

**DESARROLLO DE UN MODELO PARA EL DISEÑO Y GESTIÓN DE  
OPERACIONES LOGÍSTICAS EN POZOS EXPLORATORIOS BASADA EN LA  
APLICACIÓN DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS**

**MELKYN RICARDO SAAVEDRA MARROQUÍN**

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS  
ÉNFASIS EN SISTEMAS LOGÍSTICOS  
CHIA  
2010**

**DESARROLLO DE UN MODELO PARA EL DISEÑO Y GESTIÓN DE  
OPERACIONES LOGÍSTICAS EN POZOS EXPLORATORIOS BASADA EN LA  
APLICACIÓN DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS**

**MELKYN RICARDO SAAVEDRA MARROQUÍN**

**Tesis de Maestría**

**Director  
Leonardo González, Msc.**

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS  
ÉNFASIS EN SISTEMAS LOGÍSTICOS  
CHIA  
2010**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Chía, septiembre 20 de 2010

En memoria de Doris Esperanza Arias Marroquín, quien siempre fue una mujer dedicada y comprometida con todo lo que logro y a quien siempre llevaré en mi corazón, a ti tía, quien me diste la oportunidad de demostrar que con responsabilidad, ética y compromiso se logran reconocimientos de la gente.

A Petrobras, empresa que me brindó la oportunidad de aplicar el presente proyecto y en donde se creó una de las áreas clave como lo es la logística para atender las necesidades de apoyo a los proyectos de pozos exploratorios.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a:

A Dios y a mi familia quienes siempre han creído en mí y me han apoyado en todas las cosas que he emprendido hasta el momento y que con esfuerzo y dedicación he culminado.

A la Universidad de la Sabana que me brindó la oportunidad de formar parte de este gran claustro que he admirado siempre por su nivel académico y reconocimiento, especialmente al empeño, dedicación y carisma que ha tenido Leonardo González, a quien considero un gran maestro, mentor y amigo.

A Johanna, quien me ha dado todo su apoyo incondicional y quien ha sido un soporte importante en mi vida, siempre sin desfallecer e impulsándome a cada reto que me propongo.

## CONTENIDO

	Pág.
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 Objetivo General	15
1.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Contextualización del trabajo	16
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	17
2.1 Revisión Bibliográfica	17
2.1.1 Aplicaciones en Gerencia de Proyectos	18
2.1.2 Estructura del modelo de Gestión de Proyectos	25
2.2 Gerenciamiento de Proyectos de Pozos Exploratorios	27
2.2.1 Estructura del Proyecto de Pozo Exploratorio	28
2.2.2 Documentos Gerenciales del Proyecto	31
2.3 Sistema logístico	32
2.3.1 Ciclo logístico	33
CAPITULO 3. METODOLOGÍA DE PLANEACIÓN DINÁMICA	34
3.1 Análisis conceptual del sistema	34
3.2 Metodología de Planeación Dinámica	36
3.2.1 Caracterización del Sistema	37
3.2.2 Análisis de la Estructura Sistémica	50
3.2.3 Simulación	51
3.2.4 Revisión de Políticas	53

CAPITULO 4. VALIDACIÓN Y RESULTADOS	55
CAPITULO 5. CONCLUSIONES	57
CAPITULO 6. RECOMENDACIONES	59
CAPITULO 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	60

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Visión General de las Herramientas y Técnicas de Administración de Proyectos	19
Tabla 2. Diferencias entre el Enfoque Tradicional y la Dinámica de Sistemas	22
Tabla 3. Programa Exploratorio Mínimo	37
Tabla 4. Resumen de Actividades con base en la WBS	42
Tabla 5. Relación de Actividades entre Ciclo Logístico y Ciclo de Vida del Proyecto	46
Tabla 6. Identificación de Recursos del Proyecto	44
Tabla 7. Distribución de Recursos en el Proyecto	47
Tabla 8. Identificación de Variables No Controlables del Proyecto	48
Tabla 9. Distribución de Variables en el Proyecto	49

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. El Proceso Genérico de Gestión de Proyectos	18
Figura 2. El Proceso de Gestión del Recurso Humano	19
Figura 3. El Ciclo de Control del Proyecto	21
Figura 4. Visión global de la Metodología SYDPIM	23
Figura 5. Análisis de la Estructura Metodología de Planeación	24
Figura 6. Estructura del ciclo de retrabajo	26
Figura 7. Estructura Básica del Proyecto de Pozos Exploratorios	30
Figura 8. Relación Macroprocesos de Proyectos de Exploración y Producción	30
Figura 9. Ciclo de Vida del Proyecto	31
Figura 10. Metodología de Planeación Dinámica	36
Figura 11. Estructura Organizacional del Proyecto (OBS)	38
Figura 12. Cronograma de Actividades del Proyecto	39
Figura 13. WBS Proyecto	42
Figura 14. Relación entre Ciclo Logístico y Ciclo de Gestión del Proyecto	45
Figura 15. Análisis de la Estructura del Proyecto	51
Figura 16. Tasa de Ejecución del Personal Especializado	53
Figura 17. Impacto de las Aprobaciones en el Proyecto	54
Figura 18. Tasa de Utilización del Recurso Transporte	55
Figura 19. Presupuesto Estimado	56
Figura 20. Tasa de Ejecución del Presupuesto	56

## GLOSARIO

**AFE:** *Authorization for Expenditure*, documento utilizado para presentar la estimación del costo detallado del proyecto para analizar y aprobar por las partes.

**ANH:** *Agencia Nacional de Hidrocarburos*, unidad administrativa especial adscrita al Ministerio de Minas y Energía, encargada de otorgar los Procesos de Nominación Abierta de Áreas a explorar.

**ÁREA CONTRATADA:** es la superficie y su proyección en el subsuelo identificada en el contrato con la ANH, en la cual EL CONTRATISTA está autorizado, en virtud de este contrato, para efectuar las operaciones de Exploración, Evaluación y Explotación de Hidrocarburos que son objeto del mismo.

**ÁREA DE EXPLOTACIÓN:** es la porción del Área Contratada en la cual se localiza uno o más Campos Comerciales.

**FECHA EFECTIVA:** es el día en que se suscribe el contrato con la ANH y a partir del cual se comenzarán a contar todos los plazos del mismo.

**EIA:** *Estudio de Impacto Ambiental*, documento donde se establecen los requisitos y condiciones de operación dentro del área señalada.

**FEL:** *Front-End Loading*, proceso mediante el cual una empresa desarrolla una definición detallada de los requisitos de un proyecto de capital en las primeras etapas para cumplir los objetivos del negocio.

**GR:** *Grupo de Revisión*, grupo multidisciplinario de profesionales que no participan del desarrollo de los trabajos (operación, logística, geología y SMS), que analiza el proyecto y valida y/o propone alteraciones en el mismo, desde el punto de vista técnico.

**GSD:** *Grupo de Soporte a la Decisión*, grupo de profesionales que tiene por objetivo analizar de forma integrada el proyecto, aplicar la metodología FEL, validar las recomendaciones de los GR y emitir parecer a los decisores.

**OBS:** *Organizational Breakdown Structure*, estructura organizacional de responsabilidades del proyecto.

**PMA:** *Plan de Manejo Ambiental*, documento que tiene como objetivo establecer, de manera detallada, las acciones que se implementarán para prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos y los efectos ambientales negativos que se causen por el desarrollo del proyecto.

**PMBoK:** *Project Management Body of Knowledge*, guía de la gestión de proyectos determinada por el PMI.

**PORTONES:** es un proceso de definición progresiva del proyecto, basada en una revisión planificada y estandarizada de control donde se revisa una fase del proyecto.

**PSD:** *Paquete de Soporte a la Decisión*, son los conjuntos de productos a ser revisados por los GR y evaluados por los decisores de cada portón.

**SYDPIM:** *System Dynamics-based Project Management Integrated Methodology*.

**TEP:** *Término de Cierre del Proyecto*, documento que cierra formalmente el proyecto.

**TRP:** *Termino de Referencia del Proyecto*, conocido como *Project Charter*, es el documento que autoriza formalmente el proyecto.

**WBS:** *Work Breakdown Structure*, también denominada Estructura Analítica del Proyecto (EAP) o desglose de paquetes de trabajo.

## RESUMEN

La Gestión de Proyectos, desde su comienzo, se ha realizado mediante la aplicación de la Metodología PMI, donde mediante las áreas de conocimiento, atiende los aspectos más importantes de cualquier tipo de proyectos.

Esta investigación, presenta la Dinámica de Sistemas como una herramienta complementaria al modelaje tradicional utilizado en el Gerenciamiento de Proyectos, demostrando su aplicabilidad por medio de la validación en el área de proyectos de pozos exploratorios de una compañía petrolera.

Mediante la metodología planteada, se integran herramientas como la gestión de proyectos, logística, dinámica de sistemas y las actividades propias de la gestión de proyectos de pozos exploratorios en la industria petrolera. Inicialmente realiza un análisis integral de las actividades que se llevan a cabo durante la ejecución del proyecto a través del ciclo logístico, en los que, para cada actividad, se analizan las variables controlables y no controlables, los recursos renovables y no renovables y sus interacciones desde una perspectiva sistémica.

La metodología propuesta busca ser una herramienta para la toma de decisiones de tipo estratégico y táctico, con el fin de mejorar la coordinación y supervisión entre las actividades y la asignación de recursos mediante la revisión de políticas de dirección de y gestión de proyectos.

**Palabras claves:** Gestión de Proyectos, Dinámica de Sistemas, Modelos, Proyectos Exploratorios, Planeación.

## ABSTRACT

Project Management, since its beginning, has been carried out by means of the application of PMI Methodology and their knowledge areas assisting the most important aspects in any type of projects.

This research presents the Systems Dynamics as a complementary tool for the traditional approach used in project management, by demonstrating its applicability by means of the validation in the exploratory wells projects area in Oil Company.

By using the outlined methodology, it integrates tools as project management, logistics, systems dynamics and activities characteristic of projects exploratory wells management in the petroleum industry. Initially it carries out an integral analysis of the activities during the execution of the project through the logistical cycle, in those that, for each activity, the controllable and not controllable variables, the renewable and nonrenewable resources and their interactions are analyzed from a systemic perspective.

The methodology proposed looks for to be a tool for the decisions making in strategic and tactical area, with the purpose of improving the coordination and supervision between the activities and the allocation of resource by means of the revision of political of address and project management.

**Keywords:** Project management, Systems Dynamics, Models, Exploratory Projects, Gliding.

## 1. INTRODUCCION

El gerenciamiento de proyectos en la industria petrolera define de manera organizada y secuencial la estructura analítica y los procesos necesarios para la eficiente planeación y gestión de los proyectos de pozos exploratorios utilizando los conceptos del PMBoK con el fin de garantizar la correcta implementación de las actividades del proyecto<sup>1</sup>. Este enfoque tradicional para el gerenciamiento de proyectos se basa en un conjunto de técnicas y procedimientos que se proponen ayudar al gerente a definir y dirigir el trabajo del proyecto.

El ideal de este enfoque se basa en la metodología de sistemas, el cual considera que la administración del proyecto se basa en un proceso de control dinámico que toma lugar dentro del sistema del proyecto e interactúa con el medio ambiente externo. Este sistema comprende la organización funcional, y un subsistema de materiales, equipos y facilidades, integrado a la estructura analítica del proyecto o WBS y a la estructura organizacional u OBS<sup>2</sup>.

Muchos factores se consideran hacen fracasar el proyecto, con frecuencia atribuidos a fuerzas externas. Sin embargo, la causa real puede ser una mala administración. Estos factores críticos han sido clasificados y agrupados en las siguientes categorías: definición del proyecto; planeación; plan de diseño y tecnología; factores socio-políticos; duración del itinerario; urgencia del itinerario; finanzas; acuerdos legales; contratación; implementación del proyecto; y factores humanos. Un análisis más detallado de este estudio revela que la mayoría de los factores relacionados a temas estratégicos de administración de proyectos no se encuentran explícitamente direccionados por las herramientas y técnicas del enfoque tradicional de administración de proyectos<sup>3</sup>.

El enfoque de dinámica de sistemas se basa en un punto de vista holístico del proceso de administración del proyecto y se enfoca en procesos de retroalimentación dentro del sistema del proyecto. Este complejo sistema social comprende los elementos organizacionales, los elementos del trabajo del proyecto y los elementos del medio ambiente. La dinámica de sistemas provee un riguroso método para describir, explorar y analizar tales sistemas complejos<sup>4</sup>.

Respondiendo a esta problemática se presenta una metodología de diseño y gestión de planeación logística que articula la gestión de proyectos y la dinámica de sistemas, con el fin de soportar el proceso de toma de decisiones en un análisis

---

<sup>1</sup> Gerenciamiento de Proyectos Exploratorios, Empresa Petrolera, documento confidencial, 2008.

<sup>2</sup> Rodrigues, A. "The role of system dynamics in project management: A comparative analysis with traditional models", Proc 1994 Int Sys Dyn Soc Lincon MA, USA (1994), 214-225.

<sup>3</sup> Ibid.

<sup>4</sup> Rodrigues, A y Bowers, J. "The role of system dynamics in Project management", International Journal of Project Management Vol. 14, No. 4, pp. 213-220, 1996.

integral en el gerenciamiento de proyectos de pozos exploratorios. Este modelo busca generar elementos para mejorar la coordinación de actividades, la correcta asignación de recursos y de esta manera impactar en el monitoreo y control del proyecto, convirtiéndose en la hipótesis del trabajo.

## **1.1 Objetivo General**

Este trabajo tiene como objetivo general, desarrollar una metodología para el diseño y gestión de operaciones del área logística en pozos exploratorios tipo on-shore basada en la aplicación de la dinámica de sistemas.

## **1.2 Objetivos Específicos**

Para atender a los objetivos, este trabajo presenta la creación de un modelo dinámico aplicado a la gestión de proyectos de pozos exploratorios, con el establecimiento de los siguientes objetivos específicos:

- Identificar el sistema central y de apoyo de las operaciones logísticas de pozos exploratorios on-shore.
- Determinar las variables que impactan con mayor importancia en el comportamiento de los sistemas identificados.
- Identificar las relaciones existentes entre las variables y el sistema central y de apoyo.
- Desarrollar el modelo preliminar de planeación del área logística que describa el comportamiento del sistema.
- Determinar los puntos en los cuales se debe intervenir el sistema, con el fin de lograr un mayor impacto en los indicadores del proyecto con una menor inversión de recursos.
- Determinar la aplicación del modelo en un pozo exploratorio, con base en la planeación logística y al comportamiento del sistema previamente simulado en un proyecto específico.

### 1.3 Contextualización del trabajo

Dado el grado de exigencia de sostenibilidad del negocio en el tiempo, la legislación de los diferentes países y la legislación internacional en algunos casos, (p.ej. Protocolo de Kyoto, Protocolo de Río), las diferentes compañías petroleras han optado por la integración; casos como Exxon-Mobil y Chevron-Texaco, donde su modelo es el de empresas integradas de energía, ven más allá de la simple aplicación del petróleo como combustible y experimentan con fuentes alternativas de energía, como el caso del Biocombustible, la Energía Eólica, el Hidrógeno, entre otras.

Por lo anterior, la planeación logística juega un papel importante en la industria, por lo que se hace necesario observar su aplicación en los diferentes segmentos del Upstream, el cual se enfoca en la Exploración y Producción de hidrocarburos. Por otro lado, y dada la complejidad y alto grado de riesgo que representan los proyectos en la industria petrolera (o empresas integradas de energía), la misma industria ha tendido a la estandarización en el uso de lenguajes y programas con los que quiere que sus proyectos sean analizados, administrados y ejecutados, como la utilización de metodologías para el manejo de proyectos.

Por lo tanto, en el área de Exploración y Producción, la planeación se desarrolla desde el momento en el que se inicia un proyecto exploratorio, donde el objetivo principal de la exploración, es obtener información relevante para el descubrimiento a través de estudios sísmicos. Sin embargo, los procesos relacionados con la perforación se enfocan en el apoyo logístico que se debe dar a la operación, lo cual comprende actividades tales como: topografía, estudios de suelos e ingeniería, construcción y materiales, y apoyo durante las fases preliminares, de construcción, de perforación y de abandono, mediante una eficiente gestión de recursos necesarios para la operación.

Por lo anterior, el presente trabajo está limitado a la operación de pozos exploratorios a partir de la oficialización de las coordenadas definitivas de ubicación del pozo hasta la finalización de la perforación que incluye la desmovilización del taladro, enmarcado en el desarrollo de un modelo de planeación del área logística con el fin de optimizar las operaciones para un pozo exploratorio mediante la aplicación de la técnica de dinámica de sistemas.

Lo anterior busca resolver el problema de si el modelo para el diseño y gestión de operaciones, visto desde el enfoque del ciclo logístico a través de la dinámica de sistemas, es aplicable o no al gerenciamiento de proyectos de pozos exploratorios.

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 Revisión Bibliográfica

Para la cultura occidental del siglo XIX, la preocupación por obtener una fuente de energía lumínica la llevaría a establecer las posibilidades del petróleo en este campo. Hacia mediados del siglo XIX un abogado de Nueva York, llamado George Bisell, se preguntaba si una sustancia que se conocía como “aceite mineral” que rezumaba en las colinas de Oil Creek en Pensilvania, se podría explotar en grandes cantidades como combustible para lámparas. Bisell descubre en el método de perforación para la obtención de sal la posibilidad de explotar industrialmente los pozos de petróleo y decide aplicarlo. Contrata así a E. L. Drake, para que lleve a cabo las labores de extracción en Titusville (Pensilvania); convirtiéndose así, en el primer y más reconocido perforador en la historia de la industria petrolera.

Así, el primer pozo que se perfora en un área en la que se sospecha que existe un yacimiento, se denomina “pozo exploratorio” o pozo de cateo o reconocimiento, el cual tiene un tiempo de ejecución que puede variar entre 2 y 6 meses. De acuerdo con la profundidad proyectada del pozo, las formaciones a atravesar y las condiciones del subsuelo, se selecciona el equipo de perforación más adecuado.

El aprendizaje de estos proyectos ha dado como resultado la evolución de metodologías que ayudan a las compañías a optimizar y dirigir el uso de los recursos para la operación, facilitando además el comportamiento de estos entre las del mismo tipo, significando un ahorro importante en costos de operación, a través de la aplicación de herramientas de planeación para pozos exploratorios.

En la revisión de antecedentes de esta investigación se encontraron propuestas metodológicas que combinan de manera parcial los fundamentos conceptuales aplicados en la metodología de gestión de proyectos. Los primeros modelos fueron desarrollados para examinar la dinámica de la investigación y los proyectos de desarrollo. De igual manera, otros estudios examinaron áreas de aplicación especializada tales como la administración de proyectos de desarrollo de software con un enfoque integrado<sup>5</sup>. Estos estudios introdujeron los conceptos de progreso planeado y real, direccionando el hecho de que las decisiones gerenciales se basan en la percepción del estado del proyecto, las cuales pueden diferir de acuerdo a la realidad.

---

<sup>5</sup> Rodrigues, A y Bowers J. “The role of system dynamics in project management”, *International Journal of Project Management* Vol. 14, No. 4, pp. 213-220, 1996.

### 2.1.1 Aplicaciones en Gerencia de Proyectos

Rodrigues y Bowers plantean que los modelos tradicionales apoyan al gerente del proyecto en los problemas operacionales dentro de los procesos; mientras que los modelos de dinámica de sistemas proveen más comprensión y entendimiento estratégico sobre la efectividad de las diferentes políticas gerenciales. Ambos enfoques consideran la gestión de proyectos como un proceso dinámico de planeación, implementación y control, como se ilustra en la figura 1; donde la planeación se preocupa por la especificación de las acciones que se tienen que desarrollar para implementar el proyecto, y el control es el proceso de evaluar el estado del proyecto y generar información para acciones correctivas.

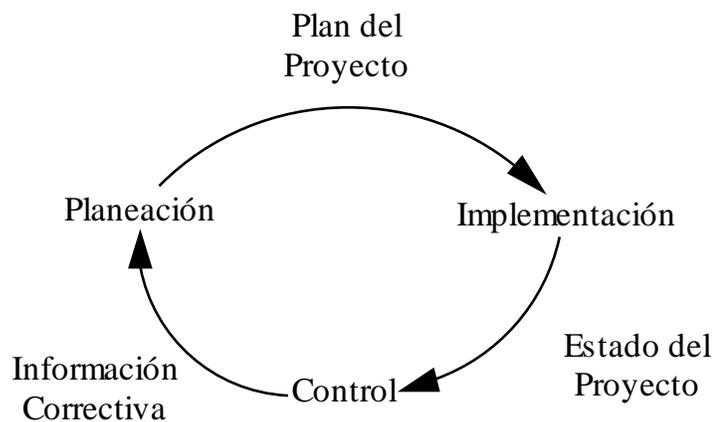


Figure 1. El Proceso Genérico de Gestión de Proyectos

El objetivo primario de un modelo de Dinámica de Sistemas es capturar todos los procesos relevantes de realimentación responsables del comportamiento del proyecto.

El proceso de gestión de proyectos se coloca en un contexto más amplio el cual incluye muchos factores blandos con frecuencia externos al trabajo del proyecto, por lo tanto, hay un fuerte enfoque en los factores humanos considerados como dominantes en las estructuras de realimentación. Esto motiva a considerar un proceso de gestión del recurso humano como se ilustra en la figura 2.

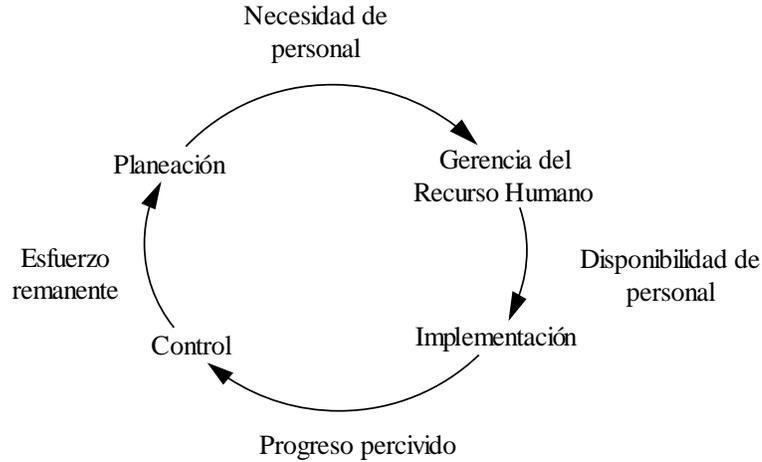


Figure 2. El proceso de gestión del Recurso Humano

El enfoque tradicional de gestión de proyectos se centra en la definición de la estructura de trabajo (WBS), actividades de programación y presupuesto, monitoreo y control, y evaluación y reporte del estatus del ciclo de vida del proyecto. En la tabla 1, se describen brevemente las herramientas y técnicas usadas en el mismo.

**Tabla 1. Visión General de las Herramientas y Técnicas de Administración de Proyectos<sup>6</sup>**

Herramientas/Técnicas	Propósito
Work Breakdown Structure (WBS)	Definición básica del trabajo del proyecto. Precede a la programación del proyecto y estimaciones de costos.
Matrices de responsabilidad	Integración de la organización del proyecto con la WBS – asignación de responsabilidades.
Gráficas de barras o gráficos de Gantt	Representación simple de la programación del proyecto. No muestra las relaciones de precedencia entre las actividades.
Técnicas de redes: PERT, CPM, PDM, GERT, y otros	Técnicas de redes para la programación de trabajo. Proporciona el análisis de los impactos de la programación que las actividades tienen sobre cada uno y la determinación de actividades críticas y tiempos flotantes. Base de la estimación de costo, administración y asignación de recursos y análisis de riesgos.

<sup>6</sup> Rodrigues, A. "The role of system dynamics in project management: A comparative analysis with traditional models", Proc 1994 Int Sys Dyn Soc Lincon MA, USA (1994), 214-225.

Programación de los costos	Identificación de los requisitos del capital para los recursos. Estimación de presupuestos reales que establezcan normas contra el cual se mida el desempeño del proyecto.
Control de proyecto: Análisis de varianza, PERT/costo, valor ganado, y otros	Evaluación del rendimiento del proyecto con la generación de indicadores. Establece la detección de excesos del proyecto y la necesidad de acciones correctivas. La WBS, diagramas de Gantt y otras técnicas de programación usualmente se incorporan en el proceso de control del proyecto.

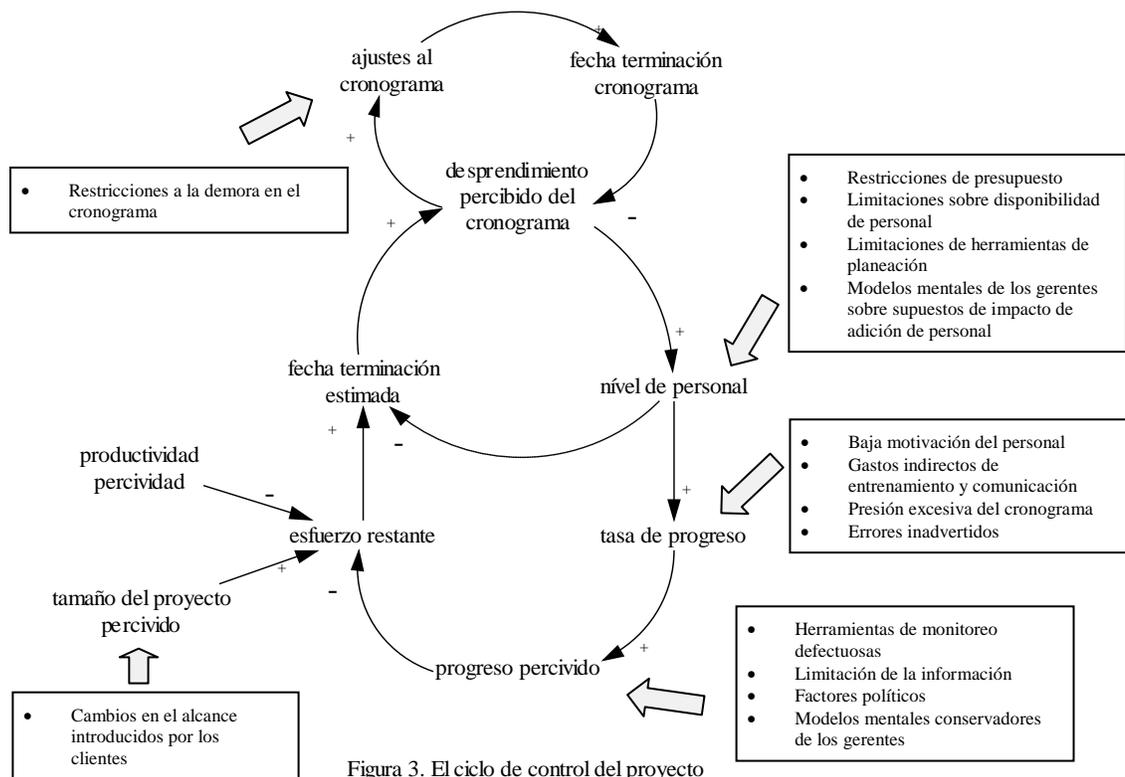
Por otro lado, para evaluar el estatus del proyecto y mantener las partes interesadas informadas, se siguen varios procedimientos tales como la recolección y comunicación de la información de la evaluación del proyecto, representaciones gráficas, reportes, observaciones y reuniones de revisión<sup>7</sup>.

Con todo y lo anterior, un proyecto es un sistema abierto de metas orientadas y como tal tiende a ser científicamente impredecible, perturbador e inestable. La complejidad de éste y de su medio ambiente ha aumentado el efecto perturbador de los factores subjetivos. El juicio personal sobre la base de la experiencia pasada ya no es suficiente para hacer frente a este problema, hay una necesidad de entender mejor las cuestiones estratégicas de gestión del proyecto y esto solo puede lograrse a través de un análisis sistemático. Mientras que las herramientas y las técnicas tradicionales no se han desarrollado con tal fin, los modelos de dinámica de sistemas reúnen todos los requisitos para ofrecer este enfoque.

El enfoque de dinámica de sistemas se basa en una visión holística del proceso de gestión de proyectos y se centra en los procesos de respuesta que tienen lugar en el sistema del proyecto. Este sistema social complejo está compuesto por los elementos organizacionales, los del proyecto del trabajo y los elementos del medio ambiente, proporcionando un método riguroso para la descripción, la exploración y el análisis de estos sistemas complejos. El enfoque ha atraído una atención particular en años recientes desde el desarrollo de software para computación, lo que ha ayudado a comunicar la clave dinámica de los sistemas a los gerentes responsables. En la figura 3, se ilustra la característica principal de un diagrama de influencia, la esencia del modelo de dinámica de sistemas<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> Nicholas, John M. "Managing Business and Engineering Projects: Concepts and Implementation". En: Prentice-Hall New Jersey. 1990. Citado por: Rodrigues Alexandre. "The role of System Dynamics in Project Management: A Comparative Analysis with Traditional Models". En: International System Dynamics Conference. 1994

<sup>8</sup> Rodrigues, A. & Bowers, J. The role of system dynamics in project management. International Journal of Project Management, 14(4); 1996. pp. 213-220



Según Rodrigues y Bowers, la aplicación de la dinámica de sistemas a la administración de proyectos ha sido motivada por varios factores, a saber:

- Un interés para considerar el proyecto en su totalidad en lugar de la suma de los elementos individuales (el enfoque holístico),
- La necesidad de examinar aspectos mayores no lineales típicamente descritos por balanceo o refuerzo de los bucles de realimentación,
- Una necesidad para un modelo de proyecto flexible el cual ofrece un laboratorio para experimentos con opciones de la gerencia, y
- La falla de las herramientas analíticas tradicionales para resolver todos los problemas de gerencia de proyectos y el deseo de experimentar con algo nuevo.

Típicamente las áreas de aplicación son aquellas donde los presupuestos son considerables y los riesgos son más altos, tales como aeroespaciales y desarrollo de software. Los primeros modelos fueron desarrollados para examinar la dinámica de los proyectos de investigación y desarrollo. Richardson and Pugh<sup>9</sup> desarrollaron el modelo de los proyectos de Investigación y Desarrollo, y varios

<sup>9</sup> Richardson, G P and Pugh, A L *Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO* MIT Press, USA (1981)

estudios investigaron los nuevos conceptos de retrabajo, retrabajo sin descubrir, progreso percibido, progreso real, productividad percibida y productividad real.

Así mismo, Rodrigues y Bowers confrontaron las características de las dos formas de abordaje y ofrecen una visión general de las áreas de aplicación de la Dinámica de Sistemas en la gestión de proyectos<sup>10</sup>. En la tabla 2 se presentan las características de los dos enfoques.

**Tabla 2. Diferencias entre el Enfoque Tradicional y la Dinámica de Sistemas**

Aspecto	Modelo Tradicional	Dinámica de Sistemas	Combinación de Dinámica de Sistemas
Foco	Estructura del trabajo del proyecto / El problema	Procesos de realimentación del proyecto / La situación	Perspectiva holística de la gestión de proyectos
Nivel de Detalles	Alto nivel de descomposición (verticalista)	Bajo nivel de descomposición (descendente)	Visión de las influencias mayoritarias en el proyecto
Factores Abordados	Factores cuantitativos, directamente ligados al trabajo del proyecto	Factores subjetivos, ligados a los procesos de realimentación	Identificación de premisas gerenciales e incorporación de factores humanos
Factor Clave	La lógica de la estructura del trabajo y sus necesidades de recursos	Procesos de realimentación	Estudio del impacto de políticas gerenciales en el resultado del proyecto
Trabajo del Proyecto	Conjunto de tareas distintas interrelacionadas entre sí	Flujo continuo de trabajo del proyecto	Visión dinámica de los procesos de trabajo del proyecto
Naturaleza de los Resultados	Previsión de un éxito planeado	Simulación, interacción continua entre la conclusión de tareas y el control gerencial	Representación explícita del comportamiento del proyecto
Objetivo Principal	Soporte a la planeación operacional y monitoreo del progreso del proyecto	Soporte estratégico de análisis de políticas, identificando las mayores tendencias del proyecto	Un laboratorio de gerenciamiento del proyecto, en que los impactos de las decisiones estratégicas y los riesgos del proyecto pueden ser estudiados

Rodrigues<sup>11</sup> planteó una metodología integral que puede ser usada por cualquier organización para desarrollar modelos de dinámica de sistemas con el propósito de soportar la gerencia de un proyecto individual. De igual manera provee bases

<sup>10</sup> Rodrigues, A. & Bowers, J. *The role of system dynamics in project management. International Journal of Project Management*, 14(4); 1996. pp. 213-220

<sup>11</sup> Rodrigues, A. *The Application of System Dynamics to Project Management: An Integrated Methodology (SYDPIM). PhD Dissertation Thesis. Department of Management Science, University of Strathclyde; 2000.*

para una integración formal cuantitativa de modelos de proyectos de dinámica de sistemas con los modelos de red tradicionales.

El marco fundamental de SYDPIM se observa en la figura 4. El proceso de implementación del proyecto comprende dos subprocesos interrelacionados: el proceso de ingeniería de desarrollo del producto técnico, y el proceso de gestión de control del proyecto. El proceso total consiste de un ciclo de control periódico, donde la gestión alterna con la implementación técnica. Se consideran dos niveles dentro del proceso de gestión: el nivel estratégico y el nivel operacional. Para que un modelo de dinámica de sistemas pueda ser aplicable dentro del marco de referencia anterior, debe tener las siguientes características<sup>12</sup>:

1. Incorporar un proceso de desarrollo de producto;
2. Incorporar un proceso de toma de decisiones de control del proyecto;
3. Considerar la desigualdad entre las percepciones gerenciales y la realidad;
4. Incorporar los factores de riesgo relevantes fuera del control gerencial, endógenos o exógenos al proyecto;
5. Incorporar los factores humanos relevantes, sin tener en cuenta su naturaleza intangible.

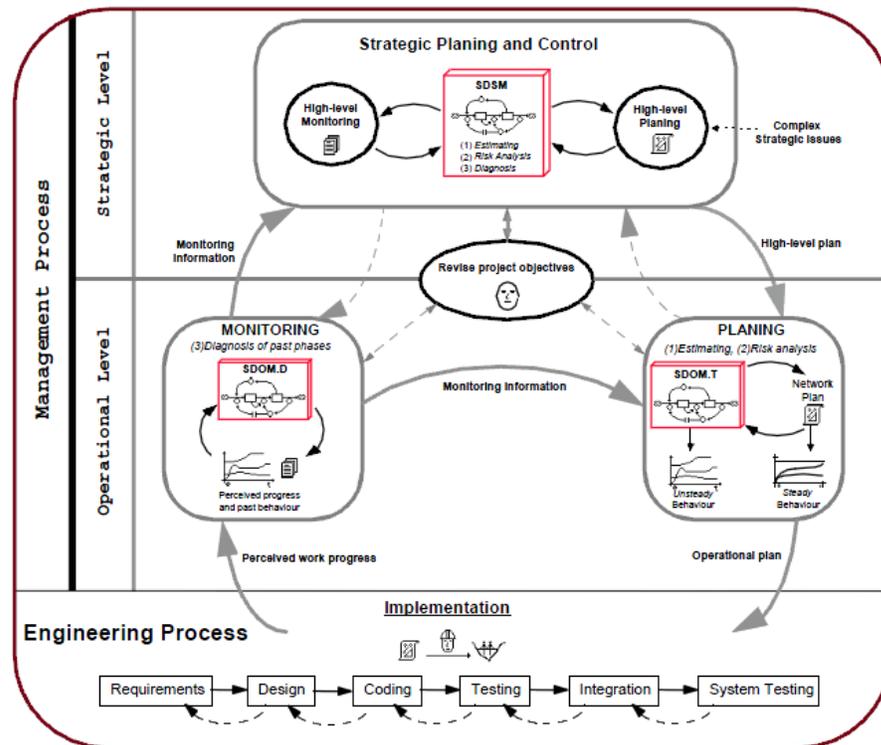


Figura 4. Visión global de la Metodología SYDPIM

<sup>12</sup> Ibid.

Por otro lado, Mancera y Rodríguez<sup>13</sup> plantearon una metodología que integra cuatro herramientas conceptuales: gerencia de los servicios, logística, gestión de proyectos y dinámica de sistemas. Esta metodología permite realizar un análisis integral de las actividades llevadas a cabo por las empresas prestadoras de servicios a través del ciclo logístico, partiendo de la comprensión del proceso de prestación del servicio como una sucesión de proyectos. La metodología desarrollada apoya la toma de decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo a fin de mejorar la coordinación entre las actividades y la asignación de recursos disminuyendo las demoras y por lo tanto mejorando la percepción del cliente acerca de la calidad del servicio.

En la figura 5 se presenta la estructura conceptual del sistema por medio de un diagrama causal que relaciona demoras, recursos y actividades.

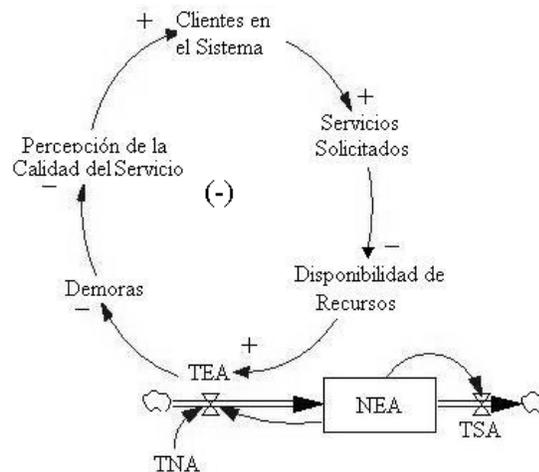


Figura 5. Análisis de la Estructura Metodología de Planeación

La validación de la metodología se llevó a cabo en una empresa prestadora del servicio de televisión por cable, donde inicialmente se analizó la misión de la empresa con el fin de identificar y clasificar los sistemas, así como las demás variables que intervinieron en el modelo. Esta validación probó que el uso de la metodología permite compensar las inversiones realizadas en nuevos recursos a través del aumento del número de operaciones realizadas al eliminar las demoras y al atraer nuevos clientes como consecuencia de la mejora de la percepción del cliente acerca de la calidad del servicio.

<sup>13</sup> MANCERA, Luz H., GONZALEZ, Leonardo, KALENATIC, Dusko y MORENO, Karol. Metodología de planeación logística basada en gestión de proyectos y dinámica de sistemas, dirigida a empresas prestadoras de servicios. Working paper. 2010

## 2.1.2 Estructura del modelo de Gestión de Proyectos

Los tipos de decisiones que se hacen en proyectos, con frecuencia se categorizan como estratégicos, tácticos u operacionales. El uso de la dinámica de sistemas en la mayoría de los casos se encuentra al final del espectro estratégico/táctico. La gestión estratégica de proyectos cubre decisiones que son llevadas a cabo en diseñar el proyecto, y luego la dirección proporciona las decisiones operacionales que consideran el impacto a largo plazo de estas decisiones sobre el desarrollo del proyecto hacia abajo<sup>14</sup>. Específicamente, la gestión estratégica del proyecto involucra:

- Diseño del proyecto.
- Determinación de indicadores para medir, monitorear y ejercer presión.
- Gestión del riesgo.
- Lecciones aprendidas de proyectos anteriores.
- Gestión del cambio.

Así mismo y con el fin de soportar la gestión estratégica del proyecto a lo largo de estas dimensiones, la dinámica de sistemas ha sido usada por varios autores de la siguiente manera específica en proyectos actuales.

### *Pre-proyecto*

- Propuesta o análisis del plan
- Análisis de la competencia
- Análisis de riesgo
- Análisis de contingencia

### *Durante el proyecto*

- Gestión de riesgos
- Gestión de cambios
- Evaluación de cambios del proceso

### *Pos-proyecto*

- Benchmarking y evaluación de mejores prácticas
- Entrenamiento y desarrollo

De acuerdo al autor, hay tres (3) estructuras importantes subyacentes a la dinámica de un proyecto<sup>15</sup>:

---

<sup>14</sup> Lyneis, James M., Cooper, Kenneth G., and Els, Sharon A., "Strategic Management of Complex Projects: A case study using System Dynamics". *System Dynamics Review* 17 (3), 2001, pp. 237 – 260

<sup>15</sup> *Ibid.*

- La estructura de ejecución del trabajo, ahora referenciado como el “ciclo de retrabajo”;
- Efectos de realimentación sobre la calidad y calidad del trabajo;
- Efectos de choque desde las fases desde arriba hacia abajo.

Por lo tanto, el ciclo de retrabajo se observa en la figura 6, desarrollado en 1980 por Cooper<sup>16</sup>.

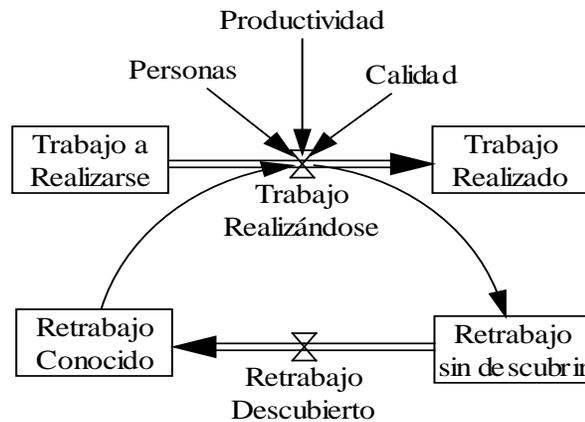


Figura 6. Estructura del Ciclo de Retrabajo

Como se observa, el ciclo consiste de cuatro flujos de trabajo. Al inicio del proyecto o fase del proyecto, todo trabajo reside en el flujo *Trabajo a Realizarse*. A medida que el proyecto progresa, los niveles de cambio del personal trabajan a tasas de variación de productividad que determinan el ritmo del *Trabajo Realizándose*. Este, inicialmente vacía el flujo del *Trabajo a Realizarse*, y más tarde el flujo del *Retrabajo Conocido*. La calidad representa la fracción del trabajo realizándose en cualquier punto en el tiempo que entrará al flujo *Trabajo Realmente Realizado* y el cual nunca necesitará rehacerse.

En conclusión, la gestión estratégica de proyectos de desarrollo complejos, incluyendo el diseño de los cronogramas y recursos del proyecto, la determinación de los sistemas de medición y recompensa, la evaluación de riesgos, y las lecciones aprendidas, se facilita ampliamente mediante el uso de modelos de dinámica de sistemas. Los proyectos de desarrollo complejos son altamente sistemas de realimentación no lineales y han demostrado extremadamente dificultad para gestionarse exitosamente usando herramientas tradicionales en solitario, por lo que la dinámica de sistemas mejora significativamente la calidad y desempeño del proyecto<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> Cooper, K. G. *Naval Ship Production: A Claim Settled and A Framework Built*. *Interfaces*, Volume 10, Number 6, 1980.

<sup>17</sup> Lyneis, James M., Cooper, Kenneth G., and Els, Sharon A., "Strategic Management of Complex Projects: A case study using System Dynamics". *System Dynamics Review* 17 (3), 2001, pp. 237 – 260

## 2.2 Gerenciamiento de Proyectos de Pozos Exploratorios

Uno de los desafíos más grandes en cualquier operación petrolera, es el suministro de los recursos necesarios para atender la operación, tales como equipos y personal. La planeación juega un papel crucial en las actividades de pozos exploratorios que se encuentran en áreas de difícil acceso, cuyo éxito es respaldar dichas operaciones. Así mismo, los costos representan un porcentaje significativo de los presupuestos de las compañías de petróleo y gas, debido precisamente a la lejanía de las ubicaciones y a la naturaleza del tiempo crítico de la actividad. En un negocio donde el costo de alquiler de un taladro varía según las dimensiones, pero que actualmente en Colombia oscila entre US\$30.000 y US\$60.000 al día, la sustitución de una pieza de repuesto simple puede convertirse en una urgencia, en donde una gestión eficiente, es una necesidad absoluta, pero si es deficiente, la urgencia representa un gasto aún mayor.

Es así como el éxito del proyecto es un factor primario para la prosperidad y sobrevivencia de las organizaciones. La creciente tasa de cambio y la complejidad de las nuevas tecnologías y mercados imponen la necesidad de respuestas rápidas y efectivas. Como consecuencia muchas organizaciones adoptan la *administración por proyectos* como un enfoque general, el cual se basa en un conjunto de técnicas y procedimientos destinados a ayudar al gerente del proyecto a definir y direccionar el trabajo.

El ideal del enfoque tradicional se basa en la metodología de sistemas que considera que la gestión de proyectos se basa en un proceso de control dinámico que lleva lugar dentro del sistema propio, e interactúa con el medio ambiente externo. El proyecto cuenta con un sistema de organización humana llamada la organización del proyecto, y un subsistema de materiales, equipos e instalaciones, que tiene como objetivo definir de forma ordenada y secuencial la estructura analítica y los procesos necesarios para permitir la eficiente planeación y gestión de proyectos de pozos exploratorios en la industria petrolera.

La misión de la Sistemática de Gerencia de Proyectos en la compañía de estudio, es establecer de forma clara, organizada y secuencial, los procedimientos y actividades a ser desarrolladas en el proceso de planeación e implementación de los proyectos de inversión de pozos exploratorios, utilizando los conceptos de PMBoK y de la metodología FEL (*Front-End Loading*) de modo que garantice la conformidad del montaje de las operaciones del pozo con las mejores prácticas del sistema y la industria.

## 2.2.1 Estructura del Proyecto de Pozo Exploratorio

A lo largo del ciclo de vida del proyecto existen varias etapas que deben ser cumplidas progresiva y sucesivamente, denominadas fases. En el ámbito de la planeación de pozos exploratorios, el proyecto está dividido de acuerdo con las siguientes fases y sus actividades<sup>18</sup>:

- *Fase de Identificación de datos*: se define el organigrama preliminar y el equipo, así como la obtención de informaciones técnicas necesarias para la generación del Proyecto Básico del Pozo en la Fase de Selección;
- *Fase de Selección (Proyecto Básico del Pozo)*: generación de alternativas fundamentadas en los datos adquiridos en la fase anterior, y la selección del proyecto básico del pozo, según los aspectos técnicos y financieros y calificando los riesgos y contingencias del proyecto;
- *Fase de Definición (Programa del Pozo)*: se elabora el programa del pozo y el AFE (Autorización para Gastar, por sus siglas en inglés), una vez identificados los riesgos y definidas las contingencias, así como realizadas las licitaciones de materiales y servicios y obtención de licencias;
- *Fase de Ejecución (Contrataciones)*: marca el fin de la fase FEL (planeación) y el inicio de las etapas de mayores compromisos para el proyecto. Se caracteriza por las contrataciones, preparación de la base de apoyo y recibimiento de materiales para iniciar la ejecución del pozo;
- *Fase de Operación y Análisis Crítico*: se ejecutan las operaciones de perforación y evaluación del pozo. Se realizan las actividades de movilización del taladro y equipo, se monitorean y archivan los datos y lecciones aprendidas de la implantación del proyecto y se realizan las actividades inherentes al cierre del proyecto.

El proyecto solamente se completa con la firma del TEP – Termino de Cierre del Proyecto, que valida la inexistencia de pendientes en el mismo.

Al final de las fases de Identificación de Datos, Selección y Definición, que constituyen la planeación del proyecto, existe un Portón de Decisión al cual están asociadas cuatro opciones:

- Proseguir – caso en el que los análisis realizados sean favorables;

---

<sup>18</sup> Gerenciamiento de Proyectos de Pozos Exploratorios, Empresa Petrolera, Documento Confidencial, 2007.

- Reciclar – caso en el que haya necesidad de estudios adicionales antes del proyecto continuar;
- Posponer – caso en el que haya cambios temporales en el ambiente del negocio, donde nuevas informaciones podrán permitir que el proyecto sea reactivado en el futuro;
- Recomendar cancelación – caso que el proyecto no sea más viable o no se alinee más con los objetivos corporativos.

En la Fase de Ejecución y la Fase de Operación y Análisis Crítico los portones consideran apenas dos opciones para el proyecto. El Portón 4 define el inicio o postergación de la Fase de Operación y Análisis Crítico, y el Portón 5 define el cierre del proyecto.

Las decisiones tomadas en cada uno de los portones de las fases de la planeación (Identificación de Datos, Selección y Definición) son subsidiadas por documentos que componen el Paquete de Soporte a la Decisión (PSD) y son presentados a los Decisores al final de cada fase por el Grupo de Soporte a la Decisión (GSD), que es un grupo de profesionales que tiene por objetivo:

- Analizar de forma integrada el proyecto en cada fase, con énfasis en los aspectos gerenciales;
- Aplicar la herramienta FEL Assessment / FEL Index;
- Validar las recomendaciones de los Grupos de Revisión (GR);
- Emitir parecer a los decisores, con base en el Paquete de Soporte a la Decisión.

Un modelo de estructura básica del proyecto de pozos exploratorios, la descripción de objetivos y una lista mínima de las actividades se presentan en la figura 7.

De acuerdo a lo anterior, este modelo se integra a través del Ciclo de Gestión de Proyectos, el cual contempla cinco macroprocesos, a saber:

- *Inicio*: comprende la constitución del proyecto y la conformación del equipo.
- *Planificación*: contempla la elaboración de los planes, cronogramas y presupuesto del proyecto y la integración de los mismos.
- *Ejecución*: se gestiona la ejecución del proyecto.
- *Control y Seguimiento*: se realiza el control del proyecto y la gestión de desvíos y de cambios de alcance.
- *Cierre*: se realiza el cierre técnico y administrativo de la etapa.

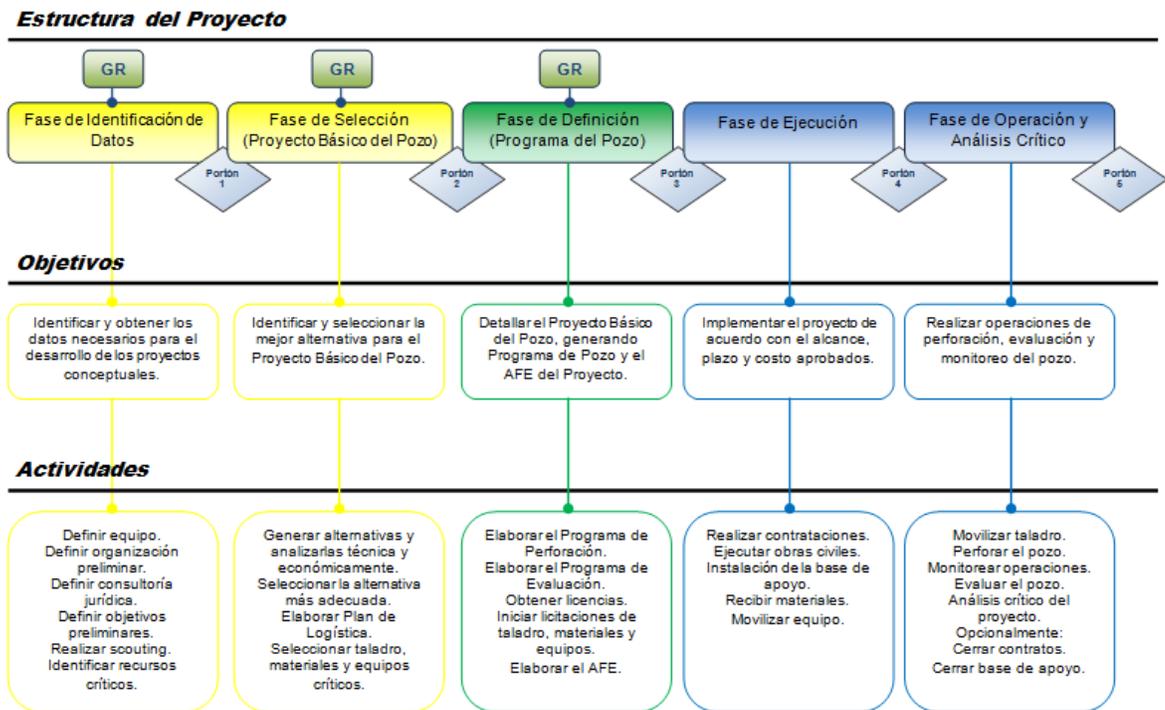


Figura 7. Estructura Básica del Proyecto de Pozos Exploratorios<sup>19</sup>.

En la figura 8, se presenta la relación de la Sistemática de Gestión de Proyectos de Pozos Exploratorios o Procesos Técnicos de Proyectos con el Ciclo de Gestión de Proyectos, siendo este último la base de la metodología.



Figura 8. Relación Macroprocesos de Proyectos de Exploración y Producción<sup>20</sup>

Por lo tanto, se establece el Ciclo de Vida del Proyecto, caracterizado por los cinco macroprocesos descritos anteriormente y los cuales se presentan en la figura 9 a lo largo del tiempo.

<sup>19</sup> Tomado de *Gerenciamiento de Proyectos de Pozos Exploratorios*, Empresa Petrolera, documento confidencial, 2007.

<sup>20</sup> Tomado de *Procesos Técnicos de Proyectos – PTP*, Empresa Petrolera, documento oficial, 2007.

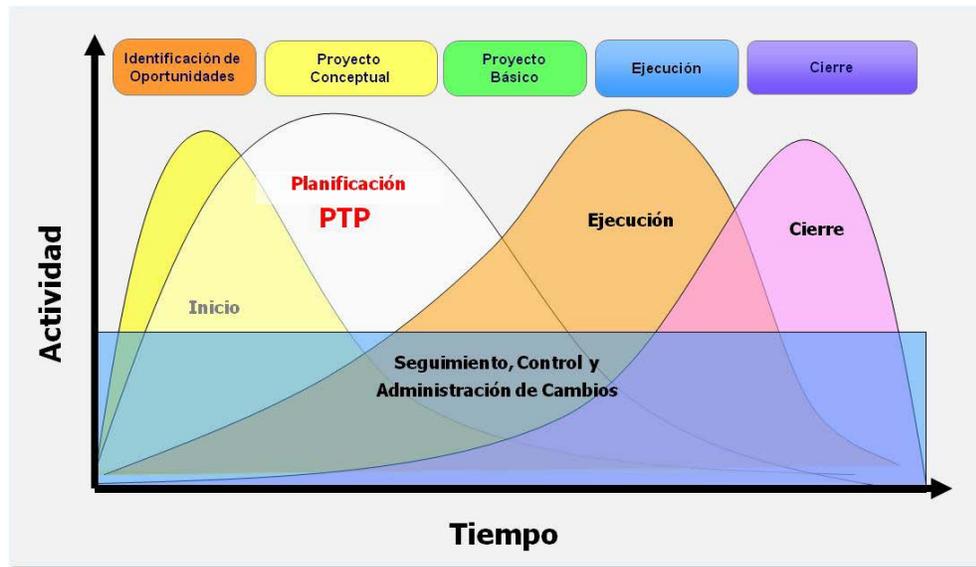


Figura 9. Ciclo de Vida del Proyecto<sup>21</sup>

### 2.2.2 Documentos Gerenciales del Proyecto

Dentro de la gestión de proyectos de pozos exploratorios se establecen documentos de tipo gerencial que deben ser elaborados durante el término de ejecución del proyecto. El coordinador del proyecto debe gestionar la elaboración de estos documentos y presentarlos a sus respectivos responsables, estos son:

1. *Término de Referencia del Proyecto – TRP (Project Charter)*: es el documento que autoriza formalmente el proyecto. El TRP debe ser elaborado antes de la Fase de Selección y aprobado por el Gerente en el nivel adecuado dentro de la estructura organizacional de la empresa. Es la base para soportar el proceso decisorio y priorizar análisis en términos de alcance, calidad, plazos y costos, entre otros.
2. *Estructura Analítica del Proyecto – EAP (WBS)*: es un diagrama que define y organiza las actividades y productos necesarios para atender los objetivos del proyecto.
3. *Cronograma de las Actividades del Proyecto*: documento que detalla las actividades del proyecto asociadas al tiempo previsto para su ejecución, con el fin de que los objetivos definidos para el proyecto sean atendidos.

<sup>21</sup> *Ibid.*

4. *Well Delivery Process*: es un esquema de presentación de las actividades del proyecto y sus interdependencias, relacionadas con el tiempo.
5. *Paquete de Soporte a la Decisión – PSD*: son los conjuntos de productos a ser revisados por los GR y evaluados por los Decisores de cada Portón.
6. *Indicadores*: herramientas que evalúan periódicamente el desempeño general, y que se usan para monitorear los resultados específicos del proyecto, como los indicadores operacionales de la perforación del pozo.
7. *Análisis Crítico*: proceso que analiza la ejecución y operación del proyecto en vista de la atención a los objetivos y planeación del proyecto, comparando lo planeado con los resultados obtenidos en los aspectos de costo y tiempo.
8. *Termino de Cierre del Proyecto – TEP*: es el documento que cierra formalmente el proyecto. El TEP debe ser completado al final de la Fase 5, Operación y Análisis Crítico, y aprobado por el Gerente en el nivel adecuado dentro de la estructura organizacional de la empresa.

De esta manera, se establece la metodología de gestión de proyectos o sistemática utilizada para las operaciones de pozos exploratorios, basada en los conceptos de la guía dada por el PMI en el PMBoK, por parte de la empresa en estudio.

### **2.3 Sistema logístico**

Se define como sistema logístico al conjunto de sistemas de apoyo que interactúan entre sí con los sistemas centrales y con el entorno de la organización, con el fin de apoyar las operaciones y generar ventaja por medio de intercambios de materia, energía e información que se realizaran entre estos en los ámbitos interno, local, regional o global, a lo largo del ciclo logístico<sup>22</sup>.

El sistema logístico objeto de este estudio, está conformado por sistemas de apoyo que pertenecen a una misma organización o estructura, lo que permite tener un mayor control sobre las actividades a desarrollar durante los distintos procesos de la gestión de proyectos para pozos exploratorios y permitiendo la optimización de recursos críticos utilizados durante la operación de perforación.

---

<sup>22</sup> Kalenatic, D., González, L., López, C. y Arias, L. *El sistema de gestión tecnológica como parte del sistema logístico en la era del conocimiento. Cuadernos de administración, Bogotá (Colombia), 22 (39): 257-286, julio-diciembre de 2009.*

### 2.3.1 Ciclo logístico

De acuerdo a la definición de sistema logístico, este desarrolla un conjunto de actividades estructurado que se conoce como ciclo logístico, definido como la forma de operar o llevar a la práctica la logística en la empresa y está compuesto por cinco niveles, a saber<sup>23</sup>:

- El primer nivel, *determinación de necesidades o requerimientos*, se define como la acción positiva y responsable de calcular y precisar las necesidades de medios logísticos (material, personal y equipos) que se requiere satisfacer para llevar a cabo una acción estratégica u operativa.
- El segundo nivel corresponde a la *obtención de los medios necesarios* para satisfacer dichos requerimientos.
- El tercer nivel, *disposición y entrega de los recursos obtenidos*, consiste en hacer llegar al cliente o sistema solicitante, el sistema, recurso, producto o servicio requerido en el lugar adecuado, en las cantidades precisas, en el momento oportuno, con la calidad requerida y a un precio justo.
- En cuarto lugar se encuentra el *mantenimiento*, que consiste en garantizar la continuidad del bien, servicio o sistema integrado, realizando para esto las acciones pertinentes.
- Por último, los cuatro niveles anteriores, orientados hacia la misma dirección, la del cliente o sistema solicitante, se complementan con la *logística inversa*, encargada de determinar y operar los medios para regresar al sistema y sus procesos, los subproductos, los medios de manejo o las salidas no deseadas generadas por el sistema central y los sistemas de apoyo.

Cada uno de estos sistemas desarrolla una serie de actividades coordinadas, las cuales se identifican utilizando Work Breakdown Structure (WBS) o Estructura Analítica del Proyecto (EAP). Cada una de las actividades requiere para su ejecución recursos renovables y no renovables, para lo cual se analiza la EAP para su identificación. La ejecución de las actividades resultado de la WBS se ve afectada por variables controlables y no controlables, las primeras pueden ser manipuladas por quien toma las decisiones, mientras que las segundas no están sujetas al control de la administración; para la identificación de las mismas se realiza un análisis a cada una de las fases del proyecto a través de la sistemática utilizada por la industria petrolera.

---

<sup>23</sup> *Ibid.*

### **3. METODOLOGÍA DE PLANEACIÓN DINÁMICA**

La metodología de planeación de proyectos para pozos exploratorios se basa en la aplicación de las herramientas descritas en el Capítulo 2. Esta metodología es llevada al contexto de la labor realizada por el área de Soporte Técnico Operacional de la empresa objeto del presente estudio y compuesta por catorce actividades macro, descritas a continuación:

1. Definición de Coordenadas
2. Trámite Gestión Ambiental
3. Contratación Logística
4. Negociación de Tierras
5. Estudios Preliminares (Topografía, Suelos, Ingeniería)
6. Plan de Manejo Ambiental - PMA
7. Diseño y Programa de Pozo
8. Contratación Perforación
9. Contratación Obras Civiles
10. Ejecución Obras Civiles
11. Movilización Equipos y Materiales
12. Mantenimiento Vías y Localización
13. Ejecución Perforación
14. Desmovilización Equipos y Materiales

De acuerdo a la contextualización del trabajo y desde el punto de vista metodológico, el proyecto se analizará a partir de la definición de las coordenadas hasta la perforación final del pozo, lo que involucra la participación de varias áreas en los cinco grupos de procesos descritos por el PMI, los cuales son: Iniciación, Planificación, Ejecución, Monitoreo y Control, y Cierre.

#### **3.1 Análisis conceptual del sistema**

La metodología de planeación propuesta está conformada por cuatro fases: caracterización del sistema, análisis de la estructura, simulación y revisión de políticas. Cada fase integra conceptos propios de la gestión de proyectos de pozos exploratorios, la dinámica de sistemas y la planeación del área de soporte técnico en el desarrollo de los proyectos, los cuales se presentan a continuación con una breve descripción.

La primera fase, caracterización del sistema, identifica y clasifica los sistemas que conforman el proyecto a partir de la definición de ciclo logístico. Así mismo, se identifican las actividades llevadas a cabo en cada sistema y los recursos asociados a las mismas. En la realización de esta fase, se establece el sistema de

gestión del proyecto, conformado por un conjunto de sistemas de apoyo que comprenden el sistema logístico<sup>24</sup>.

La segunda fase, análisis de la estructura, se realiza usando dinámica de sistemas, cuyo objetivo es llegar a comprender como funciona el sistema y cuál es su comportamiento; lo cual genera un marco favorable para la determinación de acciones que puedan mejorar el funcionamiento del sistema. La dinámica de sistemas trabaja sobre procesos realimentados que presentan demoras, analizándolas a través de la construcción de modelos en los que se identifican elementos y relaciones causales de los mismos<sup>25</sup>.

La tercera fase, simulación, integra la dinámica de sistemas, el ciclo logístico y la programación de proyectos, mediante el uso de un modelo dinámico que identifica las demoras, originadas por la asignación inadecuada de políticas.

La última fase, validación y revisión de políticas, aplica la metodología integral y dinámica en lo referente a la gestión de proyectos a partir de los resultados obtenidos, ya que utiliza de manera cíclica las salidas de la simulación para establecer prioridades en la aplicación de políticas, con el fin de mejorar paulatinamente la coordinación de las actividades del sistema de gestión de proyectos de pozos exploratorios, generando escenarios que disminuyen progresivamente las demoras en la operación, impactando así de manera positiva la percepción del cliente acerca de los cumplimientos en los plazos enmarcados dentro del contrato de Exploración & Producción (E&P) suscrito con la Agencia Nacional de Hidrocarburos.

---

<sup>24</sup> Feres, Sahid. *Logística pura: más allá de un proceso logístico*. Bogotá, Corporación John F. Kennedy, 2000.

<sup>25</sup> Sterman, John D. *Business Dynamics "Systems Thinking and Modeling for a Complex World"*. Mc Graw Hill, USA, 2000.

### 3.2 Metodología de Planeación Dinámica

Una vez definidas las bases conceptuales de cada una de las fases, a continuación se presenta de forma detallada la metodología propuesta y las actividades correspondientes a cada fase, de acuerdo a la figura 10.

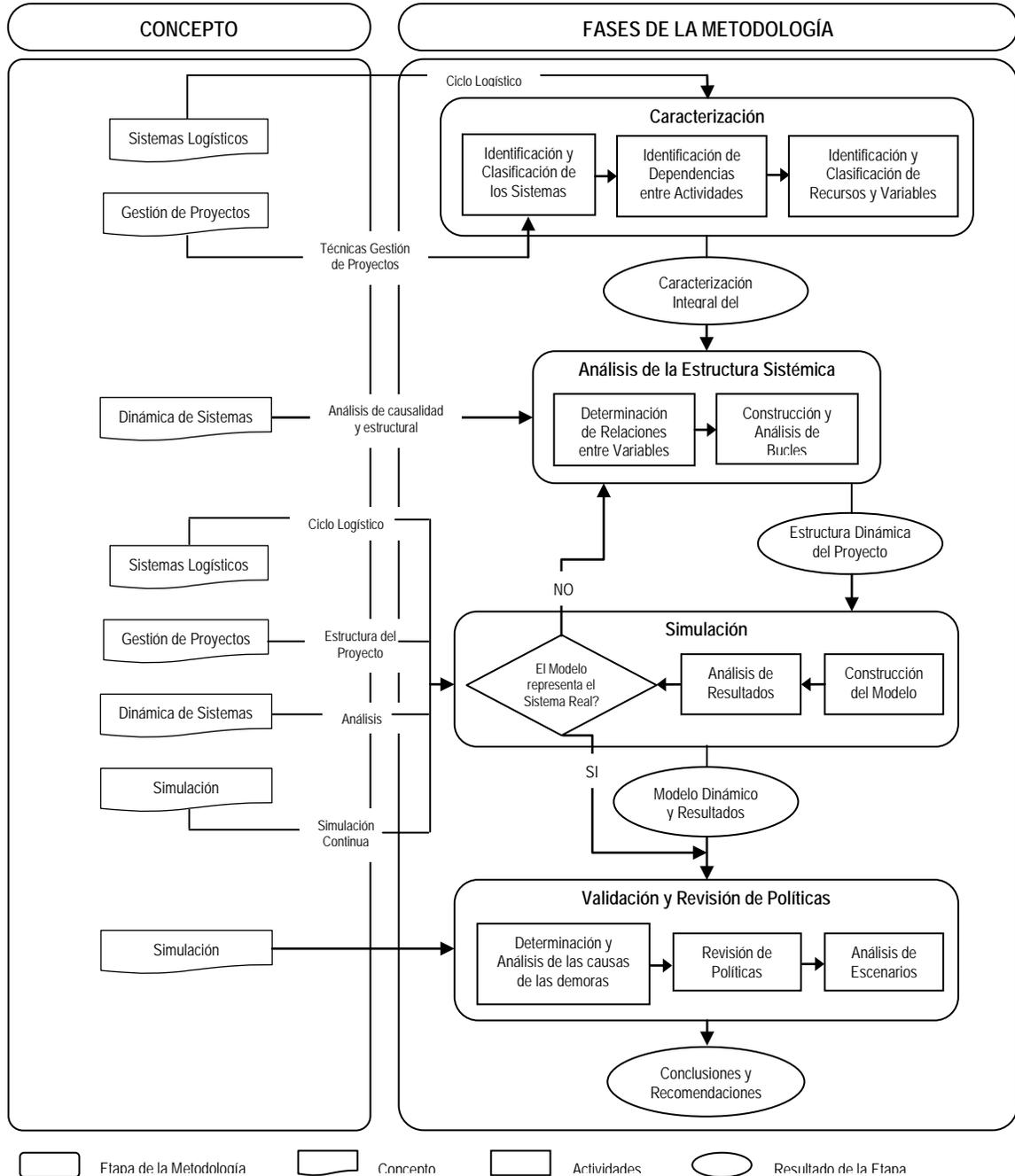


Figura 10. Metodología de Planeación Dinámica

### 3.2.1 Caracterización del Sistema

La caracterización del sistema comprende la identificación y clasificación de los sistemas, actividades, variables y recursos, siendo el punto de partida para la elaboración del modelo dinámico.

**Identificación y Clasificación de los Sistemas.** Los Contratos de Exploración y Producción de Hidrocarburos se suscriben entre la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y la empresa contratista (operadora), cuyo objeto es otorgar el derecho de explorar el Área Contratada y de explotar los Hidrocarburos propiedad del Estado que se descubran dentro de dicha Área<sup>26</sup>.

Su Alcance consiste en adelantar las actividades y operaciones en materia del contrato, a su exclusivo costo y riesgo, proporcionando todos los recursos necesarios para proyectar, preparar y llevar a cabo las actividades y operaciones de Exploración, Evaluación, Desarrollo y Producción dentro del Área Contratada.

La duración del Contrato se determina de acuerdo a los siguientes períodos:

- *Período de Exploración:* tendrá una duración de seis (6) años a partir de la Fecha Efectiva y se divide en seis Fases, que se describen en la tabla 3. La primera fase del Período de Exploración comienza en la Fecha Efectiva, y las siguientes fases el Día calendario inmediatamente siguiente a la terminación de la fase que la precede:

**Tabla 3. Programa Exploratorio Mínimo**

Fase	Duración	Actividades Exploratorias
Fase 1	18 meses	Adquisición, Procesamiento e Interpretación de Sísmica Perforación de un (1) Pozo Exploratorio
Fase 2	12 meses cada una	Perforación de un (1) Pozo Exploratorio por fase
Fase 3		
Fase 4		
Fase 5		
Fase 6	6 meses	Perforación de un (1) Pozo Exploratorio

- *Período de Explotación:* se predica separadamente respecto de cada Área de Explotación. Tendrá una duración de veinticuatro (24) años contados a partir de la fecha en la que la ANH reciba de El Contratista la Declaración de Comercialidad.

<sup>26</sup> ANH, Contrato Exploración y Producción de Hidrocarburos, documento confidencial, 2008.

El presente trabajo se centrará en la Fase 1 del Período de Exploración, entre la definición de coordenadas como resultado de la interpretación sísmica, hasta la culminación de la perforación del pozo; esta información es detallada en el Enunciado del Alcance del Proyecto, que define el proyecto: el trabajo que debe realizarse y los entregables que deben producirse.

La Fase 1 del Contrato tiene como objetivo principal iniciar los estudios de Exploración y Evaluación del Área Contratada, permitiendo obtener información que confirme la presencia de hidrocarburos. El Alcance está determinado por:

1. Adquisición, Procesamiento e Interpretación de la Sísmica adquirida.
2. Adecuación de las vías de acceso y localizaciones para los trabajos de perforación.
3. Un pozo perforado, registrado y revestido sin completar y probar.
4. Área de vías y localizaciones re-establecida con paz y salvos de propietarios, comunidades y autoridades cuando estos no sean parte del Abandono.

Por lo anterior, en la figura 11 se presenta la Estructura Organizacional definida para la Fase 1.

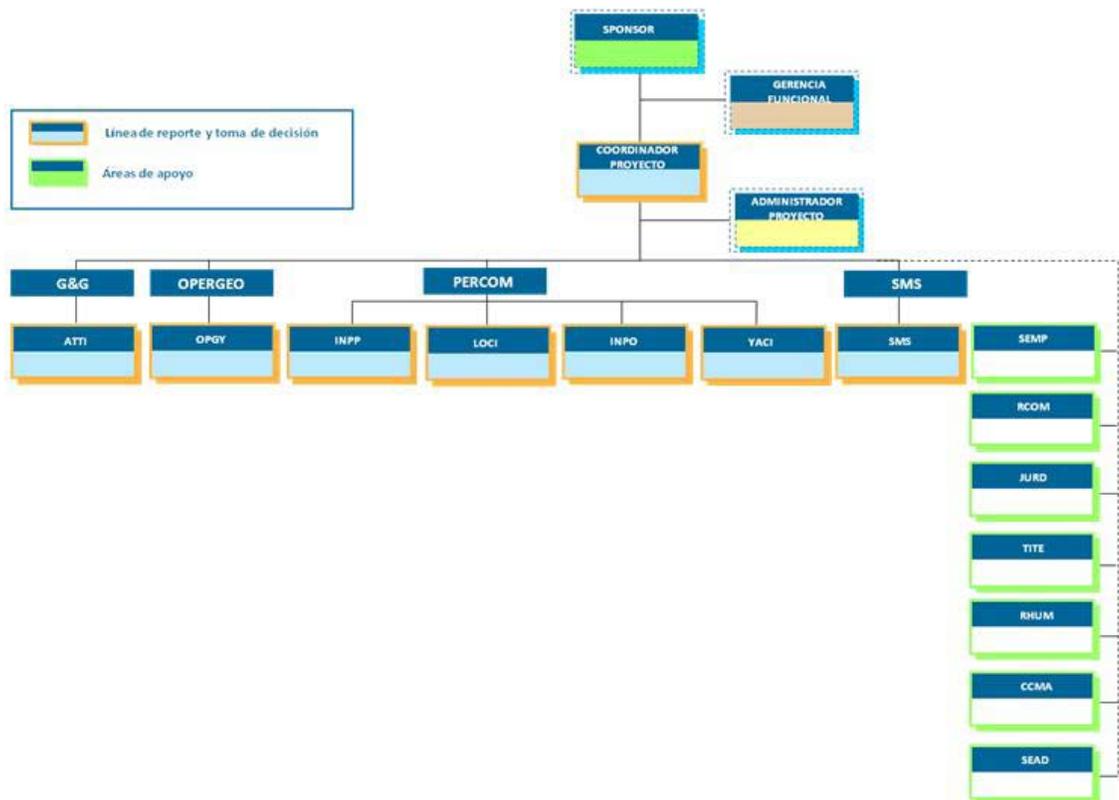


Figura 11. Estructura Organizacional del Proyecto (OBS)<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Tomado de Enunciado del Alcance del Proyecto, documento confidencial, 2008.

Con base en la contextualización del proyecto, éste se centrará en el desarrollo de las operaciones de perforación, la cual inicia a partir del pronunciamiento de las coordenadas definitivas de la ubicación del pozo a perforar. Las etapas previas estarán sujetas a otros estudios no previstos en este documento, debido a que involucran actividades relacionadas con el proceso de sísmica.

De esta manera, en la figura 12, se presenta el cronograma de actividades que deben llevarse a cabo para el desarrollo del proyecto.

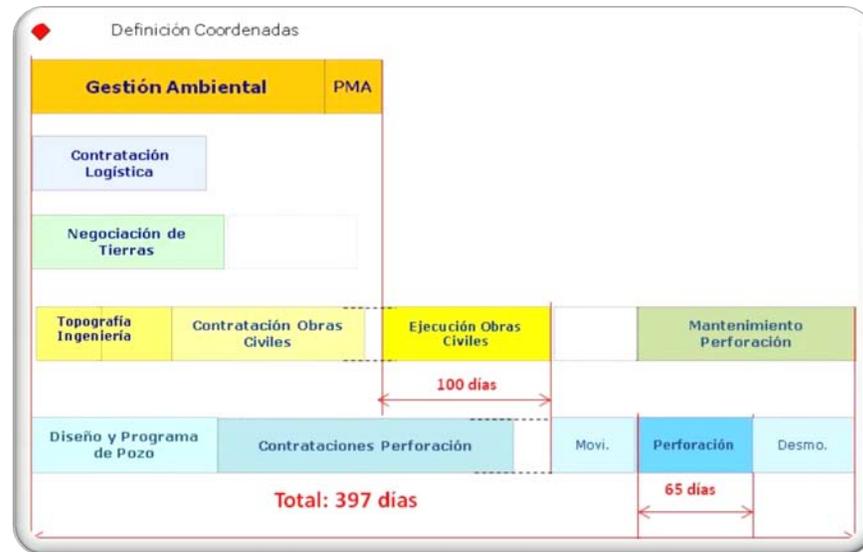


Figura 12. Cronograma de Actividades del Proyecto<sup>28</sup>

Con base en lo anterior, el Sistema Logístico está compuesto por la participación de las distintas áreas que intervienen en este proceso, entre las que se encuentran las siguientes: ATTI (Activos Tierra), SMS (Seguridad, Medio Ambiente y Salud), JURD (Jurídica), LOCI (Logística y Obras Civiles), INPP (Perforación) y CCMA (Compras y Contratos), donde se define el área de Perforación como el sistema central, y las demás áreas, como sistemas de apoyo.

**Identificación de Dependencias entre Actividades.** Al identificar el sistema del proyecto de pozo exploratorio en su Fase 1 de acuerdo a la contextualización del trabajo, este debe realizar catorce actividades fundamentales detalladas a continuación y las cuales se denotaran con letras mayúsculas de aquí en adelante:

- A. *Definición de Coordenadas.* Esta información es suministrada por el área de Exploración y obtenida a través del procesamiento e interpretación de la sísmica adquirida, la cual se convierte en el punto de partida de los trabajos a realizar para la perforación dentro del área contratada.

<sup>28</sup> Tomado de Seguimiento Gestión del Proyecto, documento confidencial, 2009.

- B. *Trámite Gestión Ambiental*. Con las coordenadas definidas, se procede a realizar el trámite de la Licencia Ambiental, documento oficial y obligatorio otorgado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), donde se establecen los requisitos y condiciones de operación dentro del área señalada por medio del Estudio de Impacto Ambiental (EIA).
- C. Con el fin de proveer los recursos necesarios, se procede con la *Contratación Logística*, es decir, los servicios que se requerirán para el normal desarrollo de la operación, como son la seguridad, el alojamiento, la base de apoyo, el transporte y las comunicaciones. Estos servicios deberán estar en el momento de que se dé inicio a la ejecución de las obras civiles.
- D. A partir de la definición de las coordenadas del pozo a perforar, el área Jurídica comienza su proceso de *Negociación de Tierras* con propietarios de acuerdo al sitio donde se haya establecido o área de influencia directa del proyecto. Esta actividad permite tener el permiso para realizar las operaciones correspondientes a la actividad de obras y civiles y perforación.
- E. *Estudios Preliminares (Topografía, Suelos, Ingeniería)*. El objetivo de esta actividad es establecer las condiciones necesarias del terreno para la adecuación y/o construcción de vías y localización que se requieren para el desarrollo de la actividad de perforación. Por lo tanto, esta información será clave en el proceso de contratación, debido a que se dan las condiciones técnicas para que los proponentes de obras civiles presenten sus ofertas.
- F. Una vez aprobada es aprobada la Licencia, y de acuerdo a las coordenadas del pozo y estudios preliminares, se procede a la elaboración del *Plan de Manejo Ambiental – PMA*, documento que tiene como objetivo establecer, de manera detallada, las acciones que se implementarán para prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos y efectos ambientales negativos que se causen por el desarrollo del proyecto.
- G. El área de Perforación, con las coordenadas definidas, establece el *Diseño y Programa de Pozo*, siendo el responsable por el diseño del pozo, la selección del equipo de perforación y los contratistas de servicios, así como del plan de seguimiento y control de las operaciones durante la actividad de perforación.
- H. La actividad de *Contratación de Perforación* comprende el proceso de licitación de los servicios requeridos para la actividad de perforación, entre los que se cuentan el taladro, la cementación, el tratamiento de residuos, entre otros.
- I. Al igual que la actividad anterior, la *Contratación de Obras Civiles*, comprende el proceso de licitación con base en los estudios preliminares, donde

participan entre tres y seis proponentes para el servicio de construcción y mantenimiento de vías, requeridos para llevar a cabo la perforación.

- J. El proceso de adecuación de vías existentes, obras geotécnicas, eléctricas y de los típicos constructivos de la vía y la localización, así como los sistemas de aspersión y captación, le corresponde a la actividad de *Ejecución de Obras Civiles*, que como producto entrega las facilidades para dar inicio a la movilización de los equipos y posteriormente la perforación.
- K. Una vez se termina la actividad de contratación de los servicios de perforación y la ejecución de las obras civiles, el contratista ganador inicia la *Movilización de los Equipos y Materiales* requeridos para la actividad de perforación. Así mismo se proveen los materiales tales como tuberías por parte del área logística.
- L. Una vez termina la ejecución de las obras civiles y la movilización, comienza la actividad de *Mantenimiento de Vías y Localización*, considerada como apoyo a la perforación, cuyo principal objetivo es el de mantener en condiciones de operación los accesos y el lugar donde se instalará el taladro de perforación. De igual manera, en esta etapa se atienden las necesidades o requerimientos que puedan surgir por parte del sistema central.
- M. Terminada la movilización de los equipos y la instalación de los mismos, se da inicio a la *Ejecución de la Perforación*, cuyo principal objetivo se centra en taladrar a una profundidad determinada con el fin de encontrar presencia de hidrocarburos basadas en el diseño del pozo que se efectuó en la actividad de elaboración del proyecto de perforación.
- N. Teniendo en cuenta que uno de los objetivos de la Fase 1 es tener un pozo perforado, una vez finaliza la actividad de perforación, el equipo debe ser desarmado; por lo tanto, comienza la actividad de *Desmovilización de los Equipos y Materiales* por parte del contratista, para de esta forma proceder a dejar restablecido el terreno donde se realizó la operación.

De acuerdo a lo anterior, se establece la WBS – *Work Breakdown Structure* para el proyecto, donde cada paquete de trabajo se identifica como la actividad que debe llevar a cabo el sistema central y los sistemas de apoyo, con base en el Ciclo Logístico. En la figura 13, se representa la WBS del proyecto, a partir del cronograma del proyecto y mediante la utilización de la herramienta WBS Chart Pro, con el fin de ilustrar la estructura del proyecto.

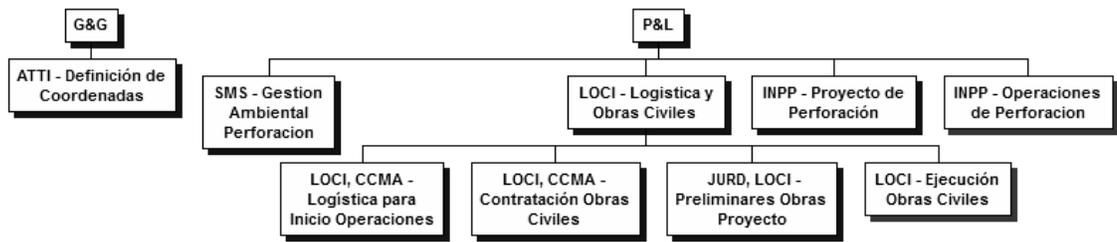


Figura 13. WBS Proyecto

Al observar la estructura de la WBS, se visualizan ocho de las catorce actividades relacionadas; las seis actividades restantes se encuentran distribuidas en uno de los paquetes de trabajo de acuerdo a la figura 10. Por lo anterior, en la tabla 4, se resumen las actividades, la duración y sus precedencias (la duración total del proyecto es de 397 días, de acuerdo a la figura 12):

**Tabla 4. Resumen de Actividades con base en la WBS**

Código	Descripción Actividad	Duración (días)	Precedencia
A	ATTI – Definición de Coordenadas	45	
B	SMS – Gestión Ambiental Perforación	119	A
C	LOCI, CCMA – Logística para Inicio Operaciones	90	A
D	JURD, LOCI – Preliminares Obras Proyecto	90	A
E		75	C, D
F		60	B, E
G	INPP – Proyecto de Perforación	130	A
H		120	G
I	LOCI, CCMA – Contratación Obras Civiles	120	D, E
J	LOCI – Ejecución Obras Civiles	100	F, I
L		95	J, K
K	INPP – Operaciones de Perforación	30	H, J
M		65	K
N		30	M

Por lo tanto, de acuerdo a la definición de Ciclo Logístico y Ciclo de Vida del Proyecto, y con base en la investigación realizada, en la tabla 5 se presenta la relación existente de las actividades del proyecto, resultado que permite visualizar el sistema en estos dos aspectos.

**Tabla 5. Relación de Actividades entre Ciclo Logístico y Ciclo de Vida del Proyecto<sup>29</sup>**

Ciclo Logístico	Ciclo Gestión de Proyectos de Pozos Exploratorios				
ETAPA	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	FASE 5
	Inicio	Planificación	Ejecución	Seguimiento y Control	Cierre
Determinación de Necesidades	A, B	G		Nota: Sistema que no involucra actividades y se realiza durante todo el Ciclo de Gestión del Proyecto	
Consecución de Recursos	D	C, E, F, H, I			
Entrega de Recursos			J, K, M		
Mantenimiento de Recursos			L		
Logística Inversa					N

Teniendo en cuenta lo anterior, la misión del Ciclo de Gestión de Proyectos de Pozos Exploratorios en la Fase de estudio de este trabajo, es la de perforar un pozo para verificar la presencia de hidrocarburos, lo que se analiza a través del Ciclo Logístico al desarrollar las 14 actividades del proyecto en mención. De esta manera, a continuación se detalla la asociación existente entre las actividades del proyecto y el ciclo logístico, de acuerdo al análisis realizado.

*Nivel 1.* Determinación de necesidades: en el Ciclo de Gestión del Proyecto la primera etapa del ciclo logístico está compuesta de tres actividades: (A) definición de coordenadas, (B) tramite gestión ambiental y (G) diseño y programa de pozo. Estos elementos permiten identificar las necesidades para la operación del sistema central y los sistemas de apoyo, lo que se traduce posteriormente en las vías de acceso y localización para la perforación.

En esta etapa se determinan las condiciones que deberán tener las vías y localización, así como la operación de perforación y todos los recursos que se requieren para este proceso, incluyendo factores técnicos, económicos, sociales y organizacionales.

*Nivel 2.* Consecución de recursos: esta etapa del ciclo logístico contempla las siguientes actividades: (C) contratación logística, (D) negociación de tierras, (E) estudios preliminares, (F) elaboración del Plan de Manejo Ambiental, (I) contratación de obras civiles y (H) contratación de perforación. En esta etapa se busca obtener los servicios que requiere la compañía para desarrollar sus actividades y las condiciones con que deben operar.

<sup>29</sup> Elaboración propia con base en la definición de Ciclo Logístico (Feres, Sahid)

*Nivel 3.* Disposición y entrega de los recursos: en este punto se contemplan las siguientes actividades: (J) ejecución de obras civiles, (K) movilización de equipos y materiales y (M) ejecución de la perforación. El objetivo es proveer los recursos para la construcción y puesta en marcha de las operaciones que llevarán a obtener información de presencia de hidrocarburos en la zona de interés, con altos estándares de seguridad, medio ambiente y salud y de acuerdo a las especificaciones técnicas y requerimientos de los contratos.

En esta etapa se contempla entregar las vías de acceso para la movilización del personal y de los diferentes equipos y materiales requeridos para la operación, así como la localización donde se instalará el equipo de perforación.

*Nivel 4.* Mantenimiento del bien o recurso obtenido: esta etapa del ciclo logístico está relacionada con la actividad de (L) mantenimiento de vías y localización, cuyo fin es preservar las condiciones del terreno producto de la etapa anterior y de esta manera, garantizar que la operación se desarrolle en condiciones normales. Esta etapa cubre las necesidades del sistema central, contando con los recursos necesarios para su normal desarrollo.

*Nivel 5.* Logística inversa: en esta última parte del ciclo logístico se contempla la actividad de (N) desmovilización de equipos y materiales. Una vez terminadas las anteriores actividades, se procede al desarme del equipo de perforación, así como a la devolución de los materiales sobrantes a la bodega central. Por ende, el terreno se debe dejar en las mejores condiciones en las cuales se recibió inicialmente y que no causen un deterioro ambiental.

De igual manera, esta actividad se ocupa de la disposición de los residuos generados durante la operación de perforación y que el contratista deberá tener en cuenta para la entrega del terreno y con base en la información recolectada en la etapa de perforación, dejar las condiciones para pasar a la siguiente fase del proyecto.

Lo que se busca con la metodología es establecer la relación y correspondencia existente entre la teoría y el modelo de planeación propuesto, donde el ciclo logístico representa el punto de partida para realizar el análisis de la estructura de la gestión de proyectos de pozos exploratorios para la industria petrolera. En la figura 14 se observa la relación que hay entre ciclo logístico y ciclo de gestión de proyectos fase 1 (objeto de estudio), descritos anteriormente.

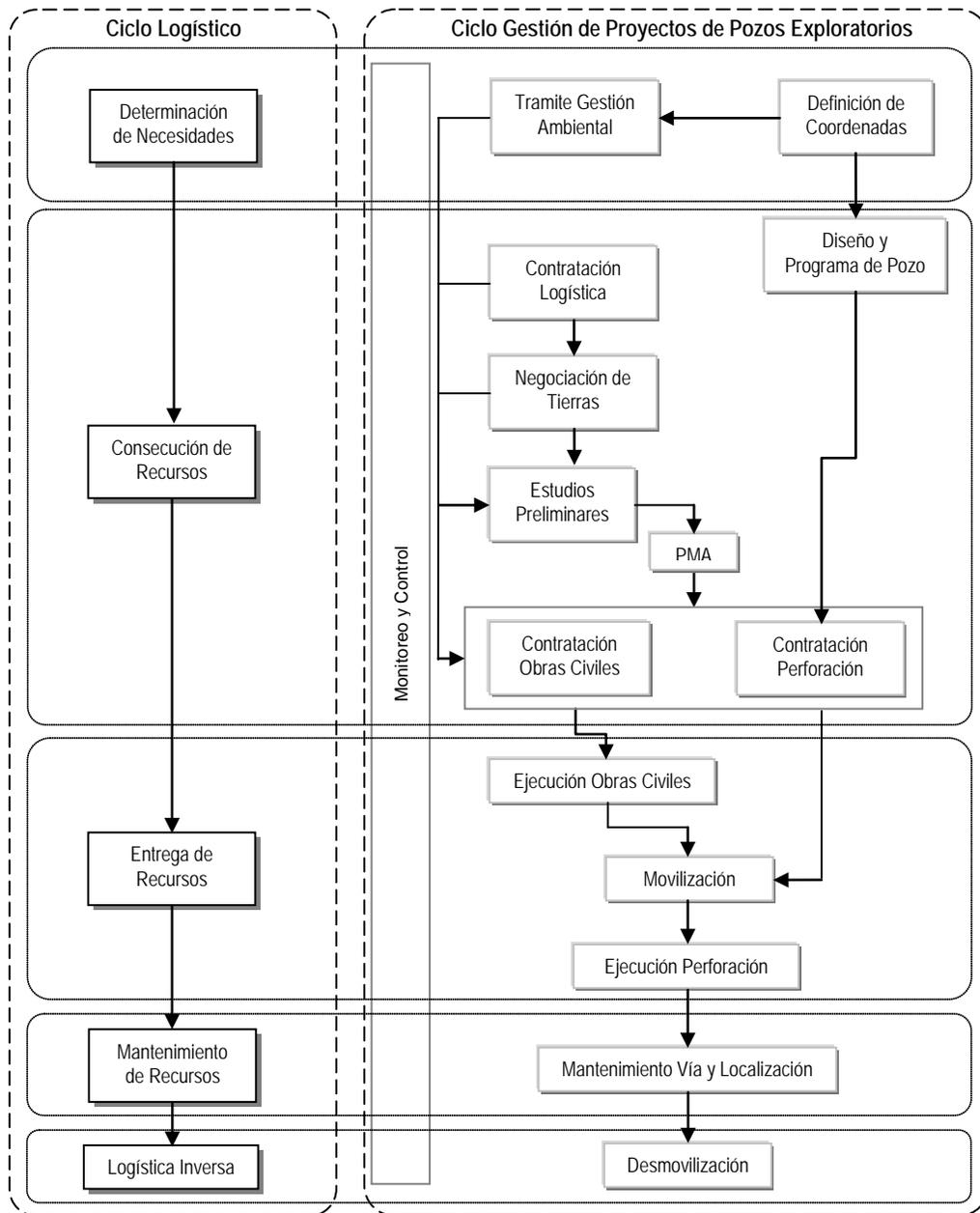


Figura 14. Relación entre Ciclo Logístico y Ciclo Gestión del Proyecto<sup>30</sup>

**Identificación y Clasificación de Recursos y Variables.** Cada una de las actividades resultado de la WBS consume para su ejecución recursos renovables y/o recursos no renovables. Así mismo, existen variables controlables y no controlables asociadas a la ejecución de la actividad que pueden afectar o no el desarrollo del proyecto. Por lo tanto, para la identificación y clasificación de los

<sup>30</sup> Elaboración propia con base en el Ciclo de Gestión del Proyecto (Industria Petrolera)

recursos y variables asociados a cada actividad, en primer lugar, se realiza una identificación de los recursos del proyecto con base en la OBS de la figura 10 que luego son categorizados y; en segundo lugar, se elabora un listado en el que se enumeran un conjunto de variables que caracterizan el sistema estudiado y su entorno, tanto interno como externo.

En la tabla 6 se identifican los recursos requeridos durante la ejecución del proyecto, los cuales son clasificados en renovables y no renovables.

**Tabla 6. Identificación de Recursos del Proyecto**

Ítem	Descripción	Recurso No Renovable	Recurso Renovable
1	Personal		X
2	Planos	X	
3	Materiales	X	
4	Equipos		X
5	Transporte		X

Por consiguiente, a continuación se realiza una breve descripción de los recursos con el fin de contextualizar la estructura dinámica del proyecto y de esta manera realizar la representación del mismo.

*Personal.* Este corresponde al personal técnico especializado en la labor de la actividad y el personal operativo quien ejecuta. Para el proyecto se contemplan: ingenieros, profesionales especializados, topógrafos, supervisores, capataces y obreros, los cuales se agrupan en personal técnico especializado y personal operativo o comisión integradora.

*Planos.* Son los documentos utilizados para representar el diseño de los estudios preliminares y que deben ser entregados para la contratación y ejecución de las obras civiles. De igual manera, representan la ubicación de los distintos puntos donde se realizarán los trabajos necesarios para todo el proyecto, los cuales se agrupan en Topografía e Ingeniería.

*Materiales.* El proyecto contempla el uso tuberías y accesorios varios, material de afirmado, y materiales varios para consumo de las áreas que lo requieran. Debido a que estos materiales son importantes, estos se clasifican en Obras Civiles y Perforación, respectivamente.

*Equipos.* Dentro de estos recursos se tienen en cuenta el uso de una TEA, una Vasija VSP, un equipo de oxicorte, una máquina de soldar y dos motobombas para el caso de las obras civiles. En el caso del sistema central, el equipo más importante es el de perforación, el cual consiste en una torre o mástil de

perforación, integrada por cuatro columnas de acero de forma rectangular, unidas lateralmente, donde se ubica la columna de perforación, accionada por motores eléctricos. Por lo tanto, se clasifican en equipos para obras civiles y equipo de perforación.

*Transporte.* Tanto el personal como los equipos requieren de vehículos para poder movilizarse. En el caso del personal se requieren vehículos tipo camioneta 4 x 4, de acuerdo a la necesidad de cada actividad. Para el caso de las obras civiles se requieren dobletroques, carrotanques, motoniveladora, retroexcavadora, vibrocompactador y volquetas. Para la movilización y desmovilización de los equipos durante la etapa de perforación se requieren tractomulas, y para la movilización del personal vehículos tipo camioneta. Por lo tanto, se clasifican en maquinaria pesada, transporte de carga y transporte de personal.

En la tabla 7 se representa la distribución de cada uno de los recursos de acuerdo al requerimiento y ejecución de cada actividad.

**Tabla 7. Distribución de Recursos en el Proyecto**

ACT	PRECED	NT	PERSONAL		PLANOS		MATERIAL		EQUIPOS		TRANSPORTE		
			COMI	ESPE	TOPO	INGE	CIVIL	PERF	CIVIL	PERF	MAQU	CARG	PERS
A		45		3									
B	A	119	1	1									1
C	A	90		1									
D	A	90	1	2		1710							1
E	C, D	75	3	3	10	1710							3
F	B, E	60		1									
G	A	130	0,5	1									
H	G	120		2									
I	D, E	120		2									
J	F, I	100	4	4			52889		2		4	2	5
K	H, J	30	2	3					1		1	8	4
L	J, K	95	1	1					2		2	1	4
M	K	65	10	25				90000	1	2	2	4	6
N	M	30	2	3					1		1	8	3

Por otro lado, teniendo en cuenta el desarrollo de las actividades, en la tabla 8 se presentan las variables del proyecto, analizadas de acuerdo a la afectación que pueden tener frente a la ejecución del proyecto.

**Tabla 8. Identificación de Variables No Controlables del Proyecto**

Ítem	Descripción
1	Predios negociados
2	Aprobación salir a licitar, Ministerio
3	Clima
4	Fallas en los equipos
5	Fallas en los vehículos de carga

A continuación se realiza una breve descripción de las variables a tratar:

*Predios negociados.* El éxito de la etapa de ejecución de obras civiles y perforación, dependen de que todos los predios sobre los cuales va a tener incidencia el proyecto del pozo exploratorio, se encuentren negociados, por lo que la probabilidad de ocurrencia no es tan alta, por el proceso previo realizado durante la sísmica, dándose casos aislados que no representan más del 8%.

*Aprobación salir a licitar, Ministerio.* Esta variable afecta las actividades de contratación de perforación y de obras civiles. Debido al monto que se maneja, estas deben ir a Casa Matriz para cumplir con la aprobación. El resultado será el que se apruebe o no el proceso y así dar continuidad o no a la siguiente actividad. Por otro lado, para la elaboración del PMA se requiere la aprobación por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, por lo que si este no es aprobado, la ejecución del proyecto puede estar retrasándose.

*Clima.* Esta variable afecta las actividades que implican ejecución de estudios preliminares, obras civiles, movilización, mantenimiento y desmovilización. Se pueden presentar lluvias fuertes, intensas, aisladas o no llover, teniendo cada una su probabilidad de ocurrencia, de acuerdo a los registros durante el desarrollo de las actividades.

*Fallas en los equipos.* De acuerdo a la programación y planeación de actividades, los equipos tienen una confiabilidad del 95%, razón por la cual, el porcentaje de fallas no representa un porcentaje alto por los niveles de mantenimiento que se manejan. En este caso, los eventos relacionados con esta variable son que el equipo falle o no falle para el caso de la maquinaria. En el caso del equipo de perforación se determina el tiempo no productivo del taladro (NPT, por sus siglas en inglés), ocasionado por fallas en los componentes del equipo, que de acuerdo a estadísticas corresponde a un 20% del tiempo de los equipos de perforación.

*Fallas en los vehículos de carga.* Para la movilización y desmovilización de los equipos se requieren tractomulas que de acuerdo a las estadísticas, tienen una confiabilidad del 95%, debido a que cuentan con un plan de mantenimiento

preventivo que asegura que no fallen mientras se encuentran en servicio durante un período determinado.

En la tabla 9 se presenta la relación de variables y su respectivo análisis de probabilidades de acuerdo al estudio realizado en el proyecto.

**Tabla 9. Distribución de Variables en el Proyecto**

ACT	PREC	DESCRIPCIÓN	VARIABLES NO CONTROLABLES	EVENTO	PROBABILIDAD	IMPACTO
A		Definición de Coordenadas				
B	A	Tramite Gestión Ambiental				
C	A	Contratación Logística				
D	A	Negociación de Tierras	Predios Negociados	Todos No Todos	0,92 0,08	No afecta (1) Renegociación (0,30)
E	C, D	Estudios Preliminares	Clima	Lluvias Fuertes Lluvias Intensas Lluvias Aisladas No Lluve	0,13 0,05 0,11 0,71	Detiene (0,00) Media marcha (0,30) Moderado (0,80) No detiene (1)
F	B, E	PMA	Aprobación del Ministerio	Si No	0,95 0,05	No Detiene (1) Revisión (0,30)
G	A	Diseño y Programa de Pozo				
H	G	Contratación Perforación	Aprobación salir a licitar	Si No	0,95 0,05	No Detiene (1) Revisión (0,03)
I	D, E	Contratación Obras Civiles	Aprobación salir a licitar	Si No	0,95 0,05	No Detiene (1) Revisión (0,03)
J	F, I	Ejecución Obras Civiles	Clima  Fallas en la maquinaria	Lluvias Fuertes Lluvias Intensas Lluvias Aisladas No Lluve  Falla No Falla	0,13 0,05 0,11 0,71  0,05 0,95	Detiene (0,00) Media marcha (0,30) Moderado (0,80) No detiene (1)  Detiene (0,03) No Detiene (1)

K	H, J	Movilización Equipos y Materiales	Clima Fallas en los vehículos de carga	Lluvias Fuertes Lluvias Intensas Lluvias Aisladas No Lluve  Falla No Falla	0,13 0,05 0,11 0,71  0,05 0,95	Detiene (0,00) Media marcha (0,30) Moderado (0,80) No detiene (1)  Detiene (0,03) No Detiene (1)
L	J, K	Mantenimiento	Clima Fallas en la maquinaria	Lluvias Fuertes Lluvias Intensas Lluvias Aisladas No Lluve  Falla No Falla	0,13 0,05 0,11 0,71  0,05 0,95	Detiene (0,00) Media marcha (0,30) Moderado (0,80) No detiene (1)  Detiene (0,03) No Detiene (1)
M	K	Ejecución Perforación	Fallas en el equipo de perforación	Falla No Falla	0,20 0,80	No productivo (0,8) Productivo (1)
N	M	Desmovilización Equipos y Materiales	Clima Fallas en los vehículos de carga	Lluvias Fuertes Lluvias Intensas Lluvias Aisladas No Lluve  Falla No Falla	0,13 0,05 0,11 0,71  0,05 0,95	Detiene (0,00) Media marcha (0,30) Moderado (0,80) No detiene (1)  Detiene (0,03) No Detiene (1)

### 3.2.2 Análisis de la Estructura Sistémica

El objetivo de esta etapa es comprender el comportamiento del sistema, para lo cual se determinan las relaciones existentes entre las variables a través de diagramas causales y se identifican los bucles de realimentación.

La figura 15 muestra la estructura conceptual del sistema de gestión de proyectos, por medio de un diagrama causal que relaciona las actividades relacionadas entre sí (actividades A, B, C y D).

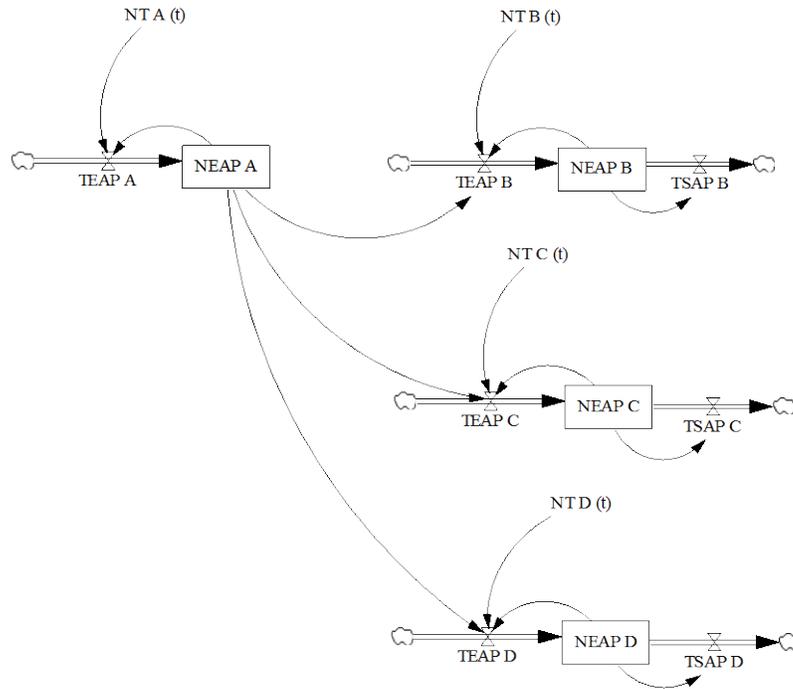


Figura 15. Análisis de la Estructura del Proyecto

### 3.2.3 Simulación

En esta etapa de la metodología se construye un modelo dinámico que representa la gestión de proyectos<sup>31</sup>. Esta construcción se realiza a partir del análisis causal de la estructura realizado en la etapa anterior, complementado con la caracterización integral y dinámica del proyecto resultado de la etapa 1.

Por lo tanto, para la construcción del modelo dinámico, las actividades son representadas por variables de nivel, las cuales se definen como el porcentaje de ejecución de la actividad y se encuentran en función de la tasa de ejecución y salida de la misma, de acuerdo a la ecuación (1).

$$NEA_k = NEA_j + (TEA_{jk} - TSA_{jk}) * \partial t \quad (1)$$

Donde:

$NEA_k$ : Nivel de ejecución de la actividad A en el momento k

<sup>31</sup> L. González, D. Kalenatic, C. López. Metodología para elaborar modelos dinámicos de redes CPM y PERT. Working Paper, 2006.

$TEA_{jk}$  : Tasa de ejecución de la actividad A del momento j al momento k

$TSA_{jk}$  : Tasa de salida de la actividad A del momento j al momento k

$\partial t$  : Tiempo

j y k: Momentos en el tiempo  $k > j$

La tasa de ejecución de la actividad se define en términos porcentuales y depende de la norma técnica de la actividad, la cual es la duración estándar para la ejecución de la actividad (2).

$$TEA_{JK} = 100 / NTA \quad (2)$$

Donde:

$NTA$  = Norma Técnica de la actividad.

Las actividades de la gestión de proyectos se ejecutan de tal manera que una vez terminada una, da paso a la otra actividad, existiendo una relación de precedencia en la ejecución de las actividades.

Por otro lado, la representación de las variables no controlables dependen de una función de probabilidad y pueden ser binarias (toman un valor de 0 si no ocurre el evento ó de 1 si ocurre el evento) y multiplican la Tasa de Ejecución de la Actividad relacionada, de tal manera que detienen o permiten la ejecución de la actividad. En otros casos las variables no controlables no detienen la ejecución de la actividad, en su lugar modifican la cantidad de recurso requerido para su ejecución, aumentando o disminuyendo la Norma Técnica de Ejecución de la Actividad (NTE). En estos casos la NTE deja de ser una constante y se convierte en una variable dependiente de las variables no controlables.

Así mismo, cada actividad requiere de una cantidad de recurso renovable y/o no renovable para su ejecución, los cuales se representan por medio de variables auxiliares y variables de nivel dependiendo del recurso. De esta manera se hace la representación de la tasa de utilización del personal especializado, en la cual se destaca la Norma Técnica (NT) y la Tasa de Ejecución de la Actividad (TEA), cuya representación particular para la actividad D, Negociación de Tierras, está dada por:

$NT = 2$

$TEA_D = IF THEN ELSE(NEGOCIACION DE TIERRAS < 100 : AND : DEFINICION DE COORDENADAS >= 100, IF THEN ELSE(100 - NEGOCIACION DE TIERRAS < (100 / "NTE D - NORMA TECNICA DE EJECUCION DE LA ACTIVIDAD D") * "ENT D - EJECUCION DE LA NORMA TECNICA DE LA ACTIVIDAD D", 100 - NEGOCIACION DE TIERRAS, (100 / "NTE D - NORMA TECNICA DE EJECUCION DE LA ACTIVIDAD D") * "ENT D - EJECUCION DE LA NORMA TECNICA DE LA ACTIVIDAD D"), 0)$

De esta manera, se establecen las mismas ecuaciones para las otras actividades y que se evidencian en la representación de la figura 16.

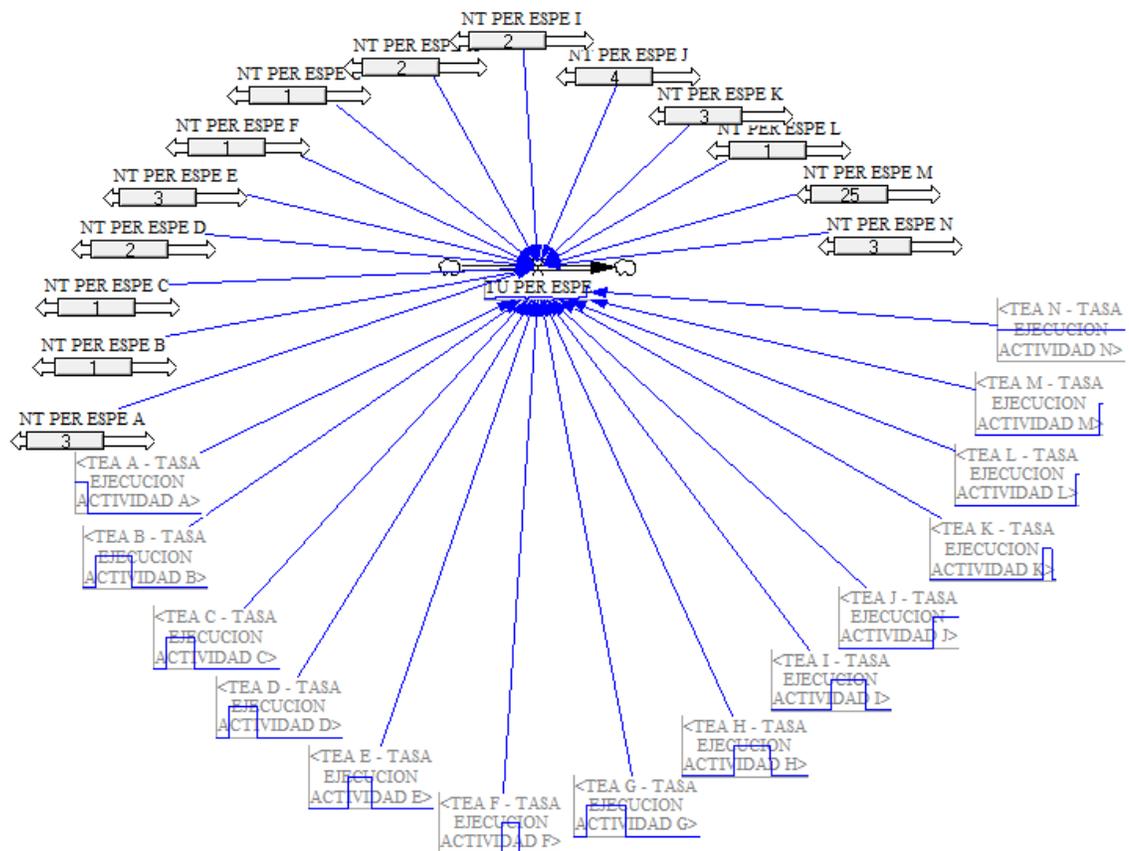


Figura 16. Tasa de Ejecución del Personal Especializado

Esta misma representación es realizada para los demás recursos identificados en la tabla 7.

### 3.2.4 Revisión de Políticas

La última etapa de la metodología de planeación propuesta es la revisión de políticas. La ejecución óptima del proyecto muestra una relación y dependencia entre las actividades que deben ser ejecutadas para la prestación del servicio. Esta relación de dependencia exige una correcta interacción entre la información y la ejecución de las actividades debido a que estos factores pueden generar demoras en las actividades posteriores, prologando el tiempo de ejecución de la actividad y/o del proyecto.

Por lo tanto, es necesario realizar un análisis del sistema a través de la simulación que permita identificar las actividades en las que se presentan demoras y las causas de las mismas. El análisis de los resultados arrojados por la simulación permite establecer prioridades para la revisión de políticas con base en las demoras de cada actividad.

Estas políticas de revisión están determinadas por la toma de decisiones de tipo estratégico que se deben dar para la aprobación de un proceso. Con base en lo anterior, la figura 17 representa el impacto que genera el tema de las aprobaciones tanto a nivel local, como internacional.

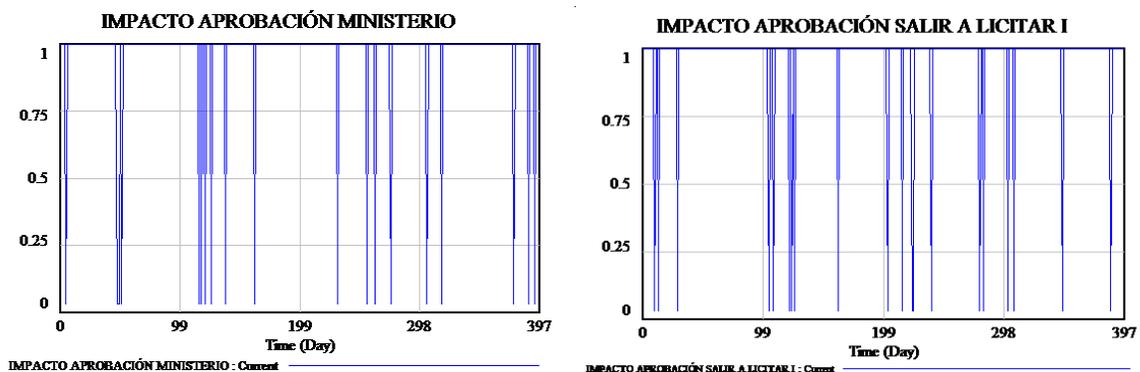


Figura 17. Impacto de las aprobaciones en el Proyecto

Lo anterior, lleva a replantear la política de solicitud de aprobación ante los entes externos, de manera que las actividades que se requieran, sean llevadas adecuadamente durante la planeación del proyecto y no consuman recursos que pueden generar sobrecostos en el proyecto. Por lo tanto, el proceso de gestión es un factor importante para la toma de decisiones que se enmarca dentro del contexto de la industria petrolera, donde las actividades se requieren con bastante anticipación.

Por otro lado, la validación de políticas nuevas estará sujeta a los planes estratégicos de la empresa, donde se revisen los aspectos más críticos, que de acuerdo al desarrollo de la metodología planteada para el diseño y gestión de proyectos, se enmarca dentro de un plano sistémico.

## 4. VALIDACIÓN Y RESULTADOS

La validación de la metodología propuesta se llevó a cabo en una empresa del sector petrolero, donde se tomó la gestión de proyectos de pozos exploratorios como el proceso donde se determina la existencia o no de hidrocarburos. Se definió el área de perforación como el sistema central, y las áreas de SMS, JURD, LOCI y ATTI como sistemas de apoyo, posteriormente se identificaron 14 actividades pertenecientes a cada uno de estos sistemas y se clasificaron en cada uno de los niveles del ciclo logístico.

Conjuntamente se establecieron los recursos necesarios para la ejecución de cada una de las actividades, así como la secuencia en que deben llevarse a cabo. De igual manera se identificaron las variables que afectan la ejecución del proyecto, con sus respectivas probabilidades, obtenidas con base en el registro llevado de la operación y gestión del proyecto en la industria petrolera.

Como se planteó en un capítulo anterior, la gestión de proyectos en la industria petrolera ha tomado fuerza en los últimos años, debido a que las empresas han visto en ella una herramienta o metodología que permite llevar adecuadamente las tareas o actividades de sus proyectos. Con base en esto y en la caracterización del proyecto, se integraron variables y recursos que determinan la capacidad para tomar decisiones de manera acertada.

Con base en la simulación efectuada, la figura 18 representa la tasa de utilización del recurso transporte para personal, donde se evidencia la utilización acelerada, siendo necesario revisar los recursos disponibles.

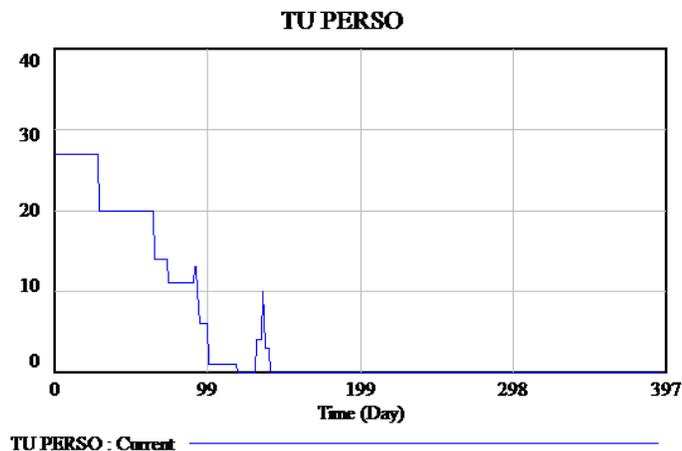


Figura 18. Tasa de utilización del recurso transporte

El modelo desarrollado fue simulado para el período de duración del proyecto, con todos sus recursos y actividades programadas. Los resultados arrojados por la simulación muestran que es necesario revisar la asignación de recursos debido a que se están consumiendo a una alta tasa y el presupuesto estimado no es lo suficiente para atender el costo del proyecto como se observa en la figura 19.

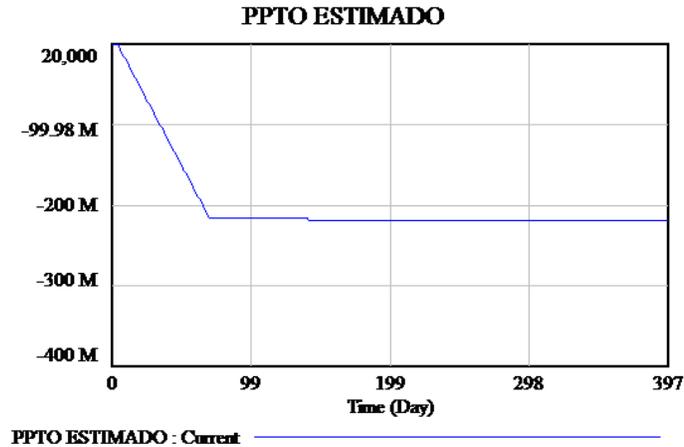


Figura 19. Presupuesto Estimado

Debido a que los proyectos de pozos exploratorios implican inversiones costosas, es fundamental que la etapa de planeación sea detalladamente discutida por el equipo de trabajo, porque las altas sumas de dinero que se requieren hacen que los proyectos se realicen bajo otras condiciones. En la figura 20 se presenta la tasa de ejecución del presupuesto de acuerdo a los recursos planteados.

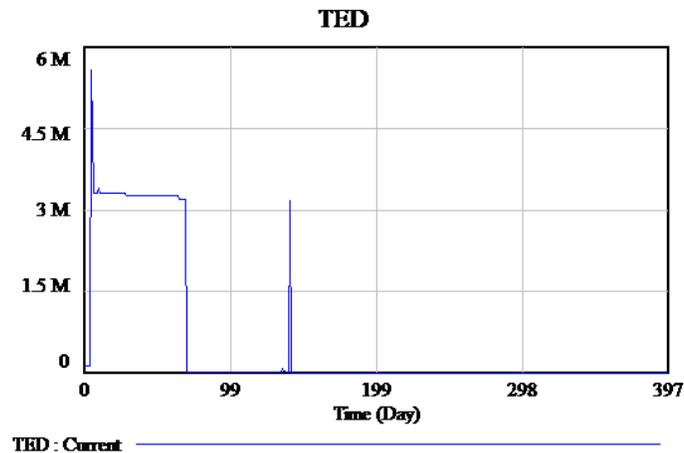


Figura 20. Tasa de ejecución del presupuesto

## 5. CONCLUSIONES

Con base en la validación del proyecto, la integración de la metodología de gestión de proyectos y la dinámica de sistemas se convierten en una alternativa útil para realizar un análisis sistémico del proceso de gerenciamiento de proyectos de pozos exploratorios y de esta manera tomar decisiones a nivel estratégico y táctico.

Al validar la herramienta, el comportamiento presentado por el sistema es muy similar al que se plantea en la práctica, puesto que en él se observan los recursos y la disponibilidad que se tienen de los mismos y sobre los cuales se plantean políticas de optimización, con el fin de cumplir el alcance, tiempo y costo del proyecto y con calidad razonable.

La dinámica de sistemas es una herramienta que brinda análisis en diferentes escenarios que pueden acontecer en el sistema estudiado. Por lo tanto, el modelo de simulación empleado en este trabajo representó tendencias próximas a las del comportamiento del sistema real, donde es importante tener en cuenta los siguientes aspectos en relación a la ejecución del proyecto:

- Para una correcta ejecución, el proceso de planeación debe realizarse antes de la definición de coordenadas, de tal manera que asegure la consecución de recursos de manera anticipada.
- La disponibilidad de recursos es un factor determinante para el cumplimiento de las tareas, por lo que se hace necesario revisar esta política con el fin de optimizar los aspectos más importantes durante el proceso de ejecución.
- El seguimiento y control a la ejecución del proyecto representa la acción más eficaz en la revisión de políticas que se establecen a lo largo de las actividades descritas y en aquellas que son críticas para el proyecto, por lo que la dinámica de sistemas se convierte en una herramienta que mira el todo y de esta manera es posible la toma de decisiones acertadas, en comparación con la utilización de la herramienta tradicional utilizada para la gestión de proyectos, MS Project.
- Los presupuestos deben ser realizados en conjunto con el equipo del proyecto, por lo tanto, deben establecerse rutinas que evalúen la disponibilidad de presupuesto para cada actividad y que se realicen revisiones sistemáticas que detecten posibles necesidades o desvíos.

- Debido a la retroalimentación que genera el uso de la dinámica de sistemas, se puede observar la influencia de cada variable a través de la ejecución del proyecto, bondad que se resalta en comparación con el uso del MS Project.

Por otro lado, el Ciclo Logístico juega un papel importante en la gestión del proyecto, debido a que con la aplicación de sus cinco niveles, se pueden establecer mejor los requerimientos para cada área y cada actividad. En el presente trabajo, esta aplicación fue de gran apoyo para la elaboración de la metodología, puesto que permitió establecer relaciones entre el ciclo logístico y la gestión de proyectos, siendo un aporte para la industria petrolera en sus actividades de planeación en proyectos de pozos exploratorios y diferenciándose de la metodología integral desarrollada por Rodrigues.

El desarrollo de la metodología determinó beneficios significativos estructurados en los aspectos de planeación y monitoreo o seguimiento del proyecto, bajo un proceso marco referenciado en la que el ciclo logístico enriqueció el modelo, donde se puede ver de una manera más dinámica el mismo. Al combinar los dos conceptos establecidos de los ciclos, genera una metodología útil para realizar un análisis integral del funcionamiento de un proyecto de pozo exploratorio, permitiendo tomar decisiones estratégicas para la organización, que resultarán en optimización de procesos y costos.

## **6. RECOMENDACIONES**

Debido a la potencialidad de la metodología desarrollada, las empresas petroleras aún no presentan avances en el desarrollo de seguimiento a sus proyectos, por tal motivo se hace necesario implantar nuevas metodologías con el fin de mejorar las actividades de planeación de los proyectos que desarrollan estas empresas.

Por lo tanto, se deja abierta la posibilidad de profundizar más en el tema, debido a que este documento se enfocó de una manera sistémica con el fin de visualizar todas las actividades implicadas en la definición, construcción y perforación de pozos exploratorios, cuyo objetivo es determinar la existencia de hidrocarburos en determinada área.

Es así como se pueden establecer distintos proyectos a través de esta metodología para indagar aun más sobre aspectos, que se pueden enfocar en el aspecto operativo en un proceso determinado del ciclo de gestión de proyectos, que se puede establecer en áreas de Exploración, Producción y/o Perforación.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARACIL S., Javier. "Introducción a la Dinámica de Sistemas. Editorial Alianza, Madrid, 1986.
2. COOPER, K. G. Naval Ship Production: A Claim Settled and A Framework Built. Interfaces, Volume 10, Number 6, 1980.
3. FERES, Sahid. Logística pura: más allá de un proceso logístico. Bogotá, Corporación John F. Kennedy, 2000.
4. FORRESTER, Jay W. "Principles of Systems". Text and Workbook. MIT Press/Wright-Allen, 1968.
5. Gerenciamiento de Proyectos Exploratorios, Empresa Petrolera, documento confidencial, 2008.
6. KALENATIC, D., GONZALEZ, L., LOPEZ, C. y ARIAS, L. El sistema de gestión tecnológica como parte del sistema logístico en la era del conocimiento. Cuad. Adm. Bogotá (Colombia), 22 (39): 257-286, julio-diciembre de 2009.
7. LYNEIS, James M., COOPER, Kenneth G., and ELS, Sharon A., "Strategic Management of Complex Projects: A case study using System Dynamics". System Dynamics Review 17 (3), 2001, pp. 237 – 260.
8. MANCERA, Luz H., GONZALEZ, Leonardo, KALENATIC, Dusko y MORENO, Karol. Metodología de planeación logística basada en gestión de proyectos y dinámica de sistemas, dirigida a empresas prestadoras de servicios. Working paper. 2010.
9. NICHOLAS, John M. "Managing Business and Engineering Projects: Concepts and Implementation". En: Prentice-Hall New jersey, 1990.
10. RICHARDSON, G P and Pugh, A L Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO MIT Press, USA (1981)
11. RODRIGUES, A. The Application of System Dynamics to Project Management: An Integrated Methodology (SYDPIM). PhD Dissertation Thesis. Department of Management Science, University of Strathclyde; 2000.
12. RODRIGUES, A. "The role of system dynamics in project management: A comparative analysis with traditional models", Proc 1994 Int Sys Dyn Soc Lincon MA, USA (1994), 214-225.

13. RODRIGUES, A y BOWERS, J. "The role of system dynamics in Project management", International Journal of Project Management Vol. 14, No. 4, pp. 213-220, 1996.
14. RODRIGUES, A and WILIAMS, T. "The application of System Dynamics to Software Project Management: towards the development of a formal integrated framework. European Journal of information Systems, No. 6, pp. 51-56, 1997.
15. RODRIGUEZ, L., LOPEZ, C. y KALENATIC, D. "Modelo Integral de Producción en Empresas Manufactureras", ed. Kimpres ISBNs: 9589784011 v. 1, pp. 196, En: Colombia 2006.
16. SENGE, Peter. "La Quinta Disciplina". Granica, 1998.
17. STERMAN, John D. Business Dynamics "Systems Thinking and Modeling for a Complex World". Mc Graw Hill, USA, 2000.