



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Educación en Ingeniería Petrolera para la Gestión del Riesgo

Tesis

para obtener el título de:

Ingeniero Petrolero

Presenta:

Adán Hanniel Tello Gómez

Directores:

Dra. Irma del Carmen Glinz Ferez

M. C. Mario Vásquez Cruz



México DF, 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A Dios, que con su fuerza y fe cree en mí ofreciéndome retos y metas para seguir creciendo.

A mi hermano Arturo Jafet, que me cuida, protege y siempre está a mi lado. Eres mi guía hermano, este logro también es tuyo.

A mis padres, Irene del Pilar y Arturo del Jesús, que con educación, apoyo, amor y esperanza, me dieron fuerza para no rendirme y seguir adelante con mis sueños, gracias.

A mi novia Leticia Itzel Flores Sánchez, por impulsarme y nunca dejarme caer, siendo mi motivación día a día, gracias. A la familia Flores Sánchez, que con cariño y apoyo me han impulsado en mis metas, gracias.

A mis tíos Cesar y Lourdes por su constante apoyo y educación, gracias.

A mi Familia, que siempre es fuente de cariño y apoyo, gracias.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ingeniería, por darme la oportunidad de ser parte de la máxima casa de estudios, los conocimientos y valores necesarios para enfrentar los retos futuros con orgullo y dedicación, además de brindarme las experiencias y amistades que siempre formarán parte de mi vida. Mi alma mater, mi esencia profesional.

A mis compañeros y amigos, que con su amistad y apoyo han enriquecido mi vida y son parte de esta meta alcanzada, gracias.

Agradezco a la Dra. Irma del Carmen Glinz Ferez y al M. C. Mario Vásquez Cruz por el apoyo brindado, su consejo y esfuerzo en la realización de la tesis, gracias.

A el Dr. Rafael Rodríguez Nieto, la Dra. Rocio Guadalupe de la Torre Sánchez, Ing. Ulises Neri Flores y el Ing. Israel Castro Herrera, por su apoyo y comentarios en la revisión de la tesis.

A todos y cada uno de ustedes, que me apoyaron y son parte de este logro, gracias.

Resumen

El móvil para la elaboración de esta tesis radica en la incógnita de la situación de nuestra carrera de Ingeniería Petrolera, con respecto al mundo. El incremento en las exigencias y la complejidad de los nuevos proyectos en la industria petrolera, es un reto que se afronta con la mejor preparación de los profesionales y una administración de recursos óptima, que puedan asegurar el éxito y crecimiento constante en la exploración y aprovechamiento de los hidrocarburos, que constituye el combustible más importante del mundo.

El enfoque de la tesis se centra en la importancia de la Gestión del Riesgo (definida como el proceso de Estimación, Evaluación y Manejo del Riesgo), en la Educación del Ingeniero Petrolero actual, así como en la realidad en que vivimos, la industria petrolera afronta riesgos diariamente en sus diferentes áreas y actividades. Lo importante no es evitarlos, sino entenderlos y afrontarlos. La Gestión del Riesgos puede representar la mejor cultura de crecimiento para nuestra industria y así asegurar un beneficio, para seguir impulsando al país. La necesidad e importancia de generar un estudio de la situación educativa en la Gestión del Riesgo, se considera que son **elementos básicos para construir una carrera más competitiva y apta para el futuro.**

Este trabajo se constituye en primera instancia, en la evaluación del estado actual de la Carrera de Ingeniería Petrolera, realizando un análisis de planes de estudio y de tendencias académicas de las universidades más reconocidas y competitivas mundialmente. Con este estudio, se trata de establecer los patrones más importantes en la Gestión del Riesgo, en la Educación de Ingeniería Petrolera. Enseguida, se presentan las bases teóricas de probabilidad y estadística, necesarias para el manejo de las diferentes herramientas empleadas en la evaluación de proyectos y la Gestión del Riesgo. Estas herramientas se complementan con las técnicas y procedimientos de evaluación y administración de proyectos en la industria.

Finalizando con la aplicación de las consideraciones y evaluaciones elaboradas en función de las necesidades de la industria y la valorización e importancia del conocimiento de la Gestión del Riesgo, como una cultura evidentemente necesaria en la educación de Ingeniería Petrolera.

Contenido

Agradecimientos	I
Resumen	II
Introducción	1 -
1 Educación en Ingeniería Petrolera	3 -
1.1 Estado Actual.....	3 -
1.1.1 Retos de la Educación en Ingeniería Petrolera	3 -
1.1.2 La Interacción Universidad-Industria.....	4 -
1.1.3 Mejorar la Preparación para la Vida Laboral.....	6 -
1.1.4 Aptitudes y Habilidades Suaves o “Soft Skills”	7 -
1.1.5 Retos en el Reclutamiento de Estudiantes.....	8 -
1.1.6 Desarrollo de la Carrera e Impulso Profesional	9 -
1.2 Estructuras de enseñanza existentes.....	12 -
1.2.1 Matriz de Comparación de Planes de Estudio de Ingeniería Petrolera	14 -
1.2.2 América	15 -
1.2.3 Asia	16 -
1.2.4 Europa.....	17 -
1.3 Análisis de Coincidencias.....	17 -
2 Fundamentos Teóricos	20 -
2.1 Estructuras Estadísticas.....	20 -
2.1.1 Medidas de Tendencia Central	21 -
2.1.2 Medidas de Variabilidad	25 -
2.1.3 Distribuciones Probabilísticas de Interés en la Industria Petrolera	30 -

2.2 Aplicaciones Petroleras.....	- 43 -
2.2.1 El Riesgo y su Proyección en el Negocio de la Exploración y Producción	- 43 -
2.2.2 Aversión al Riesgo.....	- 46 -
2.2.3 Flujo de Caja	- 49 -
2.2.4 Estimación del Riesgo o de las Probabilidades de Éxito	- 51 -
2.2.5 Simulación Montecarlo	- 53 -
2.2.6 Riesgos no Convencionales	- 58 -
3 Importancia de la gestión del riesgo	
Industria Petrolera.....	- 60 -
3.1 Planeación de Proyectos (FEL).....	- 60 -
3.1.1 Marco Conceptual y Origen de la Definición Inicial del Proyecto (FEL), como Mejor Práctica de la Industria.....	- 61 -
3.1.2 Definición del Front End Loading (FEL).....	- 64 -
3.1.3 La Importancia del FEL en la Industria	- 65 -
3.1.4 Ventajas Competitivas de Emplear FEL.....	- 67 -
3.1.5 Principios Básicos del FEL.....	- 67 -
3.1.6 Barreras a Vencer para Implementar el FEL.....	- 68 -
3.1.7 Componentes del FEL	- 69 -
3.1.8 Consideraciones Importantes.....	- 71 -
3.1.9 Factores Críticos en el Éxito de FEL	- 73 -
3.1.10 El Mejor Tiempo para Implementar FEL	- 74 -
3.1.11 Ejemplos de Modelos de la Definición Inicial de Proyecto FEL en la Industria	- 75 -
3.1.12 DUPONT	- 77 -
3.1.13 Weyerhaeuser Steven Harperh.....	- 79 -

3.1.14 Chevron	80 -
3.1.15 IPA.....	84 -
3.1.16 Mustang Engineering Inc.....	85 -
3.1.17 Modelo de Procesos Base de la Definición Inicial (FEL).....	88 -
3.1.18 Elementos Clave para Tomar la Decisión.....	91 -
3.1.19 Análisis de Tecnologías Disponibles	94 -
3.1.20 Analizar Riesgos del Proyecto.....	98 -
3.1.21 Ejemplo de aplicación FEL.....	100 -
3.2 Administración del Portafolio	102 -
3.2.1 Teoría de la Cartera de Inversiones.....	103 -
3.2.2 Análisis de los Objetivos que Persigue la Optimización de la Cartera de Proyectos.....	106 -
3.3 Toma de Decisiones	113 -
3.3.1 La Incertidumbre se Puede Manejar	113 -
3.3.2 Reunir Inteligencia (Información).....	116 -
3.3.3 Teoría de las Opciones.....	117 -
3.3.4 Ajuste del Problema	119 -
3.3.5 Teoría de las Preferencias.....	120 -
3.3.6 El Valor de Evaluar el Riesgo.....	121 -
3.3.7 Incertidumbre: Conceptos y Fuentes	125 -
3.3.8 Manejo de la Incertidumbre y Toma de Decisiones	134 -
3.3.9 Decisiones que Involucran Incertidumbre.....	136 -
3.3.10 Manejo de la Incertidumbre.....	137 -
3.3.11 Reducción de la Incertidumbre.....	139 -
3.3.12 Análisis de Decisión	140 -

3.3.13	Proceso del Análisis de Decisión	- 141 -
3.3.14	Elementos de Decisión.....	- 142 -
3.3.15	Diagramas de Influencia.....	- 143 -
3.3.16	Análisis de Árboles de Decisión.....	- 145 -
3.3.17	Ejemplo de Análisis de Árbol de Decisión.....	- 146 -
3.3.18	Análisis de Decisión de Problemas	- 154 -
3.3.19	Matriz de Decisión.....	- 154 -
3.3.20	Análisis de Sensibilidad.....	- 155 -
3.3.21	Perfiles de Riesgo.....	- 157 -
3.3.22	Técnicas Avanzadas de Análisis de Decisión	- 158 -
3.3.23	Modelado de Markov.....	- 158 -
4	Propuesta Académica	- 160 -
4.1	Plan de Estudios Actual.....	- 160 -
4.2	Encuesta y Resultados	- 164 -
4.3	Propuesta de Modificación del Plan de Estudios.....	- 171 -
4.3.1	Programa de Estudios de “Gestión del Riesgo en la Industria Petrolera”	- 172 -
	Conclusión.....	- 177 -
	Referencias.....	- 179 -

Introducción

La capacidad de aprender del ser humano sólo está limitada por su deseo y esfuerzo. El aprendizaje es una de las cualidades que nos identifica como seres aptos y desarrollados, generando el desarrollo actual de tecnología, salud y mejor calidad de vida. La importancia de seguir aprendiendo debe ser una necesidad vital del ser humano para asegurar una mejor adaptación, adecuada a los requerimientos de este mundo evolutivo y acelerado¹⁴. La estrategia del aprendizaje es vital en el desarrollo de los profesionales que crearán, mantendrán y desarrollarán las diferentes industrias que mueven al mundo.

