de petróleo. Por lo tanto, el presente trabajo se centró en el análisis de estos diferentes métodos e indicadores de forma dinámica.

### 3.1. Valor presente Neto (VPN)

El valor presente neto es el método para evaluación de proyectos más popular en el mundo. Como se puede ver en la figura 4, el VPN es usado por el 75% de las empresas de E.U, 80% de empresas en UK (Rakesh et al., 2016), 94% de empresas canadienses (Bennouna, 2010) y 68% de empresas en Colombia (Vecino et al., 2015).

Figura 4.

*Frecuencia relativa de uso del VPN en diferentes países*



El valor presente neto se define como la diferencia de los flujos efectivos netos de los ingresos y egresos en una misma fecha, descontados a una tasa que refleja el costo de oportunidad de ser invertidos en otros negocios (Žižlavský, 2014) como se muestra en la ecuación 10.

$$VPN = -P + \sum_{k=1}^{k=n} \left( \frac{FNE_k}{(1+i)^k} \right) \quad (10)$$

Donde:

FNE<sub>k</sub>= Flujo de efectivo libre en cada periodo k

P= Inversión

i= Tasa de oportunidad

n= Número de periodos

k= Periodo

Como se mencionó anteriormente, la tasa de oportunidad es relacionada directamente con el riesgo de la inversión (Rodríguez et al., 2009). Esto significa que el modelo VPN esta

ajustado al riesgo, lo cual propone una clara ventaja frente a otras métricas como la Tasa Interna de Retorno (TIR) que no tienen en cuenta este criterio de incertidumbre como se explicara más adelante (Gaily, 2011) (Žižlavský, 2014). Sin embargo, el problema de fusionar el riesgo y el valor del dinero en el tiempo al calcular el VPN de un proyecto es que este enfoque presenta el valor de los flujos de efectivo que se generarán en un futuro distante como demasiado pequeño y exagera el valor de los flujos de efectivo anteriores (Robichek et al., 1996) (Viscusi, et al., 2007) (Ponomarenko et al., 2022)

Los criterios para aceptar o rechazar un proyecto de inversión usando el VPN, dependen de los indicadores y exigencias financieras del inversionista; sin embargo, se contempla que:

- Cuando el VPN es mayor que cero, el proyecto se debe aceptar.
- Cuando el VPN es igual a cero, es indiferente aceptar o no el proyecto.
- Cuando el VPN es menor que cero, el proyecto se debe rechazar

### 3.2. Tasa interna de Retorno (TIR).

La Tasa Interna de Retorno (TIR) ofrece información sobre el rendimiento del proyecto en forma porcentual y determina la tasa de descuento a la que el Valor Presente Neto (VPN) arroja un valor de cero (ecuación 11), es decir, cuando la sumatoria los flujos netos de efectivo son iguales a la inversión inicial (Meza et al., 2005) (Grayson et al., 2021).

$$VPN = -P + \sum_{k=1}^{k=n} \left( \frac{FNEk}{(1+TIR)^k} \right) = 0 \quad (11)$$

Una interpretación importante de la TIR es la máxima tasa de interés a la que un inversionista estaría dispuesto a pedir prestado dinero para financiar la totalidad del proyecto, pagando con los beneficios (flujos netos de efectivo) la totalidad del capital y de sus intereses, y sin experimentar pérdidas.

A diferencia del indicador VPN, la TIR usa la tasa de oportunidad como una tasa de referencia para evaluar la viabilidad del proyecto, pero no tienen dependencia matemática con esta. La TIR depende de las características propias del proyecto y expectativas del inversionista.

Los criterios para la aceptación o rechazo de un proyecto mediante el método de la TIR indican que:

- Cuando la TIR es mayor que la tasa de oportunidad, el proyecto se debe aceptar, ya que el inversionista obtiene un rendimiento mayor del exigido; es decir, el inversionista gana más de lo que quería ganar.
- Cuando la TIR es igual a la tasa de oportunidad, es indiferente emprender o no el proyecto de inversión.
- Cuando la TIR es menor que la tasa de oportunidad, el proyecto se debe rechazar, ya que el inversionista recibe menos de lo que quería ganar.

Son muchos los inversionistas que prefieren el criterio de la TIR sobre el VPN para evaluar proyectos de inversión. Esta tiene buena respuesta en proyectos independientes donde el VPN sea función uniformemente decreciente de la tasa de descuento, es decir, que a medida que la tasa de descuento aumenta, el VPN disminuye.

No obstante, como se explicará a continuación, este método tiene varias desventajas en proyectos no convencionales y mutuamente excluyentes que se deben tener en cuenta, ya que estos defectos lo invalidan como método acertado para definir la viabilidad de un proyecto de inversión (Meza, 2015)

### **3.2.1. Defectos de la TIR.**

Como se explicó anteriormente, la TIR se puede entender como **la tasa de rentabilidad anual** equivalente de una inversión (Muñoz et al., 2005). No obstante, unos de las desventajas de este método radican en que la TIR solamente representa la tasa anual equivalente de una

inversión, cuando dicha inversión no tiene flujos de caja intermedios o cuando estos flujos no se reinvierten (Meza et al 2005). A continuación, se detallan dos defectos que podrían afectar los proyectos evaluados en este trabajo de aplicación.

- ***TIR múltiples***: En algunos proyectos no convencionales, el patrón de flujo de efectivo cambia de signo más de una vez, es decir, se tienen inversiones intermedias o reinversiones, conllevando a obtener varias TIR, incluso con valores negativos. Esto indica que la empresa está perdiendo valor; sin embargo, puede ser el resultado de un error matemático en la solución de una fórmula compleja. En este caso expertos recomiendan usar el VPN como la mejor opción (Prachi Juneja, 2020).

- ***Proyectos mutuamente excluyentes***: Se entiende como proyectos mutuamente excluyentes cuando la realización de uno de ellos no permite llevar a cabo el otro (Lledó., 2007). En este escenario, la TIR presenta un conflicto con el método VPN y no sirve para elegir al mejor proyecto, ya que en este caso no se puede decir que el proyecto con la mayor TIR es el que debería llevarse a cabo (Lledó., 2007)(Palenzuela et al., 1987). El conflicto que se presentan entre los modelos en este escenario se debe a los supuestos en los que cada uno se basa. Mientras que el cálculo de la TIR supone que los fondos generados por el proyecto pueden ser reinvertidos a la misma TIR, el cálculo del VPN supone una reinversión de fondos a la tasa de descuento de la empresa, o sea, a su tasa de oportunidad. Además, en este tipo de proyectos excluyentes, la TIR no tiene en cuenta los problemas de diferentes volúmenes de inversión inicial (problema de escala) ni la diferente periodicidad de los flujos de efectivo.

Por ende, si los proyectos son mutuamente excluyentes, la regla de elegir el proyecto de mayor TIR no debería ser utilizada para seleccionar entre proyectos. En su lugar debería utilizarse el criterio de seleccionar aquel proyecto de mayor VPN. Este último defecto de la TIR supone un problema para evaluar los proyectos de métodos de recobro mejorado, ya que la mayoría de las veces se debe elegir una sola alternativa entre varias opciones.

### 3.3. Tasa verdadera de rentabilidad (TIR modificada).

La tasa interna de retorno modificada (TIRM) es aquella que permite establecer una relación de equivalencia entre la inversión actual y los valores futuros de los flujos de caja (Mete, 2014). La TIRM es una medida de rentabilidad periódica expresada en porcentaje que considera en forma explícita la posibilidad de reinvertir los flujos incrementales de fondos del proyecto a una tasa diferente a la tasa TIR (Tapia, n.d.). De ese modo, se asemeja más al VPN y conserva la capacidad de comunicación porcentual de la TIR (Milanesi et al., 2004). Por lo anterior, este modelo se considera más práctico que la TIR con supuestos más razonables.

Para la determinación de la TIRM se tiene en cuenta el costo del capital, el riesgo de la inversión entre otros factores (Xie., 2021). A continuación, se muestra la ecuación 12 para el cálculo de esta tasa.

$$TIRM = \left( \frac{\sum_{k=1}^{k=n} (FNEk) * ((1 + i)^{n-k})}{P} \right)^{1/n} - 1 \quad (12)$$

Los criterios para la aceptación o rechazo de un proyecto mediante el método de la TIR indican que para proyectos mutuamente excluyentes debe optarse por aquel que presente la mayor TIRM. En caso de que ambos presenten TIRM negativas, deberían rechazarse y buscar otras alternativas (Mete, 2014).

En proyectos individuales se mantienen los criterios de aceptación que, para la TIR, es decir:

- Cuando la TIRM es mayor que la tasa de oportunidad, el proyecto se debe aceptar.
- Cuando la TIRM es igual a la tasa de oportunidad, es indiferente emprender o no el proyecto de inversión.
- Cuando la TIRM es menor que la tasa de oportunidad, el proyecto se debe rechazar.

### 3.4. Modelo de Periodo de Recuperación (PR).

El método de periodo de recuperación determina el tiempo que tomará recuperar la inversión inicial (Gallo, 2018). Otro enfoque para comprender este modelo es verlo como la cantidad de tiempo que tomará llegar al punto de equilibrio. El tiempo de recuperación simple considera los flujos de efectivo sin tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo; es decir, a diferencia de los anteriores métodos no tiene en cuenta el riesgo inherente a la inversión.

Este método puede ser usado como una estrategia verificar rápidamente los números antes de decidir si investigar más a fondo la inversión con otros métodos como el VPN, TIR o TIRM. La relación para calcular el PR cuando los flujos de caja efectivos son iguales se muestra en la ecuación 13.

$$PR = \frac{\text{Inversión inicial}}{FNE} \quad (13)$$

Sin embargo, los proyectos de inversión no siempre garantizan que los flujos de caja son iguales, ya que dependen de los gastos, costos e ingresos anuales. Por lo tanto, es necesario aplicar la siguiente serie de pasos:

- Calcular los flujos netos efectivo-acumulados con la inversión inicial del proyecto para cada periodo (**FNEc**)

$$FNEc_K = P + \sum_{K=1}^{K=K} FNE_K$$

- Identificar el último periodo (m), donde el flujo efectivo acumulado es menor a cero
- En ese periodo aplicar la ecuación 14, donde  $FNEc_m$  es el flujo acumulado en el periodo m y  $FNEc_{m+1}$  es el flujo de caja acumulado después del periodo m

$$PR = m + \frac{FNEc_m}{FNEc_{m+1}} \quad (14)$$

Los criterios para aceptar o rechazar un proyecto de inversión usando el PR, dependen de del tiempo de vida del proyecto, ya que se espera que el periodo de recuperación sea más corto que el tiempo estimado para el proyecto (Gallo, 2018).

En los países donde la situación política y económica es inestable prefieren aplicar este método, ya que los inversionistas buscan recuperar cuanto antes su inversión (Vecino et al, 2021). Sin embargo, este método siempre debe estar acompañado de otros indicadores para tomar decisiones correctas de inversión.

Una de las fallas fundamentales del método simple es que no se tiene en cuenta el valor del dinero en el tiempo. Además, no se incluye la tasa de oportunidad, lo cual es un problema si su empresa requiere que las inversiones propuestas superen una determinada tasa crítica. Adicionalmente, la precisión del método se ve fuertemente afectada con el tiempo del método, ya que entre mayor sea el tiempo de vida de un proyecto, mayor será la incertidumbre de los valores de PR calculados.

### 3.5. Método de recuperación ajustado

El tiempo o periodo de recuperación ajustado es el que se requiere para recuperar el valor presente del dinero que se invirtió inicialmente en un negocio o proyecto, teniendo en cuenta el valor del dinero en el tiempo, Es decir, este método calcula el tiempo que se necesita para que el dinero que entra al negocio (ajustado por su valor en el tiempo) sea igual al monto originalmente invertido, también ajustado por su valor en el tiempo.

El método consiste en llevar todos los flujos de caja efectivo ( $FNE_k$ ) al periodo de la inversión o tiempo cero ( $FNE_0$ ), aplicando la ecuación 15 para cada periodo ( $k$ ) (Coker, 1995)

$$FNE_0 = \frac{FNE_k}{(i + 1)^k} \quad (15)$$

Posteriormente, se realiza el mismo procedimiento del PR simple con flujos de caja diferentes mostrado en la ecuación 14.

### 3.6. La relación beneficio/costo (RB/C).

Este es un método que mide cuántas unidades monetarias genera de ingresos un proyecto de inversión por cada unidad monetaria de egresos. RB/C es la relación entre los beneficios del proyecto y los costos del proyecto. Implica sumar los beneficios descontados totales de un proyecto durante toda su duración/vida útil ( $B_k$ ) y dividirlo entre los costos descontados totales del proyecto  $C_k$  y las inversiones iniciales. como se muestra en la ecuación 16.

$$RB/C = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} \left( \frac{B_k}{(1+i)^k} \right)}{\sum_{k=1}^{k=n} \left( \frac{C_k}{(1+i)^k} \right) + P} \quad (16)$$

Según esta relación se busca que la RB/C sea superior a 1 para garantizar que los ingresos serán superiores a los egresos del proyecto.

La principal limitación del RB/C es que reduce un proyecto a un simple número cuando el éxito o el fracaso de una inversión o expansión depende de muchos factores y puede verse socavado por eventos imprevistos. Simplemente seguir una regla que por encima de 1.0 significa éxito y por debajo de 1.0 significa fracaso es engañoso y puede proporcionar una falsa sensación de comodidad con un proyecto. El RB/C debe usarse como una herramienta en conjunto con otros tipos de análisis para tomar una decisión bien informada (Hayes., 2022).

### 3.7. Métodos usados en la evaluación de procesos de recuperación de petróleo

Vecino et al. (2015) encontró que los métodos utilizados por el 68% de las empresas colombianas para evaluación financieras son principalmente el VPN, la relación beneficio/costo (RB/C) y la TIR, ya que estas son fáciles de usar, incluyen la consideración del valor del dinero en el tiempo y porque se relacionan bien entre ellos para dar claridad a la decisión de inversión. El método de periodo de recuperación (PR) es usado en segundo lugar con 50% y las menos empleadas son las prácticas de optimización y programación lineal.

En los proyectos o empresas se acostumbra a unir varios métodos para formar una sinergia metodológica que permita complementar y fortalecer la evaluación financiera (Mongrut & Wong, 2005). Además, se ha podido observar que el VPN siempre está presente y las empresas colombianas prefieren complementarlo con la TIR (Vecino et al., 2015)

Así mismo, en proyectos de recobro mejorado se han encontrado el uso de diferentes métodos para la evaluación financiera, sin embargo, la mayoría mantiene la preferencia por el VPN (Kamari et al., 2014; Zekri & Jerbi, 2002a). Del mismo modo que lo encontrado por el autor Vecino et al (2015), se identificó que los trabajos de investigación realizados en Colombia unen los métodos, principalmente, VPN, TIR y RP (Martinez, 2020; Osma et al., 2019; Padilla & Leon, 2019)(Cipagauta & Gomez, 2019) (Cruz & Rodríguez, 2014). Otros prefieren el uso de la relación beneficio/costo, el cual es requerido para hacer análisis costo-energético de algunas técnicas (Ariza, 2020; Osma et al., 2019).

Para realizar una mejor comparación y seleccionar los indicadores financieros que debe contener la herramienta, se llevó a cabo una revisión de 20 trabajos relacionados con evaluaciones financieras de proyectos de recobro mejorado y los resultados se resumen en la tabla 5.

Tabla 5.

*Resumen de revisión de trabajos de evaluación financiera en procesos de recuperación de petróleo.*

método	Frecuencia	Referencias
VPN	75%	(Padilla & León, 2019) (Cipagauta & Gomez, 2019) (Gaspar Ravagnani et al., 2009; Kamari et al., 2014; Sandler et al., 2012; Zekri & Jerbi, 2002b)
TIR	42%	(Padilla & León, 2019) (Cipagauta & Gomez, 2019) Afra (2021) (Martínez 2021)
RB/C	17%	Afra (2021)
RP	8%	(Padilla & León, 2019) (Cipagauta & Gomez, 2019) Gaspar (2009) Afra (2021)
VPN- TIR-RP- RB/C	70%	(Padilla & León, 2019) (Cipagauta & Gomez, 2019) Afra (2021) (Martínez 2021)

Se puede observar que el 75% de los proyectos usó el VPN como método de evaluación de proyectos. Este fue el mayor porcentaje seguido por el uso de la TIR que obtuvo un 42%. Los valores más bajos son asociados al método RP con 8% y RB/C con 17%. Adicionalmente, el 30% de los proyectos empleó solo el VPN como método de análisis, mientras que el 70% de los estudios apoyó el uso del VPN con otras técnicas como TIR, RP y RB/C. Según las tendencias encontradas se contempla programar todos los métodos revisados en el presente documentos para ofrecer diferentes alternativas a los usuarios en la herramienta computacional.

#### **4. Metodologías para el desarrollo de una herramienta computacional**

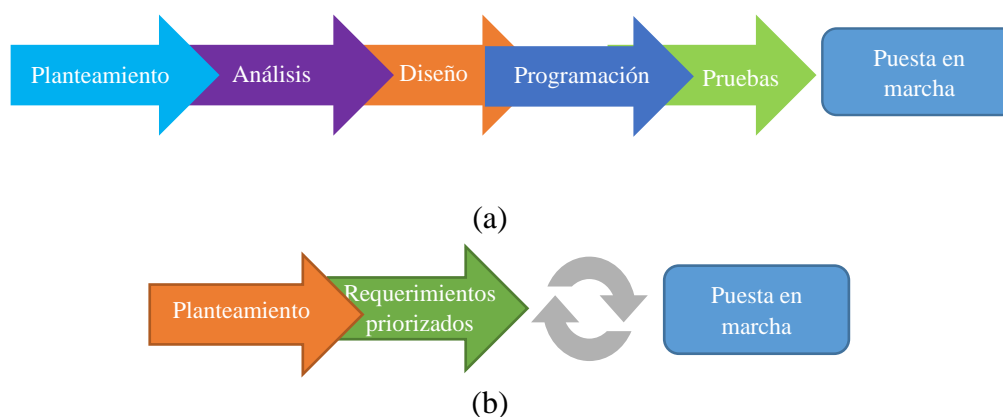
Una metodología para el desarrollo de un software es una secuencia lógica para estructurar, planificar y controlar el proceso de construcción de sistema de información. Una gran variedad de estas metodologías ha sido planteada durante los años con sus propias fortalezas y debilidades que pueden ajustarse a requerimientos específicos de un proyecto,

basados en consideración técnicas, u organizacionales del proyecto y del equipo (Maida & Panziencia, 2015).

Las metodologías tradicionales de desarrollo de software son orientadas por planeación y tiene una estructura predictiva, donde se debe iniciar con requerimientos y rutas muy bien definidas antes de las etapas de análisis y diseño. Estas metodologías constituyen la ejecución de un proyecto bajo un proceso rígido en una sola dirección y sin opción de cambio, demandando grandes plazos durante la planeación y poca interacción con el cliente durante la toma decisiones en la etapa de ejecución como se muestra en la **figura 5a** (Velásquez et al., 2019; Navarro et al., 2013). No obstante, este proceso puede ser muy frustrante y complejo en el diseño del software, ya que pueden surgir varios cambios que son difíciles de aceptar con esta metodología tradicional.

Figura 5.

*Ciclo de vida de un software según (a) Metodologías tradicionales y (b) metodologías convencionales*



Como respuestas a estas problemáticas, nuevas metodologías fueron desarrolladas basadas en mejorar interactivas, conocidas como metodologías ágiles como se muestra en la figura 5b. El desarrollo de software ágil promueve una documentación mínima y, a menudo, prioriza los requisitos funcionales sobre los requisitos de calidad. El énfasis mínimo en la documentación puede ser beneficioso para reducir el tiempo de comercialización del software

(Behutiye et al., 2022). A diferencia de los métodos tradicionales, las metodologías ágiles utilizan iteraciones en lugar de fases, empleando ciclos iterativos cortos, lanzamientos pequeños / cortos, diseño simple, favoreciendo la integración continua y confiando en el conocimiento implícito dentro de un equipo más que en la recopilación de documentación (Maida & Panziencia, 2015). Según la información encontrada en la literatura, dentro de las metodologías más usadas en los casos de éxitos esta la metodología Scrum y Programación extrema (XP) (Navarro. et al, 2013). A continuación, se describen las características de estas dos metodologías.

#### **4.1. Metodología scrum.**

Es un marco de trabajo para el desarrollo y mantenimiento de productos complejos. Es la metodología ágil más utilizada diseñada para lograr la colaboración eficaz de los diferentes equipos relacionados con el proyecto. Esta resalta por ser ligera y fácil de entender. Se caracteriza por estar conformado por equipos scrum, roles, eventos, artefactos y reglas asociadas. Además, se realizan *sprints* o entregas iterativas del producto al cliente para que lo pruebe y realice observaciones, donde cada sprint puede durar entre tres semanas y un mes y cada sprint inicia después que finaliza el anterior.

##### **4.1.1. El equipo scrum.**

El equipo scrum está conformado por el dueño del producto, el scrum máster y el equipo de desarrollo (entre 3 y 9 personas). El dueño del producto representa la voz del cliente y siempre debe mantener una visión dual para maximizar el valor del producto y del equipo de desarrollo. Por lo tanto, todos los cambios sobre la prioridad de los elementos se deben hacer a través de él. Adicionalmente, es el responsable del de gestionar la lista del producto (producto

backlog), garantizando que la lista es clara y priorizada para alcanzar las misión y objetivo de acuerdo con los requerimientos del usuario.

El equipo de desarrollo está diseñado para optimizar la flexibilidad y creatividad durante la creación de un producto de una forma autoorganizada y multifuncional. Una de sus principales funciones es entregar un incremento del producto terminado para que se pueda poner en funcionamiento al final de cada sprint.

Finalmente, el scrum máster es un líder de servicio para el dueño del producto y el equipo de desarrollo. Su función es asegurar que la metodología Scrum sea entendida y adoptada. Además, el scrum máster interactúa con las personas externas del equipo para saber que aportes pueden ser de ayuda.

#### **4.1.2. Eventos de la metodología scrum.**

Los eventos en scrum son definidos con bloques de tiempo de modo que la duración de cada evento es controlada y tiene un tiempo máximo. Los eventos dentro de un sprint incluyen:

- ***Reunión de planificación del sprint:*** En esta reunión el equipo scrum debe estar completo y puede durar hasta 8 hora para un sprint de un mes. El objetivo de este evento es definir que se puede entregar en el incremento resultante al finalizar el sprint y la metodología que se usará para la entrega de este incremento.
- ***Scrum diario:*** En este evento se reúne el equipo de desarrollo y eventualmente el scrum máster. Esta reunión se debe hacer todos los días en 15 minutos y el objetivo es sincronizar actividades para las siguientes 24 horas.
- ***Revisión del sprint:*** En este evento acuden el equipo scrum y los interesados claves y se realiza al finalizar cada sprint. El objetivo de esta reunión es facilitar la retroalimentación de la información del incremento entregado y fomentar la colaboración. En esta reunión se revisa

el sprint para inspeccionar el incremento y se adapta la lista del producto si se requiere. La reunión deber tener una máxima duración de 4 horas.

- **Retrospectiva del sprint:** Se realiza después de la reunión del sprint y el objetivo es inspeccionar y crear un plan de mejora para el siguiente sprint. Esta debe durar máximo 3 horas para un sprint de un mes.

#### **4.2. Programación extrema (XP).**

Es un tipo de metodología ágil muy usada para el diseño y estructuración de softwares, donde se busca la creación de un producto ajustado a las necesidades del cliente. Esta metodología persigue la potencialización del trabajo en equipo, involucrando a los lideres, dueños del producto y desarrolladores en la ejecución del proyecto.

El uso de esta metodología supone, para muchos teóricos, una aproximación a la calidad óptima del producto. Pues durante el ciclo de vida del software, ocurren cambios naturales para mejorar el funcionamiento de este. Estos cambios constantes en el proyecto se llegan a considerar como favorable para alcanzar los requerimientos.

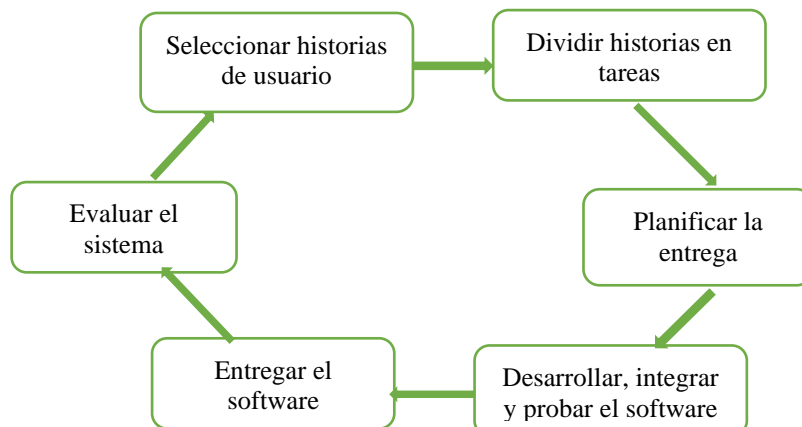
##### **4.2.1. Características de la metodología.**

La metodología requiere de constante comunicación entre el cliente y el equipo de desarrollo, ya que se reconoce que los requisitos del cliente y el trabajo en equipo son los principales factores de éxito. Además, se debe garantizar una respuesta rápida a los cambios constantes y una planificación abierta con un cronograma de actividades flexibles. Adicionalmente, se tiene como prioridad el funcionamiento satisfactorio del software que cualquier otra documentación.

La metodología tiene principios que comprenden diez (10) buenas prácticas e involucran a al equipo de trabajo, los procesos y las clientes los cuales son:

Figura 6.

*El ciclo de entrega pequeñas e incrementales*



**Planificación incremental y entregas pequeñas:** Los requerimientos son tomados de las historias de usuario, las cuales son socializadas y negociadas progresivamente con el cliente. Inicialmente, se trabaja y entrega la mínima parte útil que le garantice funcionalidad al sistema, y poco a poco se efectúan incrementos que agregan funcionalidad a la primera entrega, cada ciclo termina con una entrega del sistema funcionando. En la figura 6, se muestra como es el proceso de entrega en XP. El ciclo de vida del software es finalizado cuando ya no hay más ciclos de entrega y, por lo tanto, se asume cumplimiento del objetivo.

- ***Diseño sencillo.*** Solo se trabaja sobre el diseño necesario para cumplir con los requerimientos actuales, es decir, no se abordan requerimientos futuros. Por esto, es necesario tener claridad sobre las prioridades del usuario.
- ***Desarrollo previamente aprobado.*** En la metodología XP una de las características más relevantes es que primero se escriben las pruebas y luego se hace la codificación con aprobación, esto con el objetivo de asegurar el cumplimiento del requisito.
- ***Limpieza del código.*** Una práctica de XP involucra simplificar el código y optimizar el programa sin perder funcionalidad, es decir, alterar su estructura interna sin modificar su comportamiento externo para mejorar su rendimiento.

- **Programación en parejas.** Esta característica consiste en que los trabajadores trabajen en pareja para verificar el trabajo de cada uno y buscar las mejores soluciones. Esta practica se realiza con el objetivo de alcanzar un trabajo más eficiente y de mayor calidad.
- **Propiedad colectiva.** El conocimiento y la información deben ser compartida. Todos los programadores tienen acceso a todo el código y cualquiera de estos puede sugerir y desarrollar mejoras.
- **Integración continua:** Al terminar una tarea, ésta se integra al sistema entero y se realizan pruebas de unidad a todo el sistema, esta práctica permite que la aplicación sea más funcional en cada iteración y garantiza su funcionamiento con los demás módulos del sistema.
- **Ritmo sostenible:** El ritmo y rendimiento del trabajo del equipo debe ser sostenible en el tiempo. Por lo cual, no se permite trabajar durante grandes cantidades de horas, ya que esta práctica puede reducir la calidad del código y la productividad del equipo a mediano plazo.
- **Cliente presente:** Se debe tener un representante (Cliente o usuario final) tiempo completo, ya que en XP éste hace parte del equipo de desarrollo y es responsable de formular los requerimientos para el desarrollo del sistema.

#### 4.2.2. El Equipo XP.

El equipo para el desarrollo de esta metodología está conformado por un cliente, programadores, testers, un encargado de seguimiento, un coach y un mánager. Por un lado, los clientes son los encargados de definir los objetivos del proyecto, así como priorizar las necesidades en el proyecto. Los programadores ayudan a cumplir con los objetivos y están encargados de delimitar duraciones y determinar los tiempos para el cumplimiento de las metas. Los testers son encargados de las pruebas de funcionamiento del producto. El encargado del seguimiento es responsable de asegurar el control y explicar la razón de cada actividad. Este definirá los hitos o puntos de control en la planificación, en función de los objetivos del cliente

y las estimaciones de tiempos de ejecución de tareas del equipo de programadores. El coach está encargado del asesoramiento y orientación continua tanto para los programadores como para el cliente. Finalmente, el mánager coordina las comunicaciones entre las distintas partes del proyecto y gestiona los recursos necesarios, este debe tener un conocimiento de toda las actividades y su estado en todo momento (Letelier & Penadés, 2003).

#### 4.2.3. *Fases XP.*

La metodología XP tiene una serie de fases que al ser finalizadas originan una versión del producto y cada versión es un ciclo, los cuales conforman el ciclo de vida del software como se explicó anteriormente. Cada una de las versiones involucra las siguientes fases.

- ***Fases de exploración*** En esta fase, los clientes plantean a grandes rasgos las historias de usuario que son de interés para la primera entrega del producto y deben incluir el objetivo, el beneficio y el criterio de aceptación. Al mismo tiempo el equipo de programadores se familiariza con las herramientas, tecnologías y prácticas que se utilizarán en el proyecto. Se prueba la tecnología y se exploran las posibilidades de la arquitectura del sistema construyendo un prototipo. La fase de exploración toma de pocas semanas a pocos meses, dependiendo del tamaño y familiaridad que tengan los programadores con la tecnología (Letelier & Penadés, 2003)

- ***Fase de planeación.*** Esta fase inicia con las historias de usuario que describen las características y funcionalidades del software. El cliente asigna un valor o prioridad a la historia, los desarrolladores evalúan cada historia y le asignan un costo el cual se mide en semanas de desarrollo (Pérez, 2011). Las estimaciones de costo (esfuerzo) relacionadas a la implementación de las historias la establecen los programadores utilizando como medida el punto. Las historias generalmente valen de 1 a 3 puntos, donde un punto equivale a una semana ideal de programación. Por otro lado, el equipo de desarrollo mantiene un registro de la

“velocidad del equipo” para la ejecución de cada iteración, basándose principalmente en la suma de puntos correspondientes a las historias de usuario que fueron terminadas en la última iteración

- **Fase de diseño:** El proceso de diseño debe procurar diseños simples y sencillos para facilitar el desarrollo. Se recomienda elaborar un glosario de términos y la correcta especificación de métodos y clases para facilitar posteriores modificaciones, ampliaciones o reutilización del código.

- **Fase de codificación:** En esta fase los desarrolladores deben diseñar las pruebas de unidad que ejecutaran cada historia de usuario. Después de tener las pruebas, los desarrolladores trabajarán en parejas para concentrarse en lo que es necesario implementar para pasar la prueba de unidad.

- **Fase de pruebas:** Las pruebas de unidad deben desarrollarse con un marco de trabajo que permita automatizarlas, con la finalidad de realizar pruebas de integración y validación diarias. Esto suministrará al equipo un indicador del progreso y revelarán a tiempo posibles fallas en el sistema.

### **4.3. Metodología para el trabajo de aplicación**

Debido a que en el presente trabajo de aplicación requiere fechas constantes de entregas para su validación y está en un entorno de alto cambio se decide usar una metodología con un ciclo de vida ágil incremental. Adicionalmente, se definió que según las características del trabajo no se podrá adoptar un marco ágil como los anteriormente explicados (Scrum y XP), ya que no se cuenta con los roles establecidos y no se podrían llevar a cabo todas las ceremonias requeridas. Por lo anterior, para el desarrollo del presente trabajo de aplicación se adecuaron algunos roles, ceremonias y artefactos de estas metodologías para lograr la creación del software bajo una filosofía ágil, basada en los siguientes principios.

1. Satisfacción del usuario del software
2. Requisitos cambiantes
3. Entregas de valor frecuente
4. Medición de progreso
5. Ritmo de trabajo sostenible
6. Excelencia técnica
7. Simplicidad
8. Mejora continua

#### **4.3.1. Roles.**

El equipo de trabajo es conformado por tres roles. El primero es el usuario del software, quien tiene la función de hacer retroalimentación sobre el funcionamiento del producto según su visión y requisitos. Este rol debe ser ocupado por un profesional del área de evaluación técnica y financiera de métodos de recobro mejorado. El segundo rol es ocupado por un asesor técnico o tutor, el cual fue asignado al director del presente trabajo de aplicación, cuya función es dar retroalimentación continua sobre el desarrollo del software y evaluación financiera del proceso. Finalmente, el tercer rol es el desarrollador, que debe ser ocupado por el autor del proyecto y sus funciones consisten en interpretar la visión y requisitos cambiantes del usuario para ofrecer valor con el producto final.

#### **4.3.2. Eventos.**

Los tiempos para las iteraciones son entre 2 y 4 semanas dependiendo del entregable comprometido. En este tiempo se tienen tres eventos. El primer evento es la planificación y asesoría, el cual se realiza al inicio de cada iteración e involucra al tutor y desarrollador para acordar el objetivo del trabajo en este lapso y resolver dudas del trabajo de aplicación. Este evento puede tomar entre 1 y 2 horas. El segundo evento se hace diariamente e involucra al

desarrollador para planificar las actividades diarias y medir el respectivo progreso, este evento puede durar 15 minutos.

El tercer evento se lleva a cabo al finalizar cada iteración e incluye al usuario y desarrollador. Este evento tiene como objetivo presentar el avance del software al usuario y que se haga una revisión de sus funcionalidades y cumplimiento de requisitos. Este evento puede tomar entre 1 y 2 horas.

### 4.3.3. Artefactos.

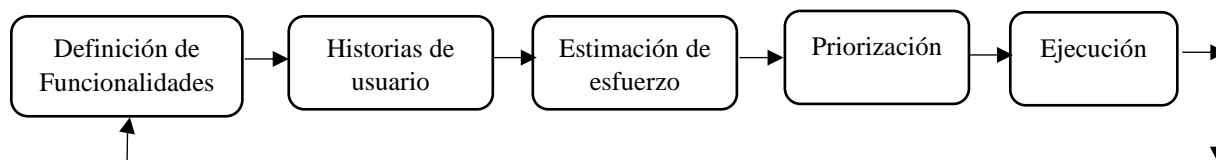
Para los artefactos se tiene el Backlog del producto y de la iteración (sprint), donde estarán los requisitos del software, los cuales deberán estar ligados al alcance del presente trabajo de aplicación. Se tiene un radiador de información tipo *Kanban* y el mapa de las historias de usuario para facilitar el seguimiento por parte del tutor y desarrollador.

## 5. Desarrollo de la herramienta computacional

Una de las fases más importantes del presente trabajo de aplicación es la incorporación de un ciclo de vida ágil para la creación de la herramienta computacional propuesta. Por lo anterior, en este capítulo se mostrará la ruta de trabajo (Figura 7) y los resultados obtenidos a partir de un desarrollo incremental.

Figura 7.

*Ruta de trabajo para la herramienta computacional.*



Como se observa en la figura 7, inicialmente, se identificaron las necesidades de los usuarios interesados del Grupo de investigación recobro mejorado y estas se tradujeron a funcionalidades para la herramienta. Posteriormente, las funcionalidades se detallaron y se obtuvieron las historias de usuarios, las cuales se analizaron, se ubicaron en un mapa de

historias y se les estimó el esfuerzo requerido para su realización. Finalmente, las historias fueron priorizadas con el usuario y ejecutadas por el desarrollador. En algunas iteraciones surgieron nuevas necesidades, las cuales se evaluaron y según su pertinencia, entraban a la ruta de trabajo explicada anteriormente. A continuación, se detallarán cada una de estas fases y se presentarán los respectivos resultados.

### **5.1. Definición de funcionalidades.**

Las necesidades fueron expresadas por profesionales y estudiantes de maestría del Grupo objetivo, cuyas investigaciones tienen un enfoque técnico y financiero. Esto se logró aplicando la herramienta de lluvia de ideas, donde cada participante expresaba sus ideas fundamentadas en los retos que les implicaba hacer un análisis financiero. Dentro de las necesidades las más destacada e importantes se muestran a continuación.

- El usuario final quiere una herramienta que contenga una amplia variedad de métodos para evaluaciones financieras de los procesos de recobro mejorado.
- El usuario quiere una herramienta computacional con la capacidad de admitir como datos de entrada la información obtenida del software de simulación numérica CMG para evitar tratamientos adicionales a la data suministrada por el simulador.
- El usuario quiere una herramienta computacional flexible, confiable y fácil de usar para evaluar diferentes procesos de recobro mejorado.
- El usuario final quiere una herramienta que permita extraer los datos en formato Excel.
- El usuario final quiere una herramienta intuitiva, donde sea fácil ingresar datos de entrada, tales como: inversiones iniciales, egresos por la inyección de fluidos (OPEX) y que pueda calcular los ingresos netos a partir de los datos de producción de crudo.
- El usuario quiere una herramienta que muestre los resultados en un tablero amigable y fácil de compartir.

- El usuario quiere que la herramienta muestre el comportamiento de los flujos netos de caja de forma gráfica y tabulados, y que reflejen los cambios realizados al hacer cualquier variación en el proyecto.

Con base en las necesidades y requisitos de los interesados, se propuso que la herramienta debe contar con las siguientes funcionalidades:

- Sección para ingresar datos y eventos del proyecto
- Sección para ingresar inversiones del proyecto
- Calcular egresos según las operaciones y fluidos inyectados
- Calcular ingresos del proyecto según información de producción de crudo
- Construir flujos de caja
- Calcular múltiples indicadores financieros
- Sensibilizar variables
- Generar salidas gráficas y numéricas

### **6.1. Definición de historias y mapa de historias.**

Con la información mostrada anteriormente, se procedió a establecer las historias de usuario, donde se representa formalmente la definición del sistema, además se extraen las tareas que componen las historias de usuario, se les asigna un coste (un esfuerzo estimado) y se priorizan. Es importante aclarar que, debido a la naturaleza ágil del proyecto, la definición inicial del sistema puede variar en el transcurso del desarrollo de este, ya sea con la inclusión o exclusión de historias de usuario. Por este motivo el análisis expuesto en esta sección únicamente se trata del análisis inicial, y en próximas secciones se describirán los análisis correspondientes a cada iteración.

Las historias de usuarios se definieron usando un modelo como el representado en la figura 8. En este modelo cada espacio debe contener información con las siguientes características.

- **ID:** Código de identificación de cada historia, para este caso se maneja la nomenclatura HU con un número definido para las mismas.
- **Nombre:** Es un nombre corto utilizado para describir brevemente la historia de usuario.
- **Prioridad:** Es la importancia o preferencia en el desarrollo de la historia de usuario respecto a las demás. La priorización se hace de forma cualitativa con definiciones de alto, media y baja prioridad.
- **Riesgo:** En este espacio se debería incluir la probabilidad y el impacto de que esta funcionalidad falle o no se realice. El riesgo se definió con tres valores cualitativos: alto, medio y bajo.
- **Descripción:** En este espacio se da una explicación de la historia de usuario, definiendo; el rol de quien solicita este requisito, el motivo u objetivo y la razón o justificación.
- **Validación:** Son las condiciones que deben verificar una vez la historia está completamente desarrollada para que se garantice su cumplimiento.

Figura 8.

*Modelo para la definición de las historias de usuario. Ejemplo historia de usuario HU7*

ID	HU7
<b>Nombre</b>	Introducir Información de inversiones iniciales
<b>Prioridad</b>	Alta
<b>Riesgo</b>	Bajo
<b>Descripción</b>	Como usuario quiero una sección tipo formulario para introducir la información de inversiones iniciales en la herramienta
<b>Validación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quiero poder elegir entre diferentes tipos de moneda para ingresar la inversión</li> <li>• Quiero poder describir si la inversión corresponder a CAPEX de infraestructura o subsuelo</li> <li>• Quiero relacionar la información de depreciación de las inversiones si aplica</li> <li>• Quiero tener la opción de guardar uno a uno los datos ingresados</li> <li>• Quiero tener un acceso rápido para observar la información almacenada</li> <li>• Quiero un botón para limpiar la información del formulario y la información almacenada</li> </ul>

En la figura 8 se muestra un ejemplo del modelo completamente diligenciado para la historia de usuario HU7, donde el usuario quiere una sección tipo formulario para introducir la información de inversiones iniciales en la herramienta. Sin embargo, por motivos de extensión en el libro, para el resto de las historias de usuario solo se presenta el ID, el nombre y la descripción en la tabla 6 y el detalle de otras historias se encuentra en el apéndice A.

Tabla 6.

*Información de las historias de usuario*

<b>ID</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
HU1	Datos generales del proyecto EOR	Como usuario quiero introducir los datos generales del proyecto a la herramienta para tener una descripción de este
HU2	Data de producción desde CMG	Como usuario quiero un espacio con formato similar de los datos obtenidos de producción desde CMG para ingresar la información.
HU3	Data de inyección desde CMG	Como usuario quiero un espacio con formato similar de los datos obtenidos de inyección desde CMG para ingresar la información.
HU4	Diccionario de datos para generalidades del proyecto	Como usuario quiero que las unidades de los datos en generalidades tengan lista desplegable y un diccionario de datos para evitar cometer errores durante el ingreso de los datos
HU5	Ingresar eventos de producción e inyección	Como usuario quiero una sección tipo formulario para ingresar los eventos de producción e inyección del proyecto
HU6	Agregar una hoja de acceso rápido	Como usuario quiero una sección de inicio tipo índice para acceder otras secciones
HU7	Introducir Información de inversiones iniciales	Como usuario quiero una sección tipo formulario para introducir y almacenar la información de inversiones iniciales en la herramienta
HU8	Llevar las inversiones al periodo cero	Como usuario quiero que el programa automáticamente lleve las inversiones almacenadas al periodo cero y calcule la depreciación periodo a periodo para facilitar el uso de métodos financieros
HU9	Diccionario de datos para inversiones	Como usuario quiero que las unidades de los datos en inversiones tengan lista desplegable y un diccionario de datos para evitar cometer errores durante el ingreso de los datos
HU10	Ingresar gastos de operación unitarios (OPEX)	Como usuario quiero una sección, tipo formulario, para ingresar los egresos unitarios del proyecto
HU11	Organizar egresos de forma periódica	Como usuario quiero que la herramienta totalice en cada periodo los egresos, según su dependencia para calcular los flujos netos de caja.
HU12	Diccionario de datos para egresos	Como usuario quiero que las unidades de los datos en egresos tengan lista desplegable y un diccionario de datos para evitar cometer errores durante el ingreso de los datos
HU13	Calcular ingresos netos del proyecto	Como usuario quiero que la herramienta tenga una sección para calcular los ingresos netos del proyecto, incluyendo deducciones por calidad y regalías.

HU14	Diccionario de datos para ingresos	Como usuario quiero que las unidades de los datos en ingresos tengan lista desplegable y un diccionario de datos para evitar cometer errores durante el ingreso de los datos
HU15	Construir flujos de caja	Como usuario quiero que la herramienta calcule los flujos de caja automáticamente
HU16	Calcular VPN	Como usuario quiero que la herramienta tenga un botón para calcular TIRM y TIR
HU17	Calcular TIRM y TIR	Como usuario quiero que la herramienta tenga un botón para calcular el RB/C
HU18	Calcular RB/C	Como usuario quiero que la herramienta tenga un botón para calcular el VPN
HU19	Calcular pay back	Como usuario quiero que la herramienta tenga un botón para calcular el pay back
HU20	Comparar resultados con KPIs financieros	Como usuario quiero que la herramienta tenga una sección para ingresar KPIs y hacer comparaciones con los resultados calculados
HU21	Sensibilizar variables	Como usuario quiero que la herramienta tenga la opción de sensibilizar variables para cuantificar su efecto sobre los indicadores financieros
HU22	Diseño <i>Dashboard</i> amigable	Como usuario quiero que los datos se muestren en un <i>dashboard</i> amigable para facilitar la presentación y análisis de resultados
HU23	Apariencia de la herramienta	Como usuario quiero que la herramienta tenga un aspecto simple y sencillo de manejar para facilitar su uso

Por otro lado, un mapa de historias se usó para presentar el panorama general de la herramienta y la relación entre las historias de usuario con las funcionalidades definidas como se muestra en la figura 9.

Figura 9.

*Mapa de historias de usuario.*

Funcionalidad	Ingresar datos	Ingresar inversiones	Calcular egresos	Calcular ingresos	Calcular flujos de caja	Calcular indicadores financieros	Sensibilizar variables	Generar salidas gráficas y numéricas
ID	HU1.	HU7	HU10	HU13	HU15	HU16	HU21	HU22
	HU2.	HU8	HU11	HU14		HU17		HU23
	HU3.	HU9	H12			HU18		
	HU4.					HU19		
	HU5					HU 20		
	HU6							

## 5.2. Priorización y organización historias de usuario

A cada una de estas historias se le dio un peso según su complejidad, el esfuerzo requerido y la incertidumbre de las tareas involucradas. Para la definición de estos puntos de historia, comúnmente, se utilizan los números 0, 1, 3, 5, 8, 13,20, 40 y 100 como puntos de usuario, donde cero (0) indica una historia con esfuerzo prácticamente nulo, mientras que una con 100 se considera de alta complejidad.

Para el presente trabajo se usaron los valores de 2, 5 y 10, los cuales correspondían a una historia de usuario con baja, media y alta complejidad, respectivamente. Debido a la incertidumbre durante la planeación, estos valores se establecieron según el tiempo que las actividades podrían tomar, por ejemplo, las historias con 2 puntos podrían tomar aproximadamente 2 horas en su ejecución como se hace en la metodología XP.

Una vez definidos los puntos y prioridades, las historias se organizaron en 4 *sprints* de 10 días con 3.5 horas de trabajo diario, como se puede ver en la siguiente figura 10. La figura representa el Backlog priorizado por sprint. No obstante, como se mencionó antes, esta planificación inicial sufrió modificaciones, ya que en la ejecución del producto se vio la necesidad de cambiar algunos órdenes para facilitar el desarrollo de la herramienta según la velocidad promedio de los primeros sprint.

Figura 10.

*Backlog priorizado por iteración (sprint)*

Sprint 1 (16-23 enero)	Sprint 2 (24 de enero-16 de febrero)	Sprint 3 (8-21 febrero)	Sprint 4 (22 de febrero-7 de marzo)	Sprint 5 (8-18 de marzo)
HU1=10	<b>HU11=10</b>	HU20=5	HU2=5	HU4=2
HU7=10	HU13=5	HU17=5	HU3=5	HU7=2
HU8=5	HU15=10	HU18=5	HU22=5	HU10=2
HU10=5	HU16=5	HU19=5	HU6=5	HU13=2
HU 5=5		<b>HU4=2</b>	HU23=10	<b>HU 21=10</b>
		<b>HU7=2</b>	<b>HU21=10</b>	
		<b>HU10=2</b>		
		<b>HU13=2</b>		
		<b>HU11=10</b>		

Como se puede observar en la figura 10, las historias de usuario HU11 y HU21 fueron reubicadas, ya que por factores externos del proyecto y alta complejidad de las actividades relacionados no se pudieron completar en el tiempo definido para las iteraciones. Lo anterior causó la necesidad de adicionar un 5 sprint para mover las historias de usuario que no pudieron ser cubiertas en algunas iteraciones, las cuales se resaltan en un color amarillo oscuro en la figura 10.

### **5.3. Ejecución y seguimiento**

Antes de iniciar con el desarrollo del producto, fue necesario seleccionar la plataforma para la creación de la herramienta computacional. Para este caso se usó la programación macros en excel y el lenguaje de scripts *Visual Basic for Applications (VBA)*. La elección de la plataforma estuvo basada en la facilidad, flexibilidad y preferencias que tienen los diferentes usuarios con este programa. Adicionalmente, *Excel* es un programa versátil, que permite la realización de diferentes tareas, desde el cálculo hasta el tratamiento de datos, programación y automatización de procedimientos.

Una vez establecida la plataforma y el backlog priorizado por iteración, se definió como estrategia de seguimiento las gráficas burn-down, las cuales muestran la cantidad de trabajo en el eje vertical, cuantificado en puntos de historia, y el tiempo en el eje horizontal, medido en cada iteración (sprint). Las gráficas de burn-down fueron creadas según las actividades de cada historia de usuario y su distribución en el tiempo, y fueron usadas para evaluar el rendimiento del trabajo. En esta sección se describirá el avance y resultados incrementales obtenidos de cada sprint y su respectiva comparación con la línea base trazada en la gráfica.

#### **5.3.1. Sprint 1.**

En este sprint se crearon las secciones para que el usuario pudiera ingresar y guardar la información general del proyecto; las inversiones iniciales y su depreciación; los egresos

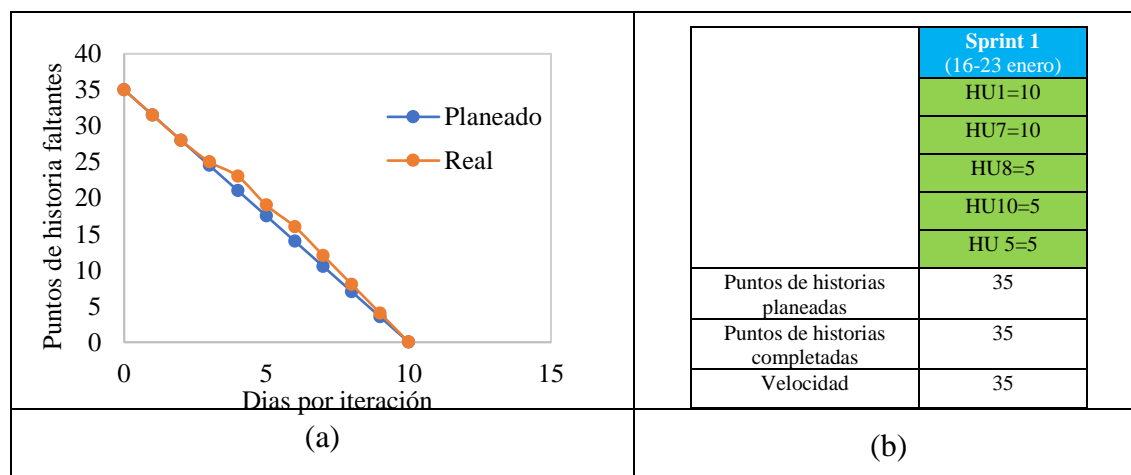
unitarios y los eventos del proyecto. Adicionalmente, en esta iteración se creó un botón que garantiza que la información queda almacenada para el cálculo de los flujos netos caja en una hoja específica.

Además, en esta iteración se agregó como funcionalidad de la herramienta, la capacidad para llevar todas las inversiones a periodo cero, con lo cual se espera facilitar el uso de los indicadores financieros y análisis de información. Finalmente, en este sprint se incluyó un botón para cargar la depreciación de los equipos a cada periodo según la información registrada por el usuario.

En la figura 11 se muestra la gráfica *burn-down* para el sprint 1 con una duración de 10 días y 35 puntos de historias comprometidos. Como se puede observar en la figura se presentó un retraso desde el día 4, lo cual se debió a la complejidad para dar la opción de calcular la depreciación periódica de los equipos. No obstante, después de superar esta actividad se avanzó hacia las otras historias con las cuales se pudo cumplir en su totalidad los 35 puntos historias acordadas.

Figura 11.

(a) Gráfica *burn-down* para el sprint 1. (b) Resultado del Backlog priorizado para el sprint 1.



Los resultados del presente sprint se muestran en las figuras 12-19. En la figura 12 se presenta la sección de datos generales del proyecto. En esta sección el usuario tiene la opción de ingresar información del proyecto, tales como el nombre, horizonte, los fluidos producidos

e inyectados con sus respectivas unidades. Adicionalmente, en esta sección el usuario puede dar una breve descripción del proyecto para hacer una mejor caracterización de este.

Figura 12.

Sección datos generales del proyecto. Relacionado con historia de usuario HUI

**Datos generales del proyecto**

<b>ID del proyecto</b> Solo vapor	<b>Horizonte del proyecto (k)</b> 10	<b>Unidades de tiempo</b> Año
<b>Producción</b>		
<b>Fluido producido 1*</b> Petroleo producido	<b>Fluido producido 2</b> Agua producida	<b>Fluido producido 3</b> Gas Producido
<b>Unidades*</b> bbl/año	<b>Unidades</b> bbl/año	<b>Unidades</b> Mscf/año
<b>Inyección</b>		
<b>Fluido inyectado 1</b> Vapor	<b>Fluido inyectado 2</b> 0	<b>Fluido inyectado 3</b> 0
<b>Unidades</b> bbl/año	<b>Unidades</b> Mscf/año	<b>Unidades</b> bbl/año
<b>Descripción</b>		
Proyecto realizado en el campo Teca del Valle Medio del Magdalena, donde se evalúan las diferentes alternativas para la captura y tratamiento de los gases de chimenea producidos por los generadores de vapor en superficie		
<input type="button" value="Limpiar"/> <input type="button" value="Guardar"/>		

La sección de datos generales tiene la opción de limpiar o guardar la información y avanzar hacia la siguiente sección (figura 12). Los datos suministrados en esta pestaña son almacenados y usados en la sección de egresos como se muestra más adelante. En la sección de eventos y datos de producción e inyección, el usuario debe ingresar la data manualmente en la casilla que corresponda al evento y al fluido como se muestra en la figura 13.

Figura 13.

Sección de datos y eventos de producción e inyección. Relacionado con historia de usuario HU5.

Datos de producción e inyección									
		Producción				Inyección			
Fecha	Periodo	Petroleo producido bbl/año	Agua producida bbl/año	Gas Producido Mscf/año	Vapor bbl/año	0	Mscf/año	0	bbl/año
1/1/2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/1/2020	1	54749.00			65760	0			
1/1/2021	2	191226.00			65760	0			
1/1/2022	3	172580.00			65760				
1/1/2023	4	112151.00			65760				
1/1/2024	5	83493.00			65760				
1/1/2025	6	62897.00			65760				
1/1/2026	7	41695.00			65760				
1/1/2027	8	37481.00			65760				
1/1/2028	9	25842.00			65760				
1/1/2029	10	22019.00			65760				
1/1/2030	11	16484.00			65760				

Para el ingreso de los datos de inversión inicial, relacionados como CAPEX de infraestructura y subsuelo, se creó un formulario mediante la programación de una macro. En esta sección el usuario tiene la opción de introducir la información de cada gasto de Capital como se muestra en la figura 14. Adicionalmente, En este formulario el usuario puede limpiar los datos, borrar y revisar los datos almacenados y moverse hacia otras secciones mediante botones de acceso rápido.

Figura 14.

*Sección para ingresos de CAPEX de subsuelo e infraestructura*

INVERSIÓN INICIAL CAPEX	
Nombre de la inversión	Generador de vapor
Valor	\$ 1,600,000.00
Moneda	USD
Período Inversión	0
Período inicio (uso)	1
Período fin (uso)	10
Tipo de inversión	CAPEX de infraestructura
Vida útil (años)	20
Valor residual (%)	10%

Los datos son almacenados en una tabla (figura 15), donde las inversiones son llevadas al periodo cero con la ecuación de valor presente y se calcula la depreciación periódica (D) y el valor residual (VR) al final del proyecto con la ecuación 5. Estas inversiones son sumadas y llevadas a la sección de flujo de caja neto en el periodo 0. Del mismo modo, las depreciaciones periódicas de todos los CAPEX con estas características son sumados y ubicados en el periodo correspondiente para obtener el flujo de caja.

Figura 15.  
Sección con el resumen de las inversiones CAPEX.

Resumen Inversiones CAPEX											Depreciación	
Item	Nombre ID	Valor	Moneda	Periodo Inversión	Periodo inicial	Periodo final	Tipo de inversión	Vida útil	Valor Residual	Inversion periodo 0	Depreciación Periodo	Valor en libros (USD)
0										\$		
1	Generador de vapor	\$ 1,600,000	USD	0	1	11	CAPEX de Infraestructura	20	0.10	\$ 1,600,000	\$ 72,000.00	\$ 808,000.00
2	Otros	\$ 2,146,160	USD	0	1	11	CAPEX de Infraestructura	0	0.00	\$ 2,146,160	\$	\$ 2,146,160.00
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												

De igual forma, se incluyeron dos formulario para registrar inversiones diferidas y de capital de trabajo como se muestran en la figura 16 y 17 con sus respectivas hojas de almacenamiento.

Figura 16.  
(a) Sección tipo formulario para registrar las inversiones de capital de trabajo. (b) Tabla para almacenar las inversiones registradas.

**CAPITAL DE TRABAJO**

Nombre de la inversión

Valor

Moneda

Periodo inversión

Limpiar

Borrar datos guardado

Guardar

Mostrar información guardada

Inflación 
 Agregar KTNO

**Capital de trabajo (KTNO)**

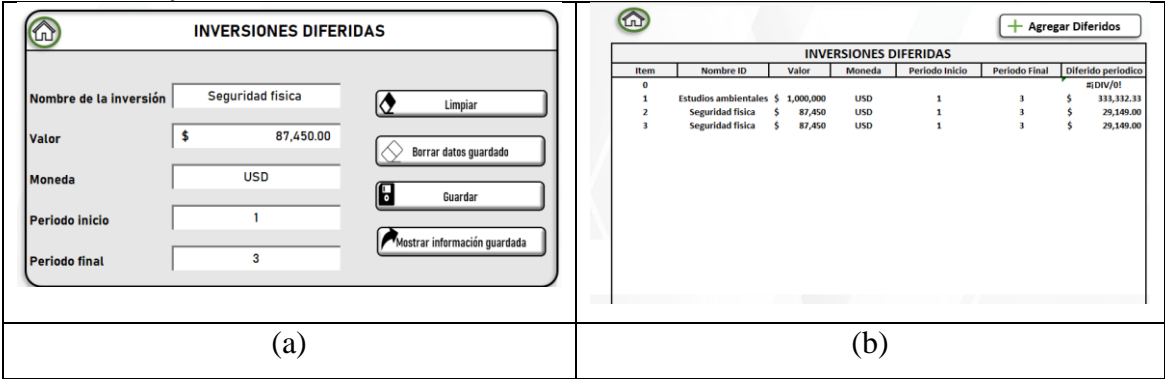
Item	Nombre ID	Valor	Moneda	Periodo Inversion	KTNO Periodo 0
0					\$

(a)
(b)

En la sección de capital de trabajo, el usuario deber registrar el periodo de inversión (figura 16a) ; sin embargo en la hoja de calculo estos valores son llevados al periodo cero (figura 16b). Adicionalmente, se incluye un botón para agregar las inversiones de capital de trabajo a la sección de flujos de caja, una vez la información almacenada es revisada por el usuario.

Figura 17.

(a) Sección tipo formulario para registrar las inversiones diferidas. (b) Tabla para almacenar los valores diferidos



La figura 18a muestra la sección tipo formulario, donde el usuario puede registrar los egresos OPEX. Estos egresos son comunemnte unitarios y parametricos, por lo cual, se deben ingresar las unidades (Ejemplo USD/bbl ), el periodo del gasto y el tipo de dependencia, es decir, si este valor depende de los fluidos producidos, inyectados o es independientes de los mismos.

Como en las secciones anteriores, los valores registrados en este formulario son almacenados en una tabla como se muestra en la figura 18b, donde se resumen todos los OPEX registrados y sus características. En esta última sección de almacenamiento se incluye un botón para que después de registrados, el usuario pueda agregar los egresos en la siguiente sección, donde son totalizados en cada periodo según su dependencia como se explica en el sprint 2 y 3.

Figura 18.

(a) Sección tipo formulario para registrar los egresos OPEX. (b) Tabla para almacenar los egresos registrados.

The image shows two parts of a software interface. Part (a) is a form titled 'EGRESOS (OPEX)' with fields for 'Nombre' (Inyección de vapor), 'Valor' (\$ 29,150), 'Unidades', 'Periodo de inicio' (1), 'Periodo final' (11), 'Tipo de egreso' (OPEX Independiente), and 'Dependencia' (Independiente). It includes buttons for 'Limpiar', 'Borrar datos guardado', 'Guardar', and 'Mostrar información guardada'. Part (b) is a table titled 'Resumen Inversiones OPEX' with columns for 'Item', 'Nombre ID', 'Valor', 'Unidad', 'Periodo Inicio', 'Periodo Final', 'Tipo de egreso', and 'Dependencia'. The table lists items like 'Seguridad física', 'Gestión ambiental', 'Gestión social', 'Nafsa', 'Costo transporte', 'Uring cost', and 'Costo de generación de vapor'.

Item	Nombre ID	Valor	Unidad	Periodo Inicio	Periodo Final	Tipo de egreso	Dependencia
0							
1	Seguridad física	\$ 29.150		1	11	OPEX Independiente	Independiente
2	Gestión ambiental	\$ 12.720		1	11	OPEX Independiente	Independiente
3	Gestión social	\$ 18.950		1	11	OPEX Independiente	Independiente
4	Nafsa	\$ 8	USD/lb	1	11	OPEX Dependiente	Petróleo producido
5	Costo transporte	\$ 3	USD/lb	1	11	OPEX Dependiente	Petróleo producido
6	Uring cost	\$ 12	USD/lb	1	11	OPEX Dependiente	Petróleo producido
7	Costo de generación de vapor	\$ 2.30	USD/lb	1	11	OPEX Dependiente	Vapor
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							

5.3.2. Sprint 2.

En la iteración número 2, el usuario busca que la herramienta tenga la capacidad de calcular los ingresos netos a partir de la información suministrada en la sección de eventos y datos generales. Así mismo, se requiere organizar los egresos de forma periódica, es decir, la herramienta debe tomar los datos de los egresos registrados (OPEX), asociar la dependencia con los eventos (inyección o producción) y hacer los cálculos para obtener el valor periódico, teniendo en cuenta el comportamiento del dinero en el tiempo según el valor de la inflación. Adicionalmente, en este sprint se organizan y se construyen los flujos de caja neto. Finalmente, se incluye un botón para calcular el Valor Presente Neto como el principal indicador financiero.

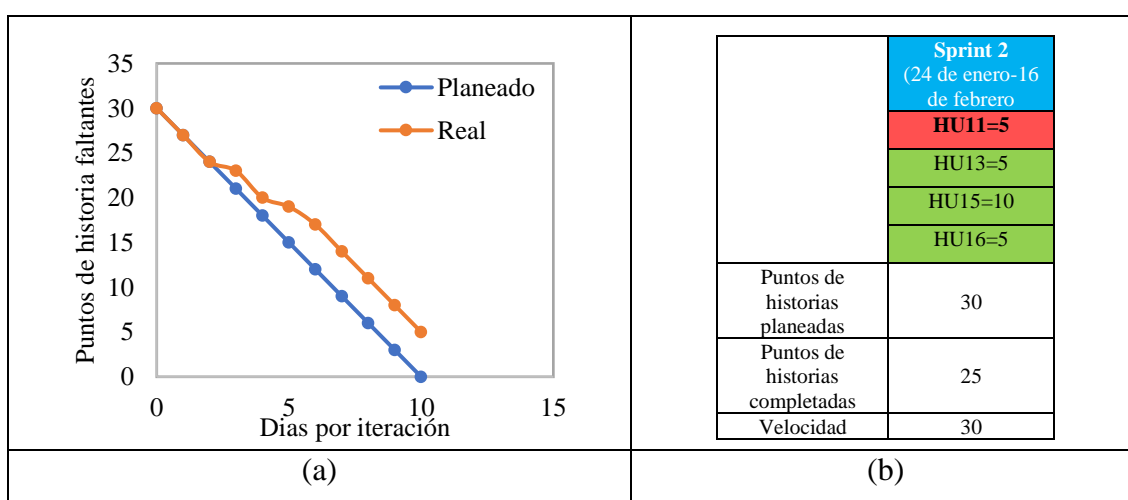
En la figura 19 se muestra la gráfica burn-down para el sprint 2 con una duración de 10 días y 30 puntos de historias comprometidos. Como se puede observar en la figura se presentó un retraso desde el día 3, lo cual se debió a la complejidad para dar la opción de organizar periódicamente los egresos. Esto mostró que la historia HU11 incluía actividades que requerían un mayor esfuerzo, investigación y tiempo. Por lo cual, fue necesario reestructurarla y solo se lograron completar 5 puntos de historias, causando una brecha entre lo planeado y lo ejecutado.

Esta historia de usuario se debió mover para el sprint 3 y se le asignaron 10 puntos de historia adicionales.

Por lo anterior, como se muestra en la figura 19b, se completaron 25 puntos de los 30 planeados, debido a la subestimación del esfuerzo de la historia HU11. Todo esto requirió una reorganización de las historias, como se muestra en la figura 8.

Figura 19.

(a) Grafica burn-down para el sprint 2. (b) Resultado del Backlog priorizado para el sprint 2



En la sección de ingresos el usuario tiene la opción de asociar la información del precio del crudo, regalías, deducciones por calidad, impuestos, inflación y porcentaje de dilución con solvente en superficie en un formulario como se muestra en la figura 20. Esta información es almacenada y usada para el cálculo de los ingresos netos como se muestra en las siguientes iteraciones.

Figura 20.

Sección de ingresos en función de la producción de petróleo y reducción por calidad

Ingresos		
<b>Precio del crudo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Regalías (%)</b>
60.00	USD/bbl	8%
<b>Reducción por calidad</b>	<b>Otros descuentos</b>	<b>Otros descuentos</b>
13	0	0
<b>Unidades*</b>	<b>Unidades</b>	<b>Unidades</b>
USD/bbl	USD/bbl	USD/bbl
<b>Impuestos</b>	<b>Inflación</b>	<b>Dilución con solvente</b>
36%	0%	12%

En la figura 21, se presenta la sección para el cálculo de ingresos netos. Con esta funcionalidad, la herramienta automáticamente toma la información registrada en datos generales y eventos de producción para estimar los ingresos netos de cada periodo con la ecuación 8, teniendo en cuenta el comportamiento del precio del crudo en el tiempo, la regalías y deducciones por calidad.

Figura 21.

Sección para el cálculo de los ingresos netos. Relacionada con la historia de usuario HU13

Ingresos				
Fecha	Periodo	Regalías	Precio del petroleo	Ingresos netos (Ecuación 8)
1/1/2020	1	4,379.92	47.94	2,729,653.74
1/1/2021	2	15,298.08	48.90	9,724,750.81
1/1/2022	3	13,806.40	49.88	8,952,043.36
1/1/2023	4	8,972.08	50.87	5,933,829.11
1/1/2024	5	6,679.44	51.89	4,505,905.94
1/1/2025	6	5,031.76	52.93	3,462,279.78
1/1/2026	7	3,335.60	53.99	2,341,080.66
1/1/2027	8	2,998.56	55.07	2,146,620.77
1/1/2028	9	2,067.36	56.17	1,509,589.50
1/1/2029	10	1,761.52	57.29	1,311,989.94
1/1/2030	11	1,318.72	58.44	1,001,833.83

En la figura 22 se muestra la construcción de los flujos de caja, lo cual fue programado para que la herramienta los calcule automáticamente a medida que el usuario va ingresando los datos en las diferentes secciones. La estimación de los flujos de caja estuvo basada en la secuencia y operaciones presentadas en la tabla 4.

Figura 22.

Sección con el flujo de caja construido automáticamente. Relacionado con la historia de usuario HU15.

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Impuestos	36%											
Suma de Ingresos netos	\$ -	\$ 2,148,976	\$ 7,655,655	\$ 7,047,353	\$ 4,871,312	\$ 3,547,203	\$ 2,725,625	\$ 1,842,978	\$ 1,689,893	\$ 1,188,400	\$ 1,032,843	\$ 788,678
Suma de egresos netos	\$ -	\$ 1,499,258	\$ 4,813,487	\$ 4,452,077	\$ 3,028,179	\$ 2,356,891	\$ 1,887,542	\$ 1,341,575	\$ 1,254,232	\$ 957,558	\$ 868,918	\$ 727,114
<b>UTILIDAD BRUTA</b>	\$ 649,619	\$ 2,842,168	\$ 2,595,276	\$ 1,643,134	\$ 1,190,311	\$ 858,083	\$ 501,404	\$ 435,661	\$ 230,843	\$ 163,925	\$ 61,564	\$ -
Depreciación	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000
Diferidos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>UTILIDAD OPERATIVA UAI</b>	\$ 577,619	\$ 2,770,168	\$ 2,523,276	\$ 1,571,134	\$ 1,118,311	\$ 786,083	\$ 429,404	\$ 363,661	\$ 158,843	\$ 91,925	\$ 10,436	\$ -
Otros ingresos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Gastos financieros	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>UTILIDAD OPERATIVA UAI</b>	\$ 577,619	\$ 2,770,168	\$ 2,523,276	\$ 1,571,134	\$ 1,118,311	\$ 786,083	\$ 429,404	\$ 363,661	\$ 158,843	\$ 91,925	\$ 10,436	\$ -
Impuestos	\$ 207,943	\$ 997,260	\$ 908,380	\$ 565,608	\$ 402,592	\$ 282,990	\$ 154,585	\$ 130,918	\$ 57,183	\$ 33,093	\$ 3,757	\$ -
<b>UTILIDAD NETA</b>	\$ 369,676	\$ 1,772,907	\$ 1,614,897	\$ 1,005,526	\$ 715,719	\$ 503,093	\$ 274,819	\$ 232,743	\$ 101,659	\$ 58,832	\$ 6,679	\$ -
Mas depreciaciones	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000	\$ 72,000
Mas diferidos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Menos Amorti de credito	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>FLUJO DE CAJA</b>	\$ 441,676	\$ 1,844,907	\$ 1,686,897	\$ 1,077,526	\$ 787,719	\$ 575,093	\$ 346,818	\$ 304,743	\$ 173,659	\$ 130,832	\$ 65,321	\$ -
Inversiones CAPEX Periodo 0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Capital de trabajo (KTNO)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Gastos diferidos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor prestamo inicial	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor Residual	\$ 2,954,160	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>FLUJO DE CAJA DEL INVERSIÓN</b>	\$ -	\$ 441,676	\$ 1,844,907	\$ 1,686,897	\$ 1,077,526	\$ 787,719	\$ 575,093	\$ 346,818	\$ 304,743	\$ 173,659	\$ 130,832	\$ 65,321
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>	\$ -	\$ 441,676	\$ 1,844,907	\$ 1,686,897	\$ 1,077,526	\$ 787,719	\$ 575,093	\$ 346,818	\$ 304,743	\$ 173,659	\$ 130,832	\$ 65,321

En la figura 23 se presenta el botón incluido para el cálculo del valor presente neto, basado en la ecuación 10. En esta sección el usuario debe ingresar la tasa de oportunidad a la que quiera evaluar el proyecto y automáticamente la herramienta calcula el VPN. Adicionalmente, la herramienta permite comparar con los indicadores financieros establecidos por el usuario, definiendo si el proyecto es rentable o no para la organización como se explicará más adelante en el siguiente sprint.

Figura 23.

Lista de indicadores financieros calculados por la herramienta. Relacionado con la historia de usuario HU 16.

Tasa de oportunidad	10%		
Valor presente neto	\$ 1,464,295	VPN	Relación beneficio-costos
			1.26 R b/c
Tasa interna de retorno	21%	TIR	Tasa interna de retorno modificada
			10% TIRM
Periodo de retorno		PR	Margen de utilidad
			%U

### 5.3.3. Sprint 3.

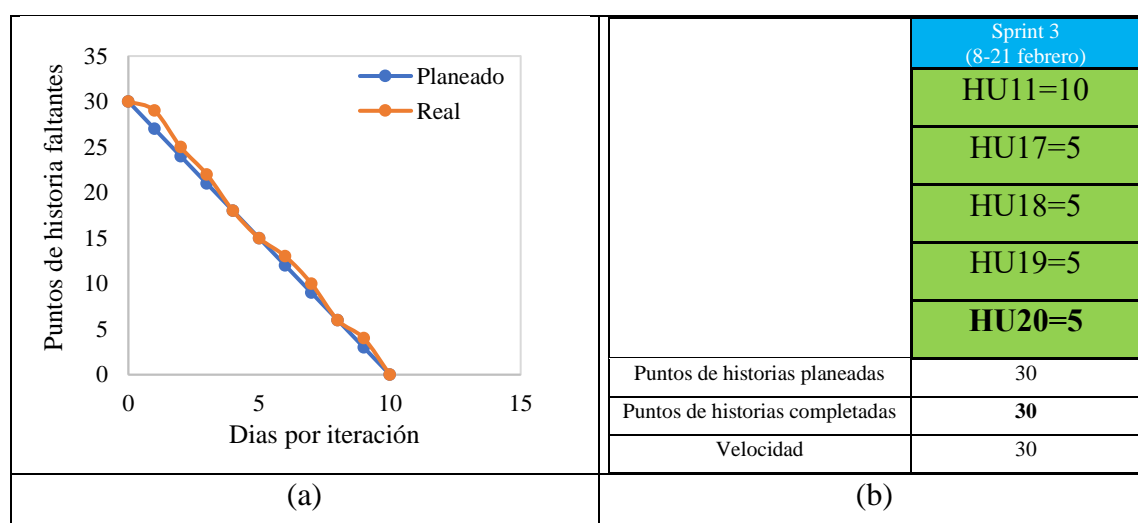
Como se explicó en el sprint 2 debido a los cambios generados en la anterior iteración fue necesario reorganizar algunas historias de usuario para cumplir con los requisitos teniendo en cuenta la velocidad de trabajo. Por lo anterior, en el sprint 3 se movieron las historias HU4, HU7, HU10 y HU13 para el sprint 5 y se agregó la historia HU11 residual de la iteración 2.

Con base en lo anterior, en el presente sprint se agregó la funcionalidad para organizar los egresos de forma periódica y se adicionaron los botones para el cálculo de los demás indicadores financieros. Adicionalmente, se programó la opción de que la herramienta compare los valores ingresados por el usuario (KPI's) con los indicadores financieros calculados para establecer la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

La figura 24 muestra los resultados del sprint 3 con una duración de 10 días y 30 puntos de historias de usuarios comprometidos. Como se puede observar en la figura no se presentaron retrasos importantes y se pudo completar los 30 puntos, corroborando la velocidad de trabajo en 30 puntos por sprint.

Figura 24.

(a) Grafica burn-down para el sprint 3. (b) Resultado del Backlog priorizado para el sprint 3.



En la figura 25 se muestra la sección donde se organizan los egresos de forma periódica.

Esta funcionalidad fue agregada mediante la programación de un macro, teniendo en cuenta la

dependencia, los valores agregados en el formulario de OPEX y el comportamiento del dinero en el tiempo con la inflación. En esta sección la herramienta suma automáticamente los OPEX de cada periodo y los agrega en la sección donde se estiman los flujos netos de caja (Figura 20).

Figura 25.

Sección de organización de egresos OPEX periódicos

Producción		Inyección				Seguridad física		Gestión ambiental		Gestión social		Nafta		Costo transporte		
Periodo	Petroleo producido	Agua producida	Gas Producido	Vapor	0	0	Independiente		Independiente		Independiente		Petroleo producido		Petroleo producido	
n							Individual	Total	Individual	Total	Individual	Total	Individual	Total	Individual	Total
1	54749.00	0.00	0.00	65760	0	0	29733	\$ 29,733	18074.4	\$ 18,074	18921	\$ 18,921	8.568	\$ 469,089	3.1926	\$ 174,792
2	191226.00	0.00	0.00	65760	0	0	30327.06	\$ 30,328	18435.888	\$ 18,436	19299.42	\$ 19,299	8.73936	\$ 1,671,193	3.256452	\$ 622,718
3	172580.00	0.00	0.00	65760	0	0	30934.2132	\$ 30,934	18904.6058	\$ 18,805	19685.4084	\$ 19,685	8.9141472	\$ 1,538,404	3.32158104	\$ 573,238
4	112151.00	0.00	0.00	65760	0	0	31552.8975	\$ 31,553	19180.6979	\$ 19,181	20079.1166	\$ 20,079	9.09243014	\$ 1,019,725	3.38801266	\$ 379,969
5	83493.00	0.00	0.00	65760	0	0	32183.9554	\$ 32,184	19564.3118	\$ 19,564	20480.6989	\$ 20,481	9.27427875	\$ 774,337	3.45577291	\$ 288,533
6	62897.00	0.00	0.00	65760	0	0	32827.6345	\$ 32,828	19955.5981	\$ 19,956	20890.3129	\$ 20,890	9.45976432	\$ 594,991	3.52488837	\$ 221,705
7	41695.00	0.00	0.00	65760	0	0	33484.1872	\$ 33,484	20354.71	\$ 20,355	21308.1191	\$ 21,308	9.64895961	\$ 402,313	3.59538614	\$ 149,910
8	37482.00	0.00	0.00	65760	0	0	34153.871	\$ 34,154	20761.8042	\$ 20,762	21734.2815	\$ 21,734	9.8419388	\$ 368,896	3.66729386	\$ 137,458
9	25842.00	0.00	0.00	65760	0	0	34836.9484	\$ 34,837	21177.0403	\$ 21,177	22168.9671	\$ 22,169	10.0387776	\$ 259,422	3.74063974	\$ 96,666
10	22019.00	0.00	0.00	65760	0	0	35533.6873	\$ 35,534	21600.5811	\$ 21,601	22612.3465	\$ 22,612	10.2395531	\$ 225,465	3.81545253	\$ 84,012
11	16484.00	0.00	0.00	65760	0	0	36244.3611	\$ 36,244	22032.5927	\$ 22,033	23064.5934	\$ 23,065	10.4443442	\$ 172,165	3.89176159	\$ 64,152

En la figura 26 se muestra la sección para el cálculo de los indicadores de un proyecto de inversión. En esta parte la herramienta calcula automáticamente los indicadores financieros con los flujos de caja netos a medida que el usuario ingresa los valores en cada uno de los anteriores formularios. Adicionalmente, en la sección se da la opción de comparar los resultados con los KPI's esperados del proyecto. Para esto el usuario debe ingresar los valores que desea comparar y la herramienta le mostrará mediante iconos si el proyecto es factible o no. El icono verde significa que el proyecto se puede aceptar, el rojo indica no viabilidad y el amarillo representa que es indiferente emprender o no el proyecto.

Figura 26.

Sección para el cálculo y comparación de indicadores financieros. Relacionados con las historias de usuario HU17-HU20.

Tasa de oportunidad		KPIs Financieros	
10%		VPN	\$ 1,465,240.00
Valor presente neto	\$ 1,464,295 <b>VPN</b>	R b/c	1.2
Tasa interna de retorno	21% <b>TIR</b>	TIR	10%
Periodo de retorno	5 <b>PR</b>	TIRM	10%
Relación beneficio-coste	1.26 <b>R b/c</b>	PR	5
Tasa interna de retorno modificada	10% <b>TIRM</b>	%U	10%
Margen de utilidad	10% <b>%U</b>		

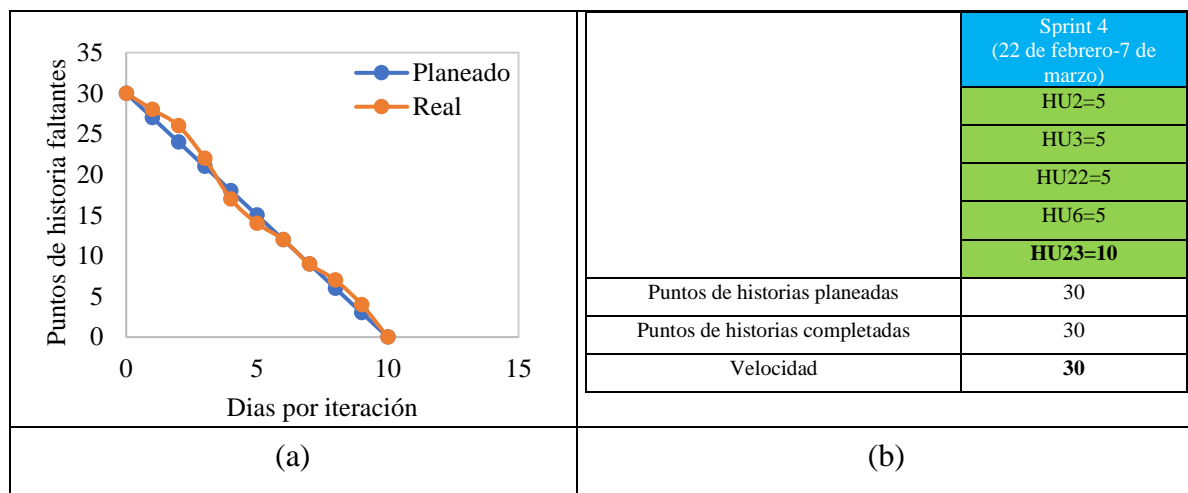
**5.3.4. Sprint 4.**

En la cuarta iteración de la herramienta se adicionan dos botones para agregar datos de producción e inyección directa y automáticamente desde los formatos arrojados por el programa de simulación numérica CMG. Adicionalmente, en esta iteración se muestran los resultados relacionados con las historias de usuario que involucran el diseño y apariencia de la herramienta para su fácil operación y obtención de datos.

La figura 27 muestra los resultados del sprint 3 con una duración de 10 días y 30 puntos de historias de usuarios comprometidos. Como se puede observar en la figura no se presentaron retrasos importantes y se pudo completar los 30 puntos en el tiempo definido.

Figura 27.

(a) Grafica burn-down para el sprint 4. (b) Resultado del Backlog priorizado para el sprint 4.



En la figura 28 se presenta la sección de eventos de producción e inyección con dos nuevas funcionalidades agregadas mediante botones y la programación de una macro con las opciones de obtener datos ofrecida por Excel, la cual brinda la posibilidad de importar información desde otros documentos. En este caso el usuario debe organizar y guardar con un nombre específico el documento exportado desde la herramienta CMG hacia Excel para que la herramienta pueda adicionar la data sin generar conflicto. El paso a paso se explicará en el manual detallado en el apéndice B.

Figura 28.

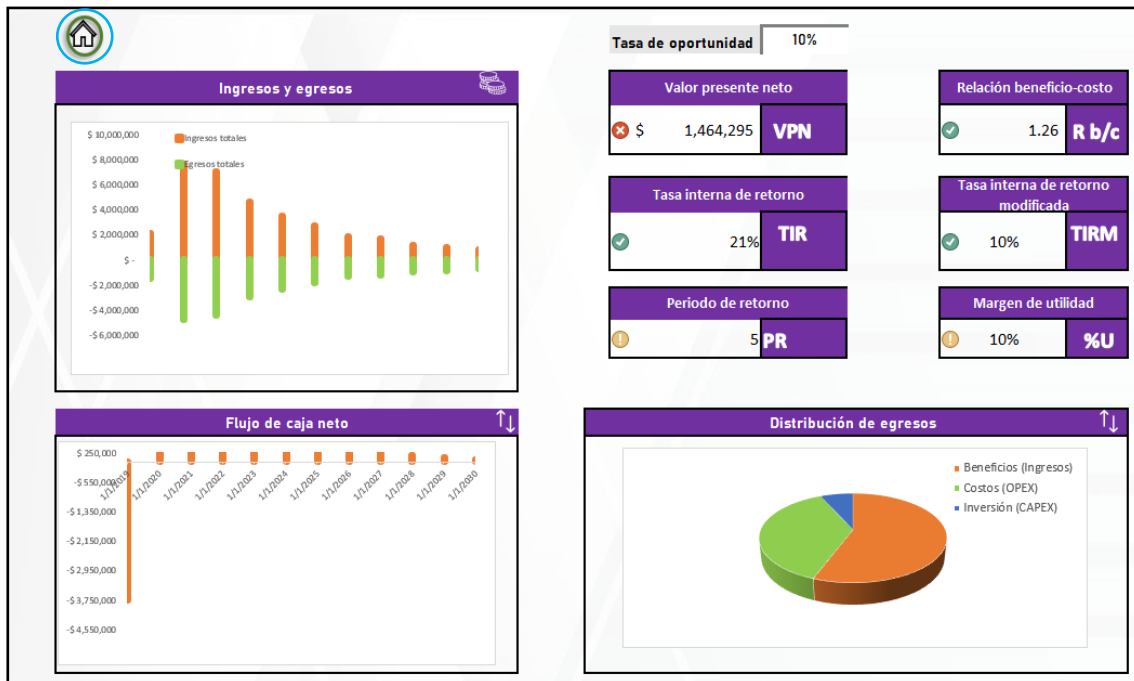
Adición de dos botones en la sección de eventos para agregar la información arrojada por el simulador CMG.

Datos de producción e inyección										
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>+ Producción CMG</span> <span>+ Inyección CMG</span> </div>										
Fecha	Periodo	Producción				Inyección				
		Petroleo producido	Agua producida	Gas Producido	Vapor	0	0	0	0	0
		bbbl/año	bbbl/año	Mscf/año	bbbl/año	Mscf/año	Mscf/año	bbbl/año	Mscf/año	bbbl/año
1/1/2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/1/2020	1	54749.00	0	0	65760	0	0	0	0	0
1/1/2021	2	191226.00	0	0	65760	0	0	0	0	0
1/1/2022	3	172580.00	0	0	65760	0	0	0	0	0
1/1/2023	4	112151.00	0	0	65760	0	0	0	0	0
1/1/2024	5	83493.00	0	0	65760	0	0	0	0	0
1/1/2025	6	62897.00	0	0	65760	0	0	0	0	0
1/1/2026	7	41695.00	0	0	65760	0	0	0	0	0
1/1/2027	8	37482.00	0	0	65760	0	0	0	0	0
1/1/2028	9	25842.00	0	0	65760	0	0	0	0	0
1/1/2029	10	22019.00	0	0	65760	0	0	0	0	0
1/1/2030	11	16484.00	0	0	65760	0	0	0	0	0

En la figura 29 se presenta el *dashboard* diseñado, donde el usuario puede analizar la información en cuatro secciones graficas. En la primera parte se grafica los ingresos y egresos periódicos. Posteriormente, se puede ver una gráfica de barras con el comportamiento del flujo de caja neto desde el periodo cero y una gráfica tipo torta con la distribución de ingresos, egresos e inversiones tipo CAPEX. Finalmente, el usuario tiene la opción de revisar los indicadores financieros calculados por la herramienta con iconos que le permiten intuir si estos valores son llamativos para la organización a partir de los KPI's ingresados como se explicó en el sprint 3. Este *dashboard* se crea automáticamente a medida que se van registrando los datos y el tipo de figura se puede cambiar si el usuario lo desea mediante las opciones que ofrece Excel.

Figura 29.

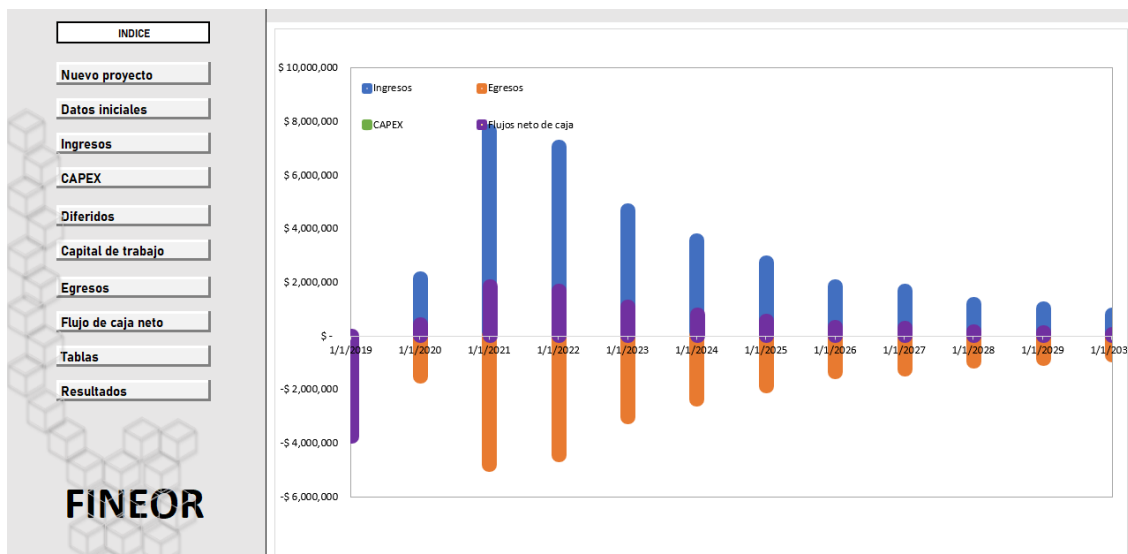
*Diseño de un dashboard amigable.*



En la figura 30 se muestra una sección de inicio tipo índice, donde el usuario puede ir a las diferentes pestañas con un acceso rápido. Adicionalmente, en esta sección el usuario tiene una ventana gráfica de barras, donde puede observar cómo se van comportando los ingresos, egresos, inversiones y flujos de caja a medida que se registra la información. El usuario podrá regresar a la página de inicio desde cada sección mediante el botón en forma de casa como se resalta en la figura 29.

Figura 30.

*Sección de inicio tipo índice con accesos rápidos.*



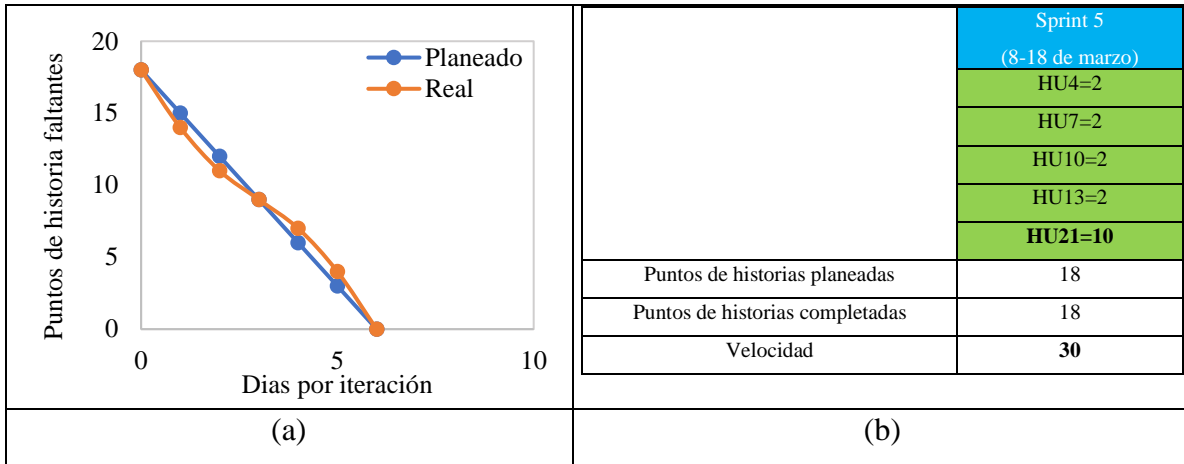
Como se ha mostrado en las evidencias de las diferentes iteraciones, la herramienta cuenta con un diseño amigable, flexible y funcionalidades intuitivas en las diferentes secciones para ingresar, almacenar y revisar los datos. Por lo tanto, se puede afirmar que cumple con los requisitos de apariencias solicitados por los usuarios.

### 5.3.5. Sprint 5.

En la quinta iteración se muestran los diccionarios de datos de las diferentes secciones, los cuales fueron propuestos como partes importantes de las funcionalidades de la herramienta. Así mismo, en esta iteración se adicionó la sección para la sensibilización de variables de ingresos y egresos. Esta última iteración tuvo menos puntos de historias que pudieron ser terminados en 6 días como se muestra en la figura 31. Los días restantes fueron usados para la parte de la validación de la herramienta con un caso de estudio de inyección de vapor con fluegas como se muestra en el capítulo 6.

Figura 31.

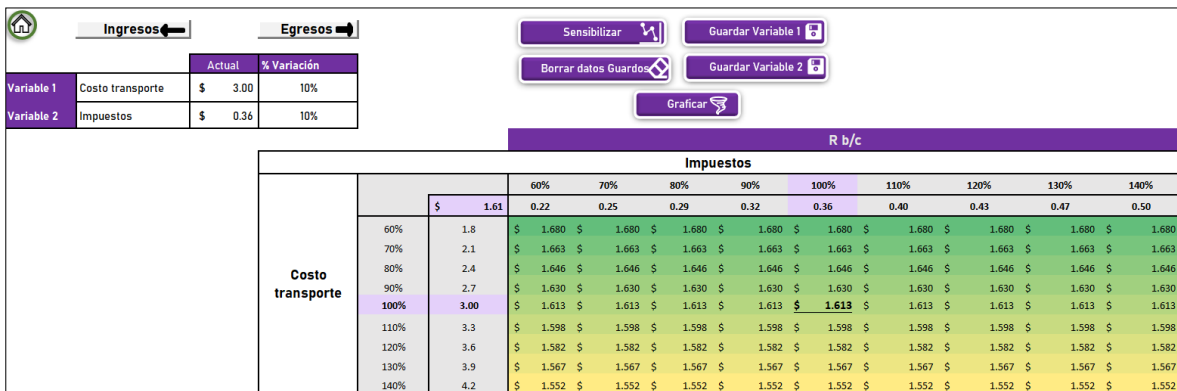
(a) Grafica burn-down para el sprint 5. (b) Resultado del Backlog priorizado para el sprint 5.



En la figura 32 se presenta la sección para sensibilizar las variables de los ingresos y egresos. En esta sección el usuario puede seleccionar dos variables para evaluar el efecto sobre los diferentes indicadores financieros al mismo tiempo. Adicionalmente, en esta sección se tiene un botón para guardar las variables sensibilizadas y poder comparar gráficamente con otros valores y así obtener información sobre los parámetros más influyentes de las diferentes tecnologías.

Figura 32.

Sección para sensibilizar variables



A continuación, en las tablas 7, 8 y 9 se presentan los diccionarios de datos para las diferentes secciones, con lo cual se busca caracterizar la información que el usuario deberá ingresar sin causar confusiones que puedan bloquear o causar errores numéricos en la herramienta.

Tabla 7.

*Diccionario de datos para sección de datos generales e ingresos*

<b>Dato</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de Dato</b>	<b>Longitud</b>	<b>Ejemplo</b>
ID del Proyecto	Código o nombre que identifica el proyecto	Texto	15	Solo vapor
Horizonte del Proyecto	Tiempo de la evaluación del proyecto	Numérico	2	10 Año, días, meses
Unidades de tiempo	Unidades del tiempo para medir el horizonte del proyecto	Texto_selección	3	
Fluidos producidos	Fluidos recuperados desde el medio poroso	Texto_selección	6	Petróleo, agua, gas Espumas, vapor, agua
Fluido inyectado	Fluidos inyectados para recuperación del petróleo	Texto_selección	8	
Unidades	Unidades de las tasas de producción e inyección	Texto_selección	10	Bbl/día; Mscf/día; Bbl/día
Descripción	Espacio para incluir información relevante del proyecto	Texto	80	

Tabla 8.

*Diccionario de datos para inversiones, CAPEX, diferidos y capital de trabajo*

<b>Dato</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de Dato</b>	<b>Longitud</b>	<b>Ejemplo</b>
Nombre de la inversión	Nombre de la inversión	Texto	15	Generador de vapor
Valor	Valor de la inversión	Numérico	8	\$ 1,600,000.00
Moneda	Tipo de moneda en que se hace la inversión	Numérico	3	USD, COP, EUR
Periodo de inversión	Periodo en el que se realiza la inversión	Numérico	2	0
Periodo de inicio (uso)	Periodo en el que se pone en uso lo adquirido con la inversión	Numérico	8	1
Periodo fin(uso)	Periodo en el que se finaliza el uso de lo adquirido con la inversión	Numérico	2	10
Tipo de inversión	Tipo de inversion	Texto_selección	20	CAPEX de infraestructura; CAPEX de subsuelo
Vida útil (años)	Vida útil de las inversiones CAPEX afectadas por la depreciación	Numérico	2	10

Valor residual (%)	Valor de rescate de las inversiones afectadas por la depreciación	Porcentual	2	10%
--------------------	---	------------	---	-----

Tabla 9.

*Diccionario de datos para gasto de operación (OPEX)*

Dato	Descripción	Tipo de Dato	Longitud	Ejemplo
Nombre	Nombre del gasto	Texto	15	Inyección de vapor
Valor	Valor del gasto de operación	Numérico	8	\$ 29
Unidad	Unidad del gasto de operación. Esta puede depender de la producción o inyección de fluidos o ser independiente	Texto	8	USD/Bbl=OPEX dependiente USD= OPEX independiente
Periodo de inicio	Periodo en el que se inicia el gasto de operación	Numérico	8	1
Periodo fin	Periodo en el que se finaliza el gasto de operación	Numérico	2	10
Tipo de egresos	Tipo de egreso	Texto_selección	20	OPEX independiente; OPEX Dependiente
Dependencia	En este apartado se debe indicar la dependencia del OPEX hacia los fluidos inyectados o producidos	Texto_selección	10	Vapor; Flue gas; Espuma; Petróleo; agua; gas

Adicionalmente, en esta iteración se incluyeron listas de datos en algunas casillas de los formularios para evitar confusiones al usuario en el ingreso de la información. Las casillas que tienen estas opciones son las que contienen datos de tipo “texto-selección”, especificados en las tablas 7-9.

## 6. Evaluación con caso de estudio

Para analizar el funcionamiento de la herramienta se evaluaron dos proyectos. El primer proyecto fue la inyección cíclica de vapor (ICV) en un campo de crudo colombiano y el siguiente fue la inyección de vapor con fluegas (ICV-FG), ambos valorados mediante simulación numérica.

La simulación numérica se llevó a cabo en el software STARS de CMG, donde se hicieron representaciones conceptuales del campo en un modelo cartesiano y estratificado de 10 acres y se dispusieron 5 pozos con un espaciamiento entre ellos de 5 acres como se muestra en la figura 33. En el proceso se designaron 365 días de producción, y fueron desarrollados 10 ciclos de inyección de vapor, cada uno compuesto por 6 días de inyección, 2 de remojo. Adicionalmente, el vapor fue inyectado a una tasa de 2740 bbl/día/ pozo y calidad de 0.65 y a una temperatura de 270 °C. Para la inyección de flue gas se evaluó una fracción molar de 15%, inyectados a partir del sexto ciclo hasta completar los diez ciclos del caso base.

Figura 33.

*Propiedades del campo de estudio.*

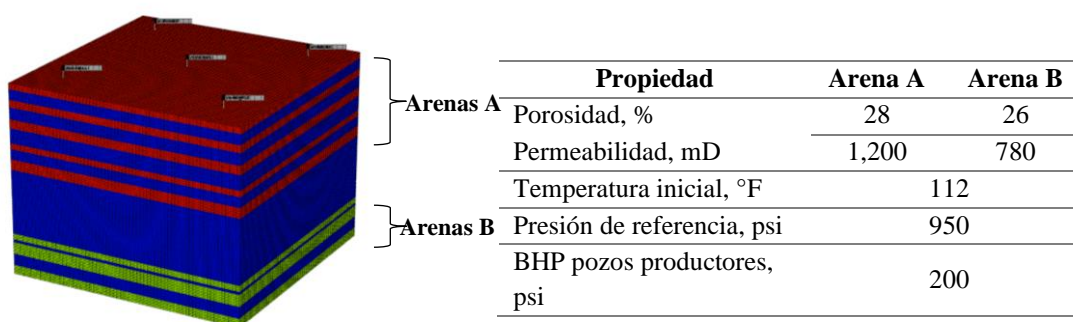


Tabla 10.

*Eventos de producción e inyección*

Periodo	ICV		ICV-FG		
	Producción petróleo (bbl/año)	Inyección vapor	Producción petróleo (bbl/año)	Inyección vapor (bbl/año)	Inyección de flue gas (Mscf/año)
0	0	0	0	0	0
1	54749.00	65760	54749	65760	
2	191226.00	65760	191226	65760	
3	172580.00	65760	172580	65760	
4	112151.00	65760	112151	65760	
5	83493.00	65760	83493	65760	
6	62897.00	65760	62897.00	65760	
7	41695.00	65760	13334.00	65760	94.081

8	37482.00	65760	25642.00	65760	94.081
9	25842.00	65760	44986.00	65760	96.081
10	22019.00	65760	50197.00	65760	97.081
11	16484.00	65760	66645.00	65760	98.081

En la tabla 10 se presentan los datos de producción de crudo obtenidos por la inyección cíclica de vapor y flue gas en un periodo de 11 años. En la tabla 11 se muestran los datos generales del proceso de inyección de vapor como caso base. Los eventos de producción e inyección y la información presentada en la tabla 11 fueron ingresados en las diferentes secciones de la herramienta como se describió en el capítulo anterior.

Tabla 11.

*Datos generales proyecto ICV*

<b>Datos generales</b>		
<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Precio del crudo	50	USD/bbl
Regalías	8	%
Deducción por calidad	13	USD/bbl
Dilución con solvente	12	%
<b>Inversiones CAPEX vapor</b>		
<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Generador de vapor	1,600,000	USD
<b>Otros</b>	2,146,160	USD
<b>OPEX vapor</b>		
Dilución con nafta	8	USD/bbl de crudo
Costo transporte	3	USD/bbl de crudo
Costo de levantamiento	13	USD/bbl de crudo
Costo de generación de vapor	2.10	USD/bbl de agua
Seguridad física	29,150	USD/año
Gestión ambiental	17,720	USD/año
Gestión social	18,550	USD/año
<b>OPEX flue gas</b>		
Costos por la captura, tratamiento e inyección	100; 712.09; 1324	USD/Mscf

En el caso de la inyección de vapor con fluegas, los costos para el tratamiento, captura e inyección de fluegas fueron tomados de fuentes secundarias y sensibilizados en la herramienta entre valores 100 USD/Mscf, 712.09 USD/Mscf, y 1324 USD/Mscf (Osma et al., 2019)

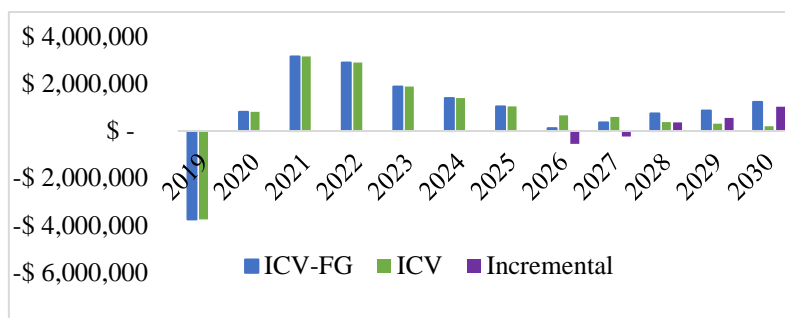
Para la determinación de los gastos de capital, se tuvo en cuenta el CAPEX de subsuelo (adecuación de pozos y obras civiles) y CAPEX de infraestructura (generadores, línea de distribución de vapor, aislante térmico, revestimiento y línea de distribución de fluidos), con los cuales se asume una inversión inicial de 3,746,000 USD que deben ser cubiertos por los incrementales producto de la inyección de vapor. Para inyección de flue gas se requiere una inversión adicional de inicial de 2,144,428 USD para la compra de los equipos de captura, tratamiento e inyección. Esta adquisición debe ser cubierto por el incremental de la utilidad neta generado por la inyección del fluegas.

Para el caso de estudio en la herramienta, el escenario de la implementación de ICV-FG con una relación de 15% molar a partir del año 2026 fue evaluado sin asumir inversión inicial, es decir, el proceso de captura, tratamiento e inyección fue tomado como un servicio tercerizado y se tuvo en cuenta solo en la parte de costos de operación (OPEX).

En la figura 34 se presenta la comparación del flujo de caja neto del caso base con el proceso de inyección de vapor con fluegas y el incremental causado por el gas adicionado. Como se puede apreciar, con la implementación de esta tecnología, en el año 2026 y 2027 se generaría pérdida por la adición del fluegas. El flujo de caja sería positivo solo por 3 años de su aplicación total.

Figura 34.

*Comportamiento del flujo de caja para el caso base y el proceso de inyección vapor con fluegas 15% molar.*



### 6.1. Análisis de sensibilidad

Con la ayuda de una de las funcionalidades de la herramienta se sensibilizaron variables de egresos tales como: Precio de la captura, tratamiento e inyección de fluegas, costo de generación de vapor, precio del crudo y costos de levantamiento como se muestra en la tabla 12 y figura 35. A continuación, en la tabla 12 se presenta los resultados para los diferentes costos relacionados al tratamiento del fluegas y un precio del crudo de 60 USD/ bbl.

Tabla 12.

*Resultados de los indicadores de rentabilidad para diferentes precios del fluegas sensibilizados*

Caso	Precio final del fluegas (USD/Mscf)	Valor Presente Neto (USD)	Incremental respecto al ICV (USD)
ICV	0	5,515,262	0
ICV-FG-100	100	5,854,666	339,404
ICV-FG-1324	1324	5,648,580	133,318
ICV-FG-712	712.09	5,751,623	236,361

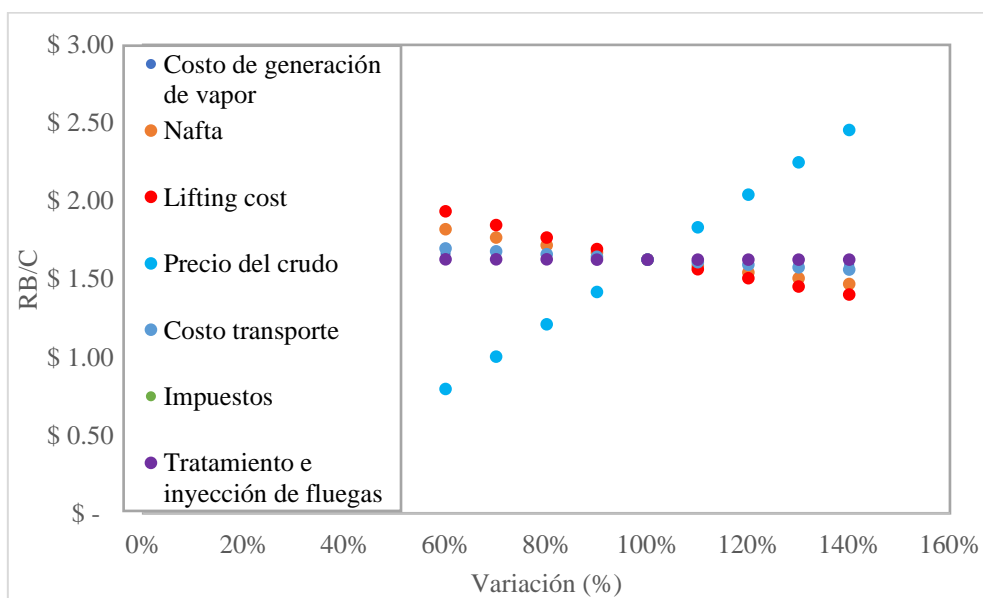
El cambio del precio del fluegas no afecta en gran medida los indicadores de rentabilidad, ya que el efecto del vapor en la producción es más evidente en los primeros ciclos, causando un gran impacto en la utilidad que no logra ser superado por la adición del fluegas. Sin embargo, al no adicionar fluegas, los flujos netos de caja de ICV serian cada vez más bajos hasta alcanzar valores negativos (figura 31). Por lo anterior, se puede afirmar que, a pesar de que la inyección de flue gas no aumenta los flujos de caja en la misma proporción que el vapor,

la adición de este gas ayuda a extender la vida de la tecnología, generando utilidades incrementales entre 133,318 USD y 339,404 USD.

Las demás variables sensibilizadas del proceso ICV-FG en la herramienta computacional se muestran en la figura 35, donde se puede observar que los parámetros más influyentes sobre la relación de beneficio/costo son los que tienen dependencia directa con la tasa de producción del crudo, tales como el precio del crudo, el lifting cost, el precio de la nafta y el transporte del crudo. Por otro lado, los factores con el menor impacto son el tratamiento del fluegas y costo de generación de vapor. Lo anterior, se debe a la baja relación de los volúmenes y costos fluidos totales inyectados con respecto a la cantidad y precio del crudo producido como se evidencia en la tabla 10.

Figura 35.

*Diagrama de araña de las variables sensibilizadas con la relación de beneficio/costo*



Según el análisis de sensibilidad se encuentra que con los costos de la tabla 10 el mínimo precio del crudo para garantizar una relación beneficio-costo superior a 1.5 es 45 USD/ barril. Adicionalmente, con un precio de petróleo de 60 USD/bbl, el máximo costo de generación de vapor es 4.0 USD/bbl de agua con lo cual se podría inyectar flue gas con un costo máximo de

aproximadamente 1350 USD/Mscf como se muestra en el perfil del indicador financiero en la figura 36.

Figura 36.

*Perfil de variación del indicador RB/C extraído de la herramienta*

		R b/c									
		Tratamiento e inyección de fluegas									
			60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%
		\$	900.00	1050.00	1200.00	1350.00	1500.00	1650.00	1800.00	1950.00	2100.00
Costo de generación de vapor		1.51									
	60%	2.4	\$ 1.588	\$ 1.584	\$ 1.580	\$ 1.576	\$ 1.572	\$ 1.568	\$ 1.564	\$ 1.559	\$ 1.555
	70%	2.8	\$ 1.572	\$ 1.568	\$ 1.563	\$ 1.559	\$ 1.555	\$ 1.551	\$ 1.547	\$ 1.543	\$ 1.539
	80%	3.2	\$ 1.555	\$ 1.551	\$ 1.547	\$ 1.543	\$ 1.539	\$ 1.535	\$ 1.531	\$ 1.527	\$ 1.523
	90%	3.6	\$ 1.539	\$ 1.535	\$ 1.531	\$ 1.527	\$ 1.523	\$ 1.519	\$ 1.516	\$ 1.512	\$ 1.508
	100%	4.00	\$ 1.523	\$ 1.519	\$ 1.515	\$ 1.512	\$ 1.508	\$ 1.504	\$ 1.500	\$ 1.496	\$ 1.493
	110%	4.4	\$ 1.508	\$ 1.504	\$ 1.500	\$ 1.496	\$ 1.493	\$ 1.489	\$ 1.485	\$ 1.482	\$ 1.478
	120%	4.8	\$ 1.493	\$ 1.489	\$ 1.485	\$ 1.481	\$ 1.478	\$ 1.474	\$ 1.471	\$ 1.467	\$ 1.463
	130%	5.2	\$ 1.478	\$ 1.474	\$ 1.470	\$ 1.467	\$ 1.463	\$ 1.460	\$ 1.456	\$ 1.453	\$ 1.449
	140%	5.6	\$ 1.463	\$ 1.460	\$ 1.456	\$ 1.452	\$ 1.449	\$ 1.445	\$ 1.442	\$ 1.438	\$ 1.435

## 6.2. Análisis del uso de la herramienta

El uso de la herramienta en el anterior caso base permitió corroborar el cumplimiento de los objetivos y requerimiento planteados al inicio del trabajo de aplicación, con lo cual se generan las siguientes afirmaciones. El producto obtenido fue diseñado por módulos consecutivos y con un lenguaje propio de la industria de hidrocarburos, lo cual facilita su uso por profesionales, estudiantes y técnicos del sector. Según esta experiencia se puede afirmar que la herramienta es muy flexible e intuitiva, permite hacer los cálculos financieros de forma fácil y el usuario puede evaluar gráfica y cuantitativamente el efecto de las variables OPEX en los indicadores de financieros mediante los análisis de sensibilidades. Adicionalmente, El usuario puede hacer cálculos y graficas adicionales debido al tipo de plataforma en la que fue construido el producto y puede compartir la información con otros usuarios sin necesidad de hacer instalación o usar otro tipo de plataforma. Esta herramienta también puede ser usada en línea por diferentes usuarios como opción de trabajo colaborativo. Finalmente, con la evaluación del caso de estudio se hizo un análisis comparativo respecto a una evaluación financiera previa sin la herramienta, donde se llegó a los mismos resultados de VPN, pero el tiempo para obtener estos valores se redujo considerablemente. En la herramienta se

requirieron 30 minutos para ingresar los datos y hacer los respectivos cálculos, mientras que sin la herramienta y con la forma habitual, esta actividad demoró aproximadamente 4 horas, es decir, el tiempo de operación disminuyó 8 veces al utilizar el producto.

### **Conclusiones**

El producto resultante del presente trabajo de aplicación fue programado a través de macros en Excel y lenguaje de scripts Visual Basic for Applications (VBA), y cumple con las funcionalidades propuestas, logrando ser una herramienta flexible, intuitiva y fácil de usar para los interesados. Adicionalmente, permite reducir 8 veces el tiempo que se destina hacia el cálculo de los indicadores financieros de forma convencional, según experiencias anteriores.

La herramienta computacional fue diseñada y construida siguiendo los principios de desarrollo agile e incorporando algunos eventos y artefactos propios de las metodologías Scrum y XP. Lo cual permitió estructurar una metodología ágil con fluidez para una correcta interacción entre los roles del equipo, las ceremonias y las tareas definidas para cada uno de los sprints, aportando a la creación de un producto con los requisitos y necesidades establecidas por el usuario final.

La herramienta ofrece de múltiples indicadores financieros, ya que a través de la revisión bibliográfica se observó que, en los análisis financieros para técnicas de recobro mejorado, el 30% de los proyectos emplea solo el VPN como método de evaluación, mientras que el 70% de los estudios apoyó el uso del VPN con otras técnicas como TIR, RP y B/C.

### **Recomendaciones**

A partir de producto obtenido en el presente trabajo de aplicación, se recomienda lo siguientes para próximos estudios:

- Complementar la herramienta computacional mediante la adición de un módulo que permita hacer análisis de incertidumbre durante las evaluaciones financieras. Además, incluir una sección para desarrollar evaluaciones costo-energéticas, ya que según las necesidades actuales de los proyectos es necesarios reportar los beneficios en función de dinero y energía.

### Referencias

- ACP. (2017). Costos de operación del sector petrolero en Colombia en 2017 - ACP. [https://acp.com.co/web2017/es/?option=com\\_sppagebuilder&view=page&id=103](https://acp.com.co/web2017/es/?option=com_sppagebuilder&view=page&id=103)
- Ariza, C. (2020). Evaluación de la eficiencia energética de un proceso de inyección continua de vapor con flue gas en un yacimiento estratificado. Universidad Industrial de Santander .
- Becerra, X. (2022) Las petroleras tendrán que pagar sobretasas de hasta 10% y 15% con nueva reforma. La República. <https://www.larepublica.co/especiales/reforma-tributaria-2022/las-empresas-del-sector-de-hidrocarburos-pagaran-sobretasas-de-hasta-10-y-15-3481070>
- Behutiye, W., Rodríguez, P., Oivo, M., Aaramaa, S., Partanen, J., & Abhervé, A. (2022). Towards optimal quality requirement documentation in agile software development: A multiple case study. *Journal of Systems and Software*, 183, 111112. <https://doi.org/10.1016/J.JSS.2021.111112>
- Belyadi, H., Fathi, E., & Belyadi, F. (2019). Hydraulic Fracturing in Unconventional Reservoirs: Theories, Operations, and Economic Analysis. *Hydraulic Fracturing in Unconventional Reservoirs: Theories, Operations, and Economic Analysis*, 1–614. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-01643-6>
- Bennouna, K. M. T. M. G. (2010). Improved capital budgeting decision making: Evidence from Canada. *Management Decision*, 48.
- Bonem, J. M. (2018). Project Evaluation Using CAPEX and OPEX Inputs. *Chemical Projects Scale Up*, 107–123. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813610-2.00009-X>
- Coker, A. K. (1995). *Fortran Programs for Chemical Process Design* (A. K. Coker, Ed.). Gulf Professional Publishing. <http://www.sciencedirect.com:5070/book/9780884152804/fortran-programs-for-chemical-process-design-analysis-and-simulation>
- El-Reedy, M. A. (2021). *Offshore Projects and Engineering Management*. In *Offshore Projects and Engineering Management*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85795-6.09986-7>
- Forbes, 2020. ACP: empresas petroleras en Colombia operan a pérdida. <https://forbes.co/2020/04/22/economia-y-finanzas/acp-empresas-petroleras-en-colombia-operan-a-perdida>
- Gallo, 2016. A Refresher on Payback Method. <https://hbr.org/2016/04/a-refresher-on-payback-method>. Harvard Review

- Gaspar Ravagnani, A. T. F. S., Ligerio, E. L., & Suslick, S. B. (2009). CO<sub>2</sub> sequestration through enhanced oil recovery in a mature oil field. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 65(3–4), 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2008.12.015>
- Hartono, A. D., Hakiki, F., Syihab, Z., Ambia, F., Migas, S. K. K., Yasutra, A., Sutopo, S., Efendi, M., Sitompul, V., Primasari, I., & Apriandi, R. (2017). Revisiting EOR projects in Indonesia through integrated study: EOR screening, predictive model, and optimisation. *Society of Petroleum Engineers - SPE/IATMI Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition 2017*, 2017-January. <https://doi.org/10.2118/186884-MS>
- Hayes, (2022). Benefit-Cost Ratio (BCR): Definition, Formula, and Example. [https://www.investopedia.com/terms/b/bcr.asp#:~:text=The%20benefit%2Dcost%20ratio%20\(BCR\)%20is%20an%20indicator%20showing,a%20firm%20and%20its%20investors.](https://www.investopedia.com/terms/b/bcr.asp#:~:text=The%20benefit%2Dcost%20ratio%20(BCR)%20is%20an%20indicator%20showing,a%20firm%20and%20its%20investors.) Revisada en 2022
- Kamari, A., Nikookar, M., Sahranavard, L., & Mohammadi, A. H. (2014). Efficient screening of enhanced oil recovery methods and predictive economic analysis. *Neural Computing and Applications*, 25(3–4), 815–824. <https://doi.org/10.1007/S00521-014-1553-9/FIGURES/15>
- Letelier, P., & Penadés, M. C. (2003). Metodologías ágiles para el desarrollo de software: eXtreme Programming (XP). *Conference on EXtreme Programming and Agile Processes in Software Engineering*. [www.agileuniverse.com](http://www.agileuniverse.com).
- Malagón, Jonathan., Montoya, Germán., & Ruiz, Carlos. (2016). La competitividad del sector de hidrocarburos en las diferentes regiones de Colombia. *Cuadernos Programa de Las Naciones Unidas Para El Desarrollo (PNUD)*, 1–82.
- Martinez, J. (2020). Evaluación técnica de la inyección cíclica de vapor con gases de combustión en un yacimiento de crudo pesado colombiano. *Universidad Industrial de Santander*.
- Meza, J. (2015). *Evaluación financiera de proyectos* (Eco Ediciones, Ed.; Tercera).
- Milena Velásquez Restrepo, S., David Vahos-Montoya, J., Ester Gómez-Adasme, M., Alexandra Pino -Martínez, A., Julieta Restrepo-Zapata, E., & Londoño-Marín, S. (2019). Una revisión comparativa de la literatura acerca de metodologías tradicionales y modernas de desarrollo de software. *Revista CINTEX*, 24(2), 13–23. <https://doi.org/10.33131/24222208.334>
- Miranda, J. J. (2005). *Gestión de Proyectos*. [https://books.google.com.co/books?id=pAQ9QelkHmkC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=pAQ9QelkHmkC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Moix, R. (2014). *Evaluación económica de proyectos* (Hipergraph, Ed.; 1st ed., Vol. 1).
- Mongrut, samuel, & Wong, D. (2005). Un examen empírico de las prácticas de presupuesto de capital en el Perú. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-59232005000200005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-59232005000200005)
- Nanomaterials, (2021) Net Cash Flow. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/net-cash-flow>. Revisada 2022

- Navarro, A., Fernández, D., Martínez, J., & Velez, J. (2013). Revisión de metodologías ágiles para el desarrollo de software A review of agile methodologies for software development. *Prospectiva*.
- Osma, L., García, L., Pérez, R., Barbosa, C., Botett, J., Sandoval, J., & Manrique, E. (2019). Benefit-cost and energy efficiency index to support the screening of hybrid cyclic steam stimulation methods. *Energies*, 12(24). <https://doi.org/10.3390/en12244631>
- Padilla, P., & Leon, A. (2019). Desarrollo de una Herramienta Software para la Evaluación Financiera de Proyectos de Inyección de Vapor. Universidad Industrial de Santander .
- Palenzuela, V. A., De, A., & Hidalgo, M. (1987). El problema de la inconsistencia del criterio de la tasa interna de rendimiento y una propuesta de solución.
- Perez, O. (2011). Vista de Cuatro enfoques metodológicos para el desarrollo de Software RUP – MSF – XP – SCRUM. 15. <https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/9/9>
- Ponomarenko, T., Marin, E., & Galevskiy, S. (2022). Economic Evaluation of Oil and Gas Projects: Justification of Engineering Solutions in the Implementation of Field Development Projects. *Energies*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/en15093103>
- Prachi Juneja. Management Study Guide Content Team. MSG Content Team comprises experienced Faculty Member, Professionals and Subject Matter Experts. We are a
- Rico Muñoz (2023). Tenemos un plan para aumentar reservas de hidrocarburos y respaldar la transición. <https://www.larepublica.co/economia/tenemos-un-plan-para-aumentar-las-reservas-de-hidrocarburos-aseguro-irene-velez-3527730>.
- Sandler, J., Fowler, G., Cheng, K., & Spe, A. K. (2012). SPE 153806 Solar-Generated Steam for Oil Recovery: Reservoir Simulation, Economic Analysis, and Life Cycle Assessment.
- Smith (2007) Economic Evaluation of Oil and Gas Projects. <https://jpt.spe.org/twa/economic-evaluation-oil-and-gas-projects>. Revisada en 2022
- Tapia, G. (n.d.). Tasa interna de retorno modificada.
- Vecino, C. E., Rojas, S. C., & Munoz, Y. (2015). Prácticas de evaluación financiera de inversiones en Colombia. *Estudios Gerenciales*, 31(134), 41–49. <https://doi.org/10.1016/J.ESTGER.2014.08.002>
- Vidarte, J. (2009). El flujo de caja descontado como la mejor metodología en la determinación del valor de una empresa. *Gestión y Desarrollo* , 6(ISSN 0123-5834), 103–110.
- Wheaton, R. (2016). *Fundamentals of applied reservoir* (Kattie Washington, Ed.). Joe Hayton. <http://www.sciencedirect.com:5070/book/9780081010198/fundamentals-of-applied-reservoir-engineering>
- Xie, M., Kun Chen, W., Intra, R., Anusawari, K., & Bang Khen, K. (2021). Research On The Modified Internal Rate Of Return. In *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education* (Vol. 12, Issue 11).

- Zekri, A. Y., & Jerbi, K. K. (2002a). Economic evaluation of enhanced oil recovery. *Oil and Gas Science and Technology*, 57(3), 259–267. <https://doi.org/10.2516/OGST:2002018>
- Zekri, A. Y., & Jerbi, K. K. (2002b). Economic evaluation of enhanced oil recovery. *Oil and Gas Science and Technology*, 57(3), 259–267. <https://doi.org/10.2516/ogst:2002018>
- Žižlavský, O. (2014). Net Present Value Approach: Method for Economic Assessment of Innovation Projects. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 156, 506–512. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.11.230>

## Apéndices

**Apéndice A. Detalle de las historias de usuario**

A continuación, se presente el detalle de algunas de las historias de usuario empleadas para la construcción de la herramienta computacional.

ID	HU1
Nombre	Introducir datos generales del proyecto EOR
Prioridad	Alta
Riesgo	Bajo
Descripción	Como usuario quiero introducir los datos generales del proyecto a la herramienta
Validación	<p>Quiero que se pueda registrar un nombre y descripción del proyecto</p> <p>Quiero que en los datos generales se pueda indicar los fluidos inyectados y producidos</p> <p>Quiero que se pueda ingresar el horizonte del proyecto</p> <p>Quiero que en esta sección se tenga un listado de unidades de producción e inyección</p>

**Figura A.1.** Historia de usuario 1: Introducir datos generales del proyecto EOR

ID	HU5
Nombre	Ingresar eventos de producción e inyección
Prioridad	Baja
Riesgo	Bajo
Descripción	Como usuario quiero una sección para ingresar los eventos de producción e inyección
Validación	<p>Quiero ingresar el precio del crudo y las deducciones por calidad según el proyecto</p> <p>Quiero ingresar las regalías, impuestos y valor de inflación</p> <p>Quiero una tabla para ingresar manualmente los valores de producción e inyección de fluidos producto de un estudio técnico</p>

**Figura A.2.** Historia de usuario 5: Ingresar eventos de producción e inyección

ID	HU7
Nombre	Introducir Información de inversiones iniciales
Prioridad	Alta
Riesgo	Bajo
Descripción	Como usuario quiero una sección tipo formulario para introducir la información de inversiones iniciales en la herramienta
Validación	<p>Quiero poder elegir entre diferentes tipos de moneda para ingresar la inversión</p> <p>Quiero poder describir si la inversión corresponder a CAPEX de infraestructura o subsuelo</p> <p>Quiero relacionar la información de depreciación de las inversiones si aplica</p> <p>Quiero tener la opción de guardar uno a uno los datos ingresados</p> <p>Quiero tener un acceso rápido para observar la información almacenada</p>

	Quiero un botón para limpiar la información del formulario y la información almacenada
--	--

**Figura A.3.** Historia de usuario 7: Introducir Información de inversiones iniciales

ID	HU8
<b>Nombre</b>	Llevar las inversiones al periodo cero
<b>Prioridad</b>	Bajo
<b>Riesgo</b>	Bajo
<b>Descripción</b>	Como usuario quiero que el programa automáticamente lleve las inversiones almacenadas al periodo cero y calcule la depreciación periodo a periodo
<b>Validación</b>	Quiero que una vez almacenada la inversión se vea en la misma tabla la inversión en el tiempo cero Quiero que se puede ver los valores de depreciación periodo a periodo Quiero un botón para agregar la información de inversiones en el periodo cero y depreciaciones total periódicas al FCNE

**Figura A.4.** Historia de usuario 8: Llevar las inversiones al periodo cero

ID	HU10
<b>Nombre</b>	Ingresar gastos de operación unitarios (OPEX)
<b>Prioridad</b>	Baja
<b>Riesgo</b>	Bajo
<b>Descripción</b>	Como usuario quiero una sección, tipo formulario, para ingresar los egresos unitarios del proyecto
<b>Validación</b>	Quiero poder elegir entre diferentes tipos de unidad para ingresar los egresos unitarios Quiero poder describir si la inversión corresponder a OPEX dependiente o independiente Quiero poder seleccionar el tipo de dependencia del egreso, es decir, indicar de quien depende el egreso Quiero tener la opción de guardar uno a uno los datos ingresados Quiero tener un acceso rápido para observar la información almacenada Quiero un botón para limpiar la información del formulario y la información almacenada

**Figura A.5.** Historia de usuario 10: Ingresar gastos de operación unitarios (OPEX)

ID	HU 15.
<b>Nombre</b>	Construir los flujos de caja neto
<b>Prioridad</b>	Bajo
<b>Riesgo</b>	Alto
<b>Descripción</b>	Como usuario que la herramienta tenga una sección donde se resuma toda la información y se muestren los cálculos de los flujos netos de caja
<b>Validación</b>	Quiero que la información de cada sección alimente una hoja para el cálculo de los flujos de caja neto Quiero que se pueda revisar la información pueda ser revisada antes de ser agregada a los flujos de caja Quiero que los flujos de caja se actualicen con cualquier cambio que se haga en las otras variables

**Figura A.6.** Historia de usuario 15: Construir los flujos de caja neto

ID	HU24
----	------

Nombre	Apariencia de la aplicación
Prioridad	Baja
Riesgo	Bajo
Descripción	Como usuario quiero que la herramienta tenga un aspecto simple y sencillo de manejar
Validación	Quiero que las ventanas sean reducidas y contengan solo información imprescindible Quiero que para entrar en alguna sección se abra una ventana específica desde una ventana principal Quiero que cada sección tenga opciones para regresar a la página principal Quiero que las secciones tengan un botón para revisar los datos que se almacenan

**Figura A.7.** Historia de usuario 24: Apariencia de la aplicación

## Apéndice B. Manual de usuario

A continuación, se presenta el paso a paso por cada una de las secciones de la herramienta

### Página de inicio e índice

Al abrir la herramienta aparece una ventana como la que se ve en la siguiente figura. El usuario tiene diferentes botones con acceso rápido en la parte izquierda de esta sección que le permiten moverse hacia las otras ventanas de la herramienta. En la parte derecha se puede observar cómo se va construyendo el flujo de caja con los ingresos, egresos e inversiones a mediana que el usuario las va agregando. Adicionalmente, en esta página el usuario puede crear un nuevo proyecto con datos diferentes con lo cual la herramienta se reiniciará.

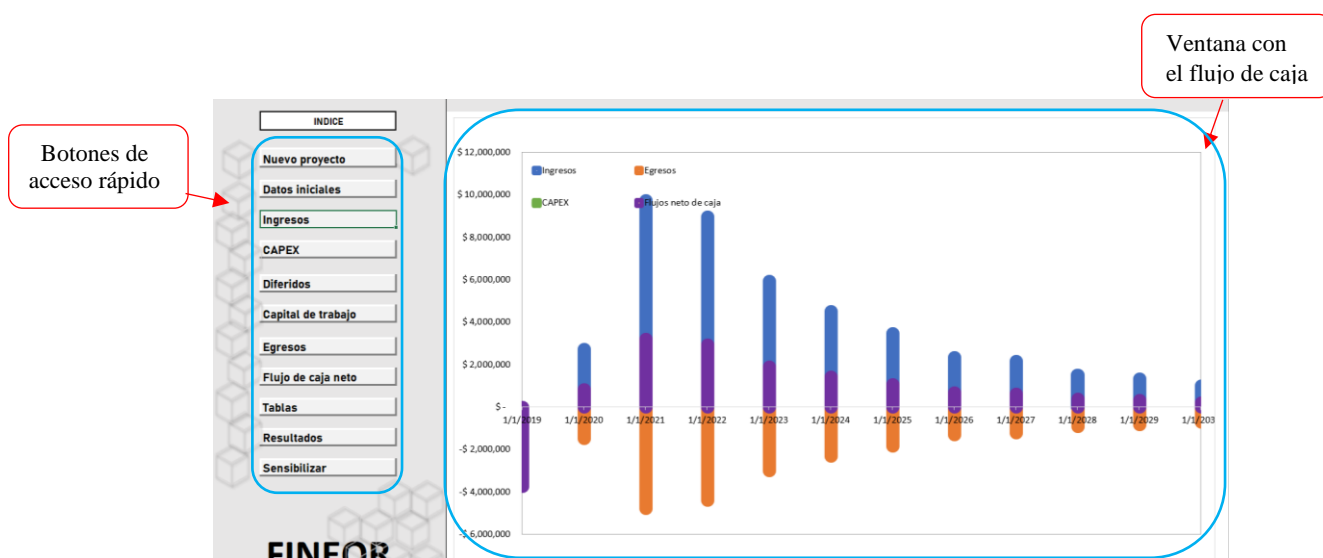



Figura B.1. Página de inicio e índice

### Sección de datos generales y eventos de producción e inyección

Inicialmente, el usuario se encuentra con un formulario que se debe diligenciar con la información general del tipo de fluidos producidos e inyectados. Así mismo, en esta sección se

debe incluir una breve descripción del proyecto evaluado y su tiempo de ejecución. Es importante revisar el diccionario de datos para cumplir con las especificaciones de la información ingresada como se explica en el capítulo 5 del libro.

Datos generales del proyecto		
<b>ID del proyecto</b> Solo vapor	<b>Horizonte del proyecto (k)</b> 10	<b>Unidades de tiempo</b> Año
Producción		
<b>Fluido producido 1*</b> Petroleo producido	<b>Fluido producido 2</b> Agua producida	<b>Fluido producido 3</b> Gas Producido
<b>Unidades*</b> bbl/año	<b>Unidades</b> bbl/año	<b>Unidades</b> Mscf/año
Inyección		
<b>Fluido inyectado 1</b> Vapor	<b>Fluido inyectado 2</b> 0	<b>Fluido inyectado 3</b> 0
<b>Unidades</b> bbl/año	<b>Unidades</b> Mscf/año	<b>Unidades</b> bbl/año
<b>Descripción</b> Proyecto realizado en el campo Teca del Valle Medio del Magdalena, donde se evalúan las diferentes alternativas para la captura y tratamiento de los gases de chimenea producidos por los generadores de vapor en superficie		
<input type="button" value="Limpiar"/> <input type="button" value="Guardar"/>		

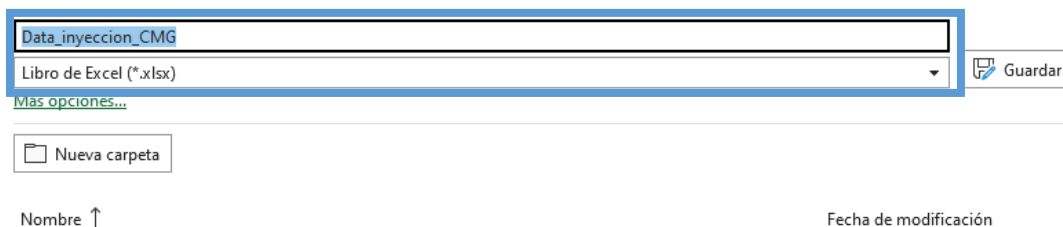
**Figura B.2.** Formulario para los datos generales del proyecto

Según la información suministrada en el anterior formulario, se organiza la información en la tabla mostrada en la siguiente figura. En esta sección el usuario tiene dos opciones para ingresar los eventos de producción e inyección. La primera es de forma manual, donde se debe copiar y pegar las fechas y tasas de producción e inyección de la fuente de interés. La segunda opción contempla llamar la información desde el documento exportado por las simulaciones numéricas realizadas en el software en CMG.

Datos de producción e inyección											
+ Producción CMG						+ Inyección CMG					
Fecha	Periodo	Producción				Inyección					
		Petroleo producido	Agua producida	Gas Producido	Mscf/año	Vapor	0	0	0		
		bb/año	bb/año	bb/año	Mscf/año	bb/año	Mscf/año	Mscf/año	bb/año	bb/año	bb/año
1/1/2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/1/2020	1	54749.00				65760	0	0	0	0	0
1/1/2021	2	191226.00				65760	0	0	0	0	0
1/1/2022	3	172580.00				65760					
1/1/2023	4	112151.00				65760					
1/1/2024	5	83493.00				65760					
1/1/2025	6	62897.00				65760					
1/1/2026	7	41695.00				65760					
1/1/2027	8	37482.00				65760					
1/1/2028	9	25842.00				65760					
1/1/2029	10	22019.00				65760					
1/1/2030	11	16484.00				65760					

**Figura B.3.** Eventos de producción e inyección

Para la segunda alternativa, el usuario debe exportar la información en un documento de Excel en el mismo orden como están organizados los eventos de producción e inyección en la herramienta y guardar este documento en una misma carpeta con el nombre de: Data\_inyeccion\_CMG o Data\_produccion\_CMG con una extensión (\*.xlsx) (Figura b.4)



**Figura B.4.** Forma para guardar los documentos exportados desde CMG

Con los datos exportados de CMG, el usuario podrá regresar a la herramienta y mediante los botones de producción e inyección, señalizados en la figura B.3, podrá importar la información guardada.

### Sección de ingresos

En esta sección el usuario debe suministrar la información básica que influye sobre el cálculo de los ingresos netos al proyecto como se muestra en la figura B.5. Al agregar esta información,

el programa calcula automáticamente los ingresos para cada periodo en una tabla que alimenta los flujos de caja neto.

Ingresos

<b>Precio del crudo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Regalias (%)</b>
60.00	USD/bbl	8%
<b>Reducción por calidad</b>	<b>Otros descuentos</b>	<b>Otros descuentos</b>
13	0	0
<b>Unidades*</b>	<b>Unidades</b>	<b>Unidades</b>
USD/bbl	USD/bbl	USD/bbl
<b>Impuestos</b>	<b>Inflación</b>	<b>Dilución con solvente</b>
36%	0%	12%

Ir a sensibilizar

Ingresos

Fecha	Periodo	Regalias (bbl)	Precio del petroleo	Ingresos netos (Ecuación 8)
1/1/2020	1	4,379.92	47.94 \$	2,729,654
1/1/2021	2	15,298.08	48.90 \$	9,724,751
1/1/2022	3	13,806.40	49.88 \$	8,952,043
1/1/2023	4	8,972.08	50.87 \$	5,933,829
1/1/2024	5	6,679.44	51.89 \$	4,505,906
1/1/2025	6	5,031.76	52.93 \$	3,462,280
1/1/2026	7	3,335.60	53.99 \$	2,341,081
1/1/2027	8	2,998.56	55.07 \$	2,146,621
1/1/2028	9	2,067.36	56.17 \$	1,509,589
1/1/2029	10	1,761.52	57.29 \$	1,311,990
1/1/2030	11	1,318.72	58.44 \$	1,001,834

**Figura B.5.** Sección de ingresos y tabla de cálculo de ingresos neto por cada periodo

En la sección de ingresos se encuentra un botón de acceso rápido para ir a la sección de sensibilizaciones, ya que los ingresos son unas de las variables con mayor interés para ser evaluadas.

### Sección de inversiones

Esta sección esta dividida en tres formularios para suministrar información sobre las diferentes inversiones tipo CAPEX, diferidos y capital de trabajo. Cada uno de estos formularios requiere diferente información, pero contiene las mismas opciones para guardar, borrar y revisar la información guardada

Figura B.6. Formularios para el ingreso de las inversiones

Una vez el usuario ingresa los datos en los diferentes formularios, este debe usar la el boton de **mostrar información guardada** para dirigirse hacia la tabla resumen de cada una de la inversiones. Posteriormente, como se muestra en la figura B.7, para el caso de la inversiones CAPEX, el usuario debe revisar que los datos se hayan agregados correctamente y emplear la opción de agregar CAPEX y **agregar la depreciación FCN** para llevar estos datos al flujo de caja neto formado. El mismo procedimiento se realiza para los otros tipos de inversiones.

Inflación 2%

+ Agregar CAPEX
+ Agregar depreciación al FCN

Resumen Inversiones CAPEX										Depreciación		
Item	Nombre ID	Valor	Moneda	Periodo Inversión	Periodo inicial	Periodo final	Tipo de Inversión	Vida útil	Valor Residual	Inversion periodo 0	Depreciación Periodo	Valor en libros (USD)
0												
1	Generador de vapor	\$ 1,600,000	USD	0	1	11	CAPEX de infraestructura	20	0.10	\$ 1,600,000	\$ 72,000.00	\$ 808,000.00
2	Otros	\$ 2,146,160	USD	0	1	11	CAPEX de infraestructura	0	0.00	\$ 2,146,160		\$ 2,146,160.00
3												

Figura B.7. Tabla resumen de inversiones tipo CAPEX

En el caso de encontrar algún error en la inclusión de los datos, el usuario puede cambiar los datos directamente en la hoja de resumen para evitar hacer el registro completo de toda la información.

**Nota:** cada vez que se haga un cambio en esta hoja resumen o se incluyan otras inversiones se deben dar las opciones de agregar información como se explicó anteriormente.

### Sección de egresos

En la sección de egresos, el usuario debe ingresar la información solicitada en el formulario mostrado en la figura B.8. En este formulario la opción tiene la opción de almacenar la información en otra hoja de cálculo; borrar datos guardados y revisar la información guardada. Después de adicionar lo ingresos, el usuario debe usar la opción de **mostrar información guardada**, la cual lo llevará a una hoja como la que se presenta en la figura. En esta hoja **resumen de inversiones OPEX**, el usuario deber revisar que la información se haya cargado correctamente y agregar los egresos a los flujos de caja neto mediante los botones ubicados en la parte superior de la tabla.

En esta hoja resumen, el usuario puede encontrar un acceso rápido a la sección de sensibilizaciones, ya que los OPEX son una de las variables con mayor requerimiento de evaluación.

**EGRESOS (OPEX)**

Nombre: Inyección de vapor

Valor: \$ 29,150

Unidades:

Periodo de inicio: 1

Periodo final: 11

Tipo de egreso: OPEX Independiente

Dependencia: Independiente

Botones: Limpiar, Borrar datos guardado, Guardar, Mostrar información guardada

**Resumen Inversiones OPEX**

Item	Nombre ID	Valor	Unidad	Periodo Inicio	Periodo Final	Tipo de egreso	Dependencia
0							
1	Seguridad física	\$ 29,150		1	11	OPEX Independiente	Independiente
2	Gestión ambiental	\$ 17,720		1	11	OPEX Independiente	Independiente
3	Gestión social	\$ 18,500		1	11	OPEX Independiente	Independiente
4	Nafta	\$ 8	USD/lb	1	11	OPEX Dependiente	Petroleo producción
5	Costo transporte	\$ 3	USD/lb	1	11	OPEX Dependiente	Petroleo producción
6	Lifting cost	\$ 12	USD/lb	1	11	OPEX Dependiente	Petroleo producción
7	Costo de generación de vapor	\$ 2	USD/lb	1	11	OPEX Dependiente	Vapor
8		\$ -					
9		\$ -					
10		\$ -					
11		\$ -					
12		\$ -					
13		\$ -					
14		\$ -					
15		\$ -					
16		\$ -					
17		\$ -					
18		\$ -					
19		\$ -					
20		\$ -					
21		\$ -					
22		\$ -					
23		\$ -					
24		\$ -					
25		\$ -					
26		\$ -					
27		\$ -					
28		\$ -					

Figura B.8. Formulario para agregar los egresos y tabla resumen de los egresos tipo OPEX

El usuario puede revisar la distribución de los egresos en el tiempo, según su dependencia y tiempo de uso, en la pestaña de **OPEX periódico** como se muestra en la figura B.9. En esta tabla los OPEX son totalizados en cada periodo y adicionan a los flujos de caja automáticamente.

Periodo	Producción			Inyección		Seguridad física		Gestión ambiental		
	Petroleo producido	Agua producida	Gas Producido	Vapor	0	0	Independiente		Independiente	
							Individual	Total	Individual	Total
0										
1	54749.00	0.00	0.00	65760	0	0	29733	\$ 29,733	18074.4	\$ 18,074
2	191226.00	0.00	0.00	65760	0	0	30327.66	\$ 30,328	18435.888	\$ 18,436
3	172580.00	0.00	0.00	65760	0	0	30934.2132	\$ 30,934	18804.6058	\$ 18,805
4	112151.00	0.00	0.00	65760	0	0	31552.8975	\$ 31,553	19180.6979	\$ 19,181
5	83493.00	0.00	0.00	65760	0	0	32183.9554	\$ 32,184	19564.3118	\$ 19,564
6	62897.00	0.00	0.00	65760	0	0	32827.6345	\$ 32,828	19955.5981	\$ 19,956
7	41695.00	0.00	0.00	65760	0	0	33484.1872	\$ 33,484	20354.71	\$ 20,355
8	37482.00	0.00	0.00	65760	0	0	34153.871	\$ 34,154	20761.8042	\$ 20,762
9	25842.00	0.00	0.00	65760	0	0	34836.9484	\$ 34,837	21177.0403	\$ 21,177
10	22019.00	0.00	0.00	65760	0	0	35533.6873	\$ 35,534	21600.5811	\$ 21,601
11	16484.00	0.00	0.00	65760	0	0	36244.3611	\$ 36,244	22032.5927	\$ 22,033

Figura B.9. OPEX periódico

Tablero con indicadores financieros

Las figuras de los resultados se hacen automáticamente a medida que se ingresan los datos como se presentan en la figura B.10. Sin embargo, se recomienda al usuario arreglar las escalas de los ejes con las opciones de Excel cuando lo considere necesario. En esa sección, el usuario puede ver la graficas de los ingresos y egresos; comportamientos de los flujos de caja y los indicadore financieros. Adicionalmente, el usuario puede ingresar los KPI's financieros del proyecto o la empresa para que la herramienta analice mediante símbolos la viabilidad del proyecto.

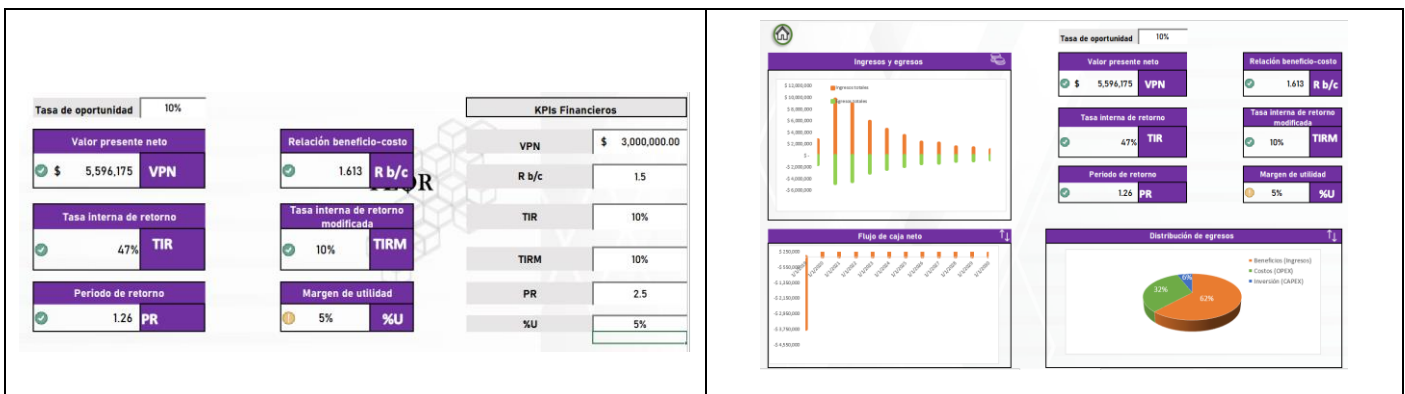





Figura B.10. Tablero con resultados gráficos e indicadores financieros

Donde los íconos que aparecen al lado de cada indicador significan:


-  : El proyecto es viable según ese indicador
-  : El proyecto no es viable según ese indicador
- 

: Es indiferente que se haga o no el proyecto según este indicador

### Sección de sensibilizaciones

En esta sección el usuario puede evaluar y comparar el comportamiento de dos variables al mismo tiempo. Por lo anterior, el usuario debe elegir del listado ofrecido las variables 1 y 2. Posteriormente, debe buscar la ubicación de estas variables en la herramienta, para esto se proporcionan dos botones con acceso rápido hacia la sección de ingresos y egresos. Una vez las variables son ubicadas, estas se deben cambiar y hacerla dependientes a las celdas C5 y C6 de la pestaña de sensibilizaciones, respectivamente.

Después de hacer dependiente las variables, el usuario debe regresar a la pestaña de sensibilizar e ingresar los valores iniciales de la herramienta en la celda C5 y C6. Adicionalmente, debe agregar el porcentaje de variación en que cambiaran estas variables en las celdas D5 y D6. Finalmente, usar el botón sensibilizar para que el programa el respectivo calculo y comparaciones. En el medio de la tabla aparecen los valores de los indicadores que el usuario quiera sensibilizar, para el caso de la figura se presenta la relación de beneficio/costo. Sin embargo, el usuario puede cambiar esta variable con una lista que se proporciona en la sección señalada en la figura. Además, se recomienda cambiar la escala de colores para que correspondan a los KPIs con los que se quiere comparar el proyecto mediante la opción de

**formato condicional** de Excel , donde el usuario puede editar la regla existente o agregar nuevas reglas.

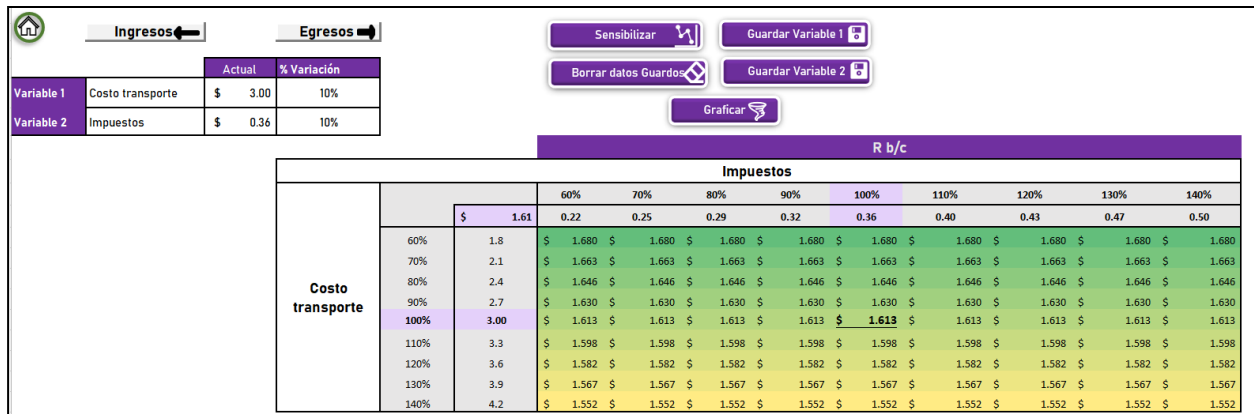


Figura B.11. Sección para sensibilizaciones

En esta sección, el usuario puede guardar las variables 1 y 2 mediante las opciones ofrecidas en la parte superior de la tabla de sensibilizaciones. Esto será de ayuda para comparar múltiples variables al mismo tiempo y graficarlas con diagramas de tornado o diagramas de araña como se muestra en la figura B.12

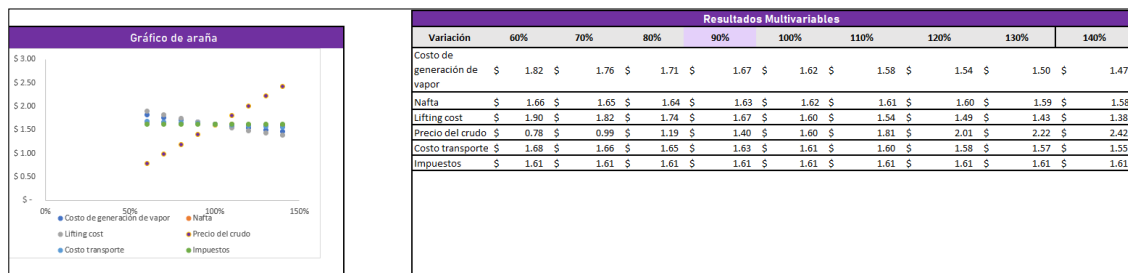


Figura B.12. Sensibilización multivariable y graficas de araña

Apéndice C. Nombre y logo de la herramienta