Al hablar de la Industria Petrolera, una de las industrias más importantes en el mundo, que con su desarrollo y producción, mantienen y conforman gran parte de la infraestructura productiva y económica de países como nuestro México, es vital entender la importancia de la generación de profesionales aptos y preparados para desarrollar al máximo sus capacidades en el construcción de una mejor industria asegurando, además el crecimiento del país.

Los Ingenieros Petroleros (y en general todos los ingenieros) en su papel de profesionales con los conocimientos necesarios y la capacidad de analizar y resolver problemas, con la disponibilidad de trabajar en equipo y aprovechar las ideas generadas en grupos multidisciplinarios, además, de planear, evaluar y ejecutar opciones de desarrollo y aplicación en las diferentes actividades de la exploración y producción de hidrocarburos, y sobre todo, el mantener el conocimiento necesario en la toma de decisiones que aseguren el desarrollo de la industria, forman parte de un plan eficiente y adecuado de educación profesional, asegurando la estrategia necesaria para satisfacer las necesidades de una industria de retos tecnológicos e innovación continuos.

En la Industria Petrolera, como en la mayoría de las grandes industrias la capacidad de su recurso humano representa el éxito o fracaso en la evaluación y ejecución de los diferentes proyectos. El riesgo, la posibilidad de un hecho adverso a nuestro juicio, siempre se encuentra presente en la cotidianidad de nuestra vida y por tanto, en las decisiones de cualquier industria. La identificación, evaluación, comprensión y manejo del riesgo, son habilidades necesarias en todo profesional que

se desempeñe en grandes industrias con retos crecientes. La Ingeniería Petrolera moderna, representa una nueva etapa de habilidades, actitudes y conocimientos, incluyendo en estimación y manejo del riesgo presente en la mayoría de las actividades de exploración y producción. La Ingeniería Petrolera tiene sólidos fundamentos de teoría física y matemática aplicada, con conocimientos técnicos de los diferentes mecanismos de ejecución en la exploración y producción de hidrocarburos, que actualmente necesitan ser complementados con una cultura de Gestión del Riesgo y evaluación de oportunidades para la innovación y optimización en todos los escenarios posibles. La Educación en Ingeniería Petrolera es la base de mejor futuro al generar los profesionales necesarios que puedan aplicar sus conocimientos, habilidades y actitudes en la construcción de la Industria Petrolera moderna.

La importancia de generar en los estudiantes de Ingeniería Petrolera el sentido de la Gestión del Riesgo, requiere construir una mejor práctica en la planeación, evaluación y aplicación de las actividades en la explotación del yacimiento. La capacidad de manejar el riesgo, es vital para asegurar la distribución necesaria de recursos, establecer la planeación adecuada y desempeñar el trabajo de la mejor manera. Con todo lo anterior se puede considerar una Industria Petrolera efectiva, rentable y mejor adaptada.

El presente trabajo, plantea las bases de un mejor plan de estudios, con los fundamentos teóricos y estado actual de la Educación en Ingeniería Petrolera. La Gestión del Riesgo se presenta como una cultura de progreso en las actividades de la Industria Petrolera, en complemento con la realización de un estudio de planes académicos en Ingeniería Petrolera de las universidades más reconocidas del mundo en proyección con la evaluación de las necesidades actuales de la industria. La presente tesis representa un trabajo que en conjunto, plantea la posibilidad de mejorar nuestro plan de estudios para formar mejores Ingenieros Petroleros, competitivos, que serán la base de una mejor industria y un mejor país.

1 Educación en Ingeniería Petrolera

1.1 Estado Actual

1.1.1 Retos de la Educación en Ingeniería Petrolera

La Ingeniería Petrolera como programa académico formal, está cerca de cumplir su primer centenario que a su vez incluye la tecnología en la industria¹. Su gran avance a través del tiempo, reflejando también grandes cambios en la educación y los planes de estudio, en las diferentes universidades. Entre las habilidades básicas de un Ingeniero Petrolero, además de dominar los fundamentos de matemáticas, física y química, se incluyen:

- Geología
- Tecnología de perforación de pozos
- Evaluación formativa (Habilidades y Actitudes ¹⁴)
- Tecnología de producción de hidrocarburos
- Propiedades de las rocas del yacimiento
- Propiedades de los fluidos del yacimiento
- Flujo en medios porosos
- Administración y análisis del yacimiento

Con respecto a los conocimientos básicos técnicos, la mayoría de los recién egresados presentan un buena preparación. Por otra parte, esto no es suficiente debido a los requerimientos de un crecimiento y progreso exponencial de la Industria Petrolera. Esto es una expectativa que se debe tomar en cuenta siendo un recién egresado; se debe tener, la preparación y capacitación, para realizar un liderazgo eficaz, enfrentar asuntos del negocio e implementar las políticas que contribuirán a los éxitos corporativos y a la rentabilidad de la industria.

Es probablemente poco realista esperar encontrar las ya mencionadas habilidades en un recién egresado. Sin embargo, con un objetivo definido, la Educación del Ingeniero Petrolero debe proveer a los estudiantes, los medios necesarios para utilizar sus conocimientos técnicos y aptitudes personales con el fin de desarrollar durante y después de la carrera estas habilidades y actitudes en un periodo de tiempo corto después de graduarse.

Claramente, el logro de este objetivo dependerá de la infraestructura de la universidad y un cuerpo docente bien preparado en el estado del actual de las materias impartidas, incluyendo las habilidades y actitudes requeridas, además, es fundamental la admisión de mejores estudiantes a las universidades¹.

La Industria Petrolera conlleva situaciones de alto riesgo en los procesos de exploración y producción, en el desarrollo de cada proyecto. Adicionalmente, se tiene el riesgo inherente en la estimación de reservas y sus factores sociopolíticos y económicos, como el inestable comportamiento del mercado de los hidrocarburos, el constante cambio del ámbito político y regulaciones ambientales. Considerando lo anterior, es fundamental el desarrollo de las habilidades en el manejo del análisis económico y de riesgo en la mayoría de los procesos de la industria, al realizar una evaluación óptima de los proyectos de la misma.

El constante cambio de las necesidades de la Industria Petrolera es una expectativa que debe permanecer implícita en los profesionales recién egresados, formando parte de su preparación necesaria, desempeñar con éxito y liderazgo la implementación de políticas que contribuyan al éxito corporativo.

Mientras la tendencia dominante en la Educación en Ingeniería Petrolera sea una preparación enfocada en el conocimiento técnico en los profesionales recién egresados, puede disminuir el conocimiento y habilidades económicas necesarias para afrontar los crecientes retos financieros en la industria.

1.1.2 La Interacción Universidad-Industria

En los últimos veinte años, el campo de la Industria Petrolera ha sufrido importantes cambios. La evolución en las tecnologías, además del incremento de los recursos computacionales en la mayoría de las etapas del proceso de exploración y producción, ha generado requerimientos en el sistema de educación. Una de las ideas frecuentes es que las universidades no siempre se involucran lo suficiente con estas necesidades.

La percepción es que las universidades no siguen, con el ritmo necesario, las tendencias en la industria (el mundo real), en casi todas sus disciplinas, teniendo en cuenta que esta percepción no representa completamente la realidad de la educación en ingeniería petrolera¹. **Las universidades no deben concentrarse solamente en el desarrollo de habilidades técnicas.** El conocimiento en los fundamentos de las ciencias exactas sigue siendo muy importante para los ingenieros y los esfuerzos dedicados al dominio de estos conceptos no deben ser influenciados por los desarrollos actuales de la industria. Por otra parte, se debe reconocer que los programas de Ingeniería Petrolera en las universidades deberían estar influenciados por los cambios en la industria. Para este caso, una cercana colaboración entre la industria y las universidades contribuirían a la preparación de mejores futuros profesionistas.

Esta interacción debe ir más allá de programas de becas y financiamiento en investigación. Los líderes de la Industria que presenten interés en mejorar los programas de Ingeniería Petrolera, deben participar de manera activa en esta relación Industria-Universidad, con seminarios enfocados en problemas reales con el fin de encontrar soluciones y propuestas para producir mejoras a la industria. Al mismo tiempo debe haber disposición en participar en la mejora de los programas, análisis constructivo, pláticas y conferencias; compartir experiencias e información de campo que se pueden utilizar para proporcionar para ciertos cursos una mejor experiencia y aprendizaje relacionando a los alumnos con el ambiente laboral. El compartir la información actual de campo, es considerada una de las maneras más eficientes de contribuir a la mejora de la educación universitaria. Sin embargo, este tipo de contribución es relativamente escasa, ya sea debido a la ausencia de mecanismos que permitan esta acción o los asuntos de confidencialidad. Por otra parte, como se menciona en la Ref.1, una continua realimentación de la Industria a la universidades sobre cómo se desempeñan los recién egresados y como se están cumpliendo (o no) las expectativas de la Industria en términos de las habilidades y conocimiento general de la industria y sus negocios, es de vital importancia para la evaluación y mejor educación en Ingeniería Petrolera.

Es obvio que es mucho más fácil decirlo que hacerlo; no siempre existen los canales apropiados de comunicación que proporcionen esta libertad a la Industria y las universidades. **Actualmente, el establecimiento de estos canales es uno de los principales retos** y debe ser abordado como una

prioridad entre las dos organizaciones. **Esto es una tarea que debe ser superada tanto por las universidades como la Industria.**

1.1.3 Mejorar la Preparación para la Vida Laboral

Como se mencionó anteriormente, el conocimiento de los fundamentos de las ciencias exactas es de suma importancia para los ingenieros. Sin embargo, esto no significa que los estudiantes deben tener un curso de Ingeniería Petrolera dedicado a las tradicionales disciplinas académicas. Existe gran cantidad de medidas prácticas que pueden desempeñar un importante papel en la preparación de los estudiantes para los retos que tendrán que afrontar después de graduarse.

Los cursos modernos deben incluir entrenamiento comprensivo en laboratorio involucrando áreas fundamentales en las propiedades de los fluidos del yacimiento, flujo en tuberías y medios porosos, fluidos de perforación, mecánica de roca e hidráulica. Los conceptos teóricos descritos en el salón de clases serán mejor comprendidos después de la práctica relacionando las aplicaciones con el comportamiento en el laboratorio. Adicionalmente, la correlación entre la teoría, los experimentos en laboratorio y las aplicaciones en la industria incrementaría la adquisición de conocimiento y promovería al mismo tiempo un extenso programa a aplicaciones en campo, como prácticas profesionales, que tomaría el papel de una herramienta auxiliar a la educación académica importante para el futuro del egresado. Esta herramienta, además representa un poderoso medio de interacción Universidad-Industria. Las visitas a los sitios de operación, plantas de producción y laboratorios industriales, darán con seguridad una mejor perspectiva a los estudiantes con respecto a la industria.

En la actualidad las tendencias de la industria es el reclutamiento de profesionales que presenten habilidades que superen el entrenamiento académico tradicional. Nuestra Industria demanda futuros líderes y administradores con el conocimiento básico de los negocios en los hidrocarburos, el mercado global, sus tendencias, riesgos e implicaciones económicas. El conocimiento de la mayoría de las compañías de servicio, sus mercados y áreas de operación son necesarios, como es bien sabido. Además, los profesionales actuales deben comprender la información legal, ética, conciencia en procurar la salud, seguridad y protección ambiental.

Además, incluso para los recién egresados, serán necesarias habilidades de presentación y comunicación de ideas, tanto oral como escrita, como reportes de manera clara y objetiva. Un buen programa académico debe promover tareas y trabajos en relación a la lectura y crítica de artículos científicos, redacción de reportes y presentaciones técnicas. Además, los estudiantes deben ser alentados, en lo posible, a participar en conferencias, seminarios y presentaciones técnicas donde los ejemplos establecidos por los profesionales sigue siendo una de las mejores iniciativas para la superación personal y profesional.

1.1.4 Aptitudes y Habilidades Suaves o “Soft Skills”

Cuando hablamos de las habilidades necesarias en la industria nos referimos no solo a las bases técnicas, ciencias exactas y conocimiento adquirido en la carrera, **comprende también aptitudes de convivencia y desarrollo personal, muy importantes en el desarrollo de las actividades y procesos de la industria.** Al hablar de aptitudes nos referimos de habilidades no técnicas y suaves o “Soft Skills” por su término en inglés. La necesidad del estudiante de desarrollar estas habilidades presenta retos y expectativas de superación en su vida profesional, estableciendo la estructura de trabajo y las políticas que impulsarán el éxito corporativo. Entre las principales, en grado de importancia podemos mencionar²:

- Control de sí mismo
- Trabajo en equipo
- Capacidad de escuchar
- Toma de decisiones, responsabilidades (Autosuficiencia)
- Habilidad para identificar y resolver problemas
- Administración del tiempo
- Comunicación oral
- Razonamiento Lógico
- Confianza en sí mismo
- Habilidades para la investigación
- Flexibilidad cultural
- Creatividad

La capacidad de desarrollar y adoptar las aptitudes, habilidades y actitudes anteriores, serán las bases de los criterios y perfiles necesarios que deberán ser adoptadas por los futuros profesionales

en una industria que se actualiza constantemente, donde el conjunto de factores implicados en el desarrollo de los proyectos deberán ser tomados por profesionales con la capacidad de:

- Aplicar los conocimientos de matemáticas, ciencias e ingeniería en el desarrollo de los proyectos
- Diseñar y realizar experimentos e investigaciones
- Realizar un enfoque sistémico aplicado a necesidades específicas
- Diagnosticar, formular y solucionar problemas
- Comprender el sentido de responsabilidad social y ética
- Comprender el impacto de los proyectos en los contextos globales y sociales
- Poseer un alto nivel de actualización y actitud para la educación continua
- Utilizar técnicas y herramientas modernas de ingeniería

Aunado a lo anteriormente mencionado, el futuro profesionalista en Ingeniería Petrolera debe considerar la creciente preocupación en la ecología y la protección ambiental creando proyectos de desarrollo sustentable y conservación.

1.1.5 Retos en el Reclutamiento de Estudiantes

Como se ha mencionado, no siempre se ha alcanzado el objetivo de reclutar a estudiantes de alto rendimiento en la carrera de Ingeniería Petrolera. Una de las razones mencionadas en ¹, radica en la falta de interés debido a la turbia imagen de la industria. Esta imagen, injusta o no, claramente está presente en muchos ámbitos de nuestra sociedad. Es más, existe el hecho de que la exploración y producción de hidrocarburos esta frecuentemente ligada a actividades pesadas y peligrosas. Nosotros hemos caído en la falta de publicaciones del impresionante grado de dificultad y avance de las tecnologías que se utilizan en la ubicación y producción de hidrocarburos, siendo una actividad excitante y de grandes retos, demostrado a lo largo de la carrera.

Muchas universidades promueven días de orientación de carreras, donde los estudiantes visitan las instalaciones, laboratorios y presentaciones. Esto promueve en gran medida el interés de los estudiantes, a elegir un rumbo en esta industria, estableciendo una empatía con los retos, necesidades y capacidades el mismo.

Las compañías y sociedades profesionales, a su vez, deben participar en este esfuerzo. La información es la clave para obtener un mayor número de estudiantes interesados en la carrera. Además, los estudiantes estarán informados de las oportunidades de empleo y requerimientos en la Industria. El número de universidades y de egresados anualmente es relativamente pequeño, en comparación con otras ingenierías, mismo que representa mayor oportunidad de buenos empleos y una constante necesidad de profesionales en esta área.

Otro punto importante siempre mencionado a los futuros estudiantes, y aun más a los estudiantes de Ingeniería Petrolera, es la larga vida de la industria, siempre en constante crecimiento. Se demuestra en los estudios representados por importantes analistas y expertos, indicando que la Industria Petrolera será el mayor productor de energía en las siguientes décadas¹, habiendo a su vez, estudios con respecto a el agotamiento del petróleo, mismo que ha creado un comprensible temor de un futuro adverso para nuestra carrera.

1.1.6 Desarrollo de la Carrera e Impulso Profesional

La importancia en la identificación de los factores clave en lograr la formación del ingeniero y luego en el entrenamiento y desarrollo de los profesionales en la Industria Petrolera, ha seguido casos de estudio que presentan las iniciativas en la cultura de cada compañía dividiéndola en tres etapas en el desarrollo de los profesionales en las mismas.

Se presentan un ciclo de vida en la carrera, dividido en: Ponerse al día, Ampliación de las habilidades Técnicas Base y Actualización Periódica³.

Ponerse al día refiere a los primeros 3-4 años en la compañía, en la cual la mezcla de las diferentes habilidades, disciplinas y manejo de software es adquirido en el lugar de trabajo por medio de la elaboración de diferentes proyectos y equipos de trabajo combinando las bases teóricas en el cumplimiento de los trabajos como factor práctico. Las evaluaciones tanto técnicas como teóricas, las tutorías en la compañía y los reportes de proyecto, son parte fundamental en el dominio de la tecnología en la compañía. Las “habilidades blandas” (soft skills), como son: comunicación oral y escrita (reportes), presentaciones, trabajo en equipo y liderazgo son necesarias en la mejora y valor del profesional en esta etapa, aunado a la participación en las sociedades profesionales, teniendo

un aporte a las mismas. Los programas de entrenamiento y capacitación, a su vez, deben ser estructurados detalladamente, involucrando un periodo de 6 a 16 semanas al año³.

Los siguientes 5-8 años se desarrolla la **Ampliación de las habilidades Técnicas Base** con base en la pericia y experiencia adquirida en los diferentes proyectos desempeñados, afrontando retos técnicos, y conviviendo con diferentes equipos de trabajo. Las habilidades de análisis de riesgo, evaluación económica y administración de proyectos en combinación con las diferentes disciplinas técnicas en el trabajo son habilidades necesarias adquiridas en este periodo. La convivencia y comunicación de las sociedades profesionales son de vital importancia en esta etapa, en función de publicaciones técnicas, trabajos y coproducciones entre la empresa y las mismas. Durante este periodo, el personal técnico debe cooperar como maestros y mentores, impulsando el desarrollo de la población en la etapa de **Ponerse al día**. La capacitación y entrenamiento en esta etapa, debe presentarse de manera reflexiva con el desempeño mostrado, de 2 a 6 semanas al año.

Después de 8-12 años, los profesionales entran en la fase de **Actualización Periódica**, donde las habilidades en liderazgo en los aspectos técnicos y de personal alcanzan su máximo desarrollo. Las nuevas tecnologías son optimizadas y aplicadas en la mejora profesional, impulsando grupos de investigación y estableciendo resultados en publicaciones. En este estado, el profesional se establece como un especialista, maestro y mentor en un creciente número de áreas, convirtiéndose en un activo de tiempo completo en las sociedades profesionales, a nivel regional e internacional. En esta fase, implica una capacitación de 2 a 3 semanas al año para una educación continua en su desarrollo.

Nótese que estos periodos de tiempo algún tanto arbitrarios dependerán de las necesidades, cualidades, nivel de energía y ambición, en función de las oportunidades disponibles. Esto nos dice, que los profesionales de alto nivel, siempre crearán sus propias oportunidades, y las compañías deben facilitar su desarrollo y recompensarlos.

La importancia de las habilidades técnicas, como la comunicación, el trabajo en equipo, administración y convivencia con el personal, son la clave que los capacitadores y mentores deben implementar en el desarrollo de las habilidades necesarias, para el impulso de los profesionales en

las diferentes áreas de la compañía. Las diferentes ramas en la capacitación del personal, deben tener una estructura definida buscando la interacción y mezcla entre la elaboración de trabajos y proyectos de la compañía como objetivo fundamental, promoviendo el progreso individual y colectivo de los profesionales, teniendo una evaluación periódica de los mismos promoviendo el desarrollo profesional de los individuos, y por lo tanto impulsaran a su vez, a la compañía, involucrando y compartiendo su conocimiento con el personal en cada área de trabajo. La siguiente figura presenta una proyección evolutiva de un Ingeniero Petrolero, con conocimientos y capacitación adecuados a los requerimientos de la industria, con la capacidad y conocimiento necesario para afrontar los nuevos retos, siendo un profesional competitivo y experimentado en su área⁴.

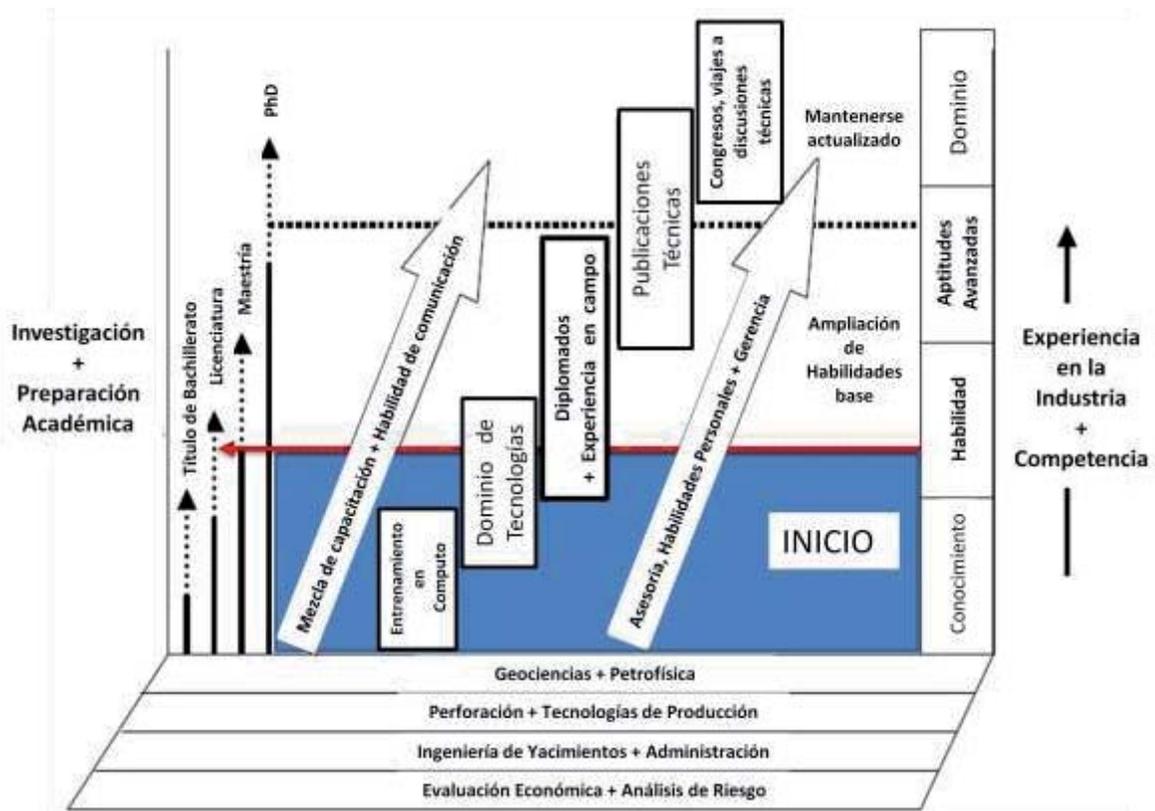


Figura 1 Capacitación Óptima en el desarrollo profesional del Ingeniero Petrolero.

1.2 Estructuras de enseñanza existentes

En el desarrollo de la tesis, la importancia de la investigación de los planes de estudio y su desempeño en el mundo forma parte importante en la evaluación del nuestro. La base de esta evaluación radica en no solo comparar el plan de estudios con sus similares de las mejores y más reconocidas universidades que desempeñan la carrera, si no en conocer sus tendencias de estudio, como sus áreas fuertes, especialidades y sobre todo los resultados en el constante cambio de la industria. En especial, conocer el perfil que manejan en la parte de evaluación económica y gestión del riesgo.

Esta investigación tiene como base, el plan de estudios. Se tomó el plan de estudios de Ingeniería Petrolera del semestre en curso 2011-2, con sus diferentes materias en orden semestral e indicando su área con colores similares a los preestablecidos, como se muestra en la Tabla 1. El tener como base el plan, permite tener una mejor comparación de cada programa de estudios con respecto al nuestro, facilitando el análisis de tendencias que más adelante profundizaremos.

Tabla 1 Paleta de colores de referencia

	Asignaturas de Ciencias Básicas
	Asignaturas de Ciencias de la Ingeniería
	Asignaturas de Ingeniería Aplicada
	Asignaturas de Ciencias Sociales y Humanidades
	Otras Asignaturas Convenientes
	Optativas
	Materias a proponer
	Universidades Mexicanas
	Universidades Extranjeras
	América
	Asia
	Europa

La investigación incluye veinte universidades extranjeras, y dos universidades nacionales, incluyendo la UNAM. Con respecto a las universidades extranjeras se hizo la selección con respecto a su reputación y relación con la industria. Se Investigó las universidades que tienen más profesionales en las diferentes compañías del mundo, además de su prestigio regional y su producción en investigación y textos científicos. Se encuentran divididas por continentes, América con once universidades mayormente de Estados Unidos de América, Asia con siete y Europa con dos. A título personal, me hubiera gustado incluir más universidades, tanto europeas como americanas, pero la disponibilidad de información no fue la adecuada y los perfiles de algunas universidades no se apegan al de un Ingeniero Petrolero si no a Geocientífico.

Además de la comparación, durante el desarrollo de esta investigación, se tiene un especial interés por las materias y cátedras en la evaluación de proyectos y la gestión del riesgo, con esto, se agregan algunas materias adicionales que pueden ser posibles incorporaciones a nuestro plan de estudios. Y con esta iniciativa, podemos conocer que otras universidades presentan este tipo de materias y que tanta importancia o impacto pueden tener en las tendencias académicas.

Esta investigación está ilustrada en una Matriz de Comparación de Planes de Estudio de Ingeniería Petrolera, donde se representa con simbología y diferentes colores los tipos de materias y su situación en las universidades presentadas.

En la matriz existen tres nomenclaturas que representan los parámetros de comparación, el primero “i” que simboliza “IMPARTE” indica que la materia se imparte en el plan, el segundo “ni” que simboliza “NO IMPARTE” indicando el caso contrario al parámetro anterior y por último, un opcional “in” que simboliza “IMPARTE NECESARIO” que si existe la necesidad se imparte, esto es por nuestro sistema de optativas y electivas en otras universidades.

El objetivo principal de la matriz de comparación es establecer la situación educativa a nivel de programa de estudios, y la importancia de las diferentes materias en el contexto global de la Educación en Ingeniería Petrolera. La importancia de esta comparación radica en el establecimiento de mejores prácticas en nuestro plan en función de mejores estrategias educativas, nuevas materias y el análisis crítico de las actuales.

A partir de la matriz anterior y la investigación a fondo de las características de los planes de estudio, podemos establecer las tendencias educativas de las diferentes áreas docentes en Ingeniería Petrolera del mundo. A continuación daremos un pequeño análisis de las corrientes educativas mundiales a través de la importancia e influencia de los diferentes recursos educativos empleados en los planes de estudio.

1.2.2 América

La Educación en Ingeniería Petrolera en el continente americano posee dos grandes corrientes educativas, la importancia de la impartición de recursos enfocados a la educación de ciencias exactas y una sólida educación de habilidades de comunicación técnica y expresión de ideas.

Sabemos que la base teórica es la mejor manera de entender los fenómenos implicados en los diferentes procesos de la Industria Petrolera. La Educación Americana presenta un gran interés en la base teórica, con amplios planes de estudios de materias básicas y ciencias aplicadas, teniendo en menor grado de amplitud las materias de capacidad técnica y manejo de dispositivos. Esto no indica que tengan cierta ausencia de laboratorios, al contrario, poseen un amplio programa práctico de laboratorios especializados en fenómenos multifásicos, resistencia de materiales y estudio de fluidos. Se aprecia un gran interés en la generación de profesionales capaces de optimizar la industria en las diferentes actividades y áreas con cierta influencia a la investigación de nuevas tecnologías basadas en el mejor entendimiento de los fenómenos físicos y su aplicación.

Aunado a lo anterior, la capacitación de estudiantes en las habilidades de comunicación técnica, investigación y expresión de ideas tienen un papel importante en la Educación en Ingeniería Petrolera. El interés en la comunicación técnica y la generación de habilidades suaves para la superación personal, representa un gran recurso en la formación de profesionales con liderazgo, trabajo en equipo y creatividad profesional. Esto asegura que las diferentes universidades americanas sigan punteando en la generación de la tecnología actual, además de presentar un creciente interés por la protección ambiental y el desarrollo sustentable.

1.2.3 Asia

La Educación Asiática en Ingeniería Petrolera presenta un programa similar a nuestro plan de estudios, con la diferencia de una plena relación universidad-industria y una gran influencia educativa de la gestión del riesgo y la evaluación de proyectos.

Un plan de estudios con igual importancia para las materias básicas exactas, matemáticas y física aplicada, teoría técnica y el manejo de mecanismos es la base de la educación asiática. Al igual que nuestro plan de estudios, el programa de la mayoría de las universidades asiáticas da igual importancia e imparte una ventana general de conocimientos básicos para entender y ejecutar las actividades principales de la industria petrolera a lo largo del ciclo productivo de la explotación de hidrocarburos.

Forma profesionales capaces de analizar, sintetizar y dar solución a situaciones propias de la industria, con los conocimientos necesarios para formar parte del sistema exploratorio y productivo, a trabajar en equipos multidisciplinarios y evaluar opciones. El programa académico asiático posee un amplio programa de interacción con la industria, donde esta forma parte de la planilla docente, genera proyectos de investigación dentro de la universidad, realiza prácticas de campo y mantiene un lazo de información para juntos desarrollar nuevas tecnologías. Esta interacción permite el crecimiento mutuo y asegura el interés en los egresados para asegurar la renovación laboral continua y la captación de talentos para la industria nacional.

En los últimos años, la Educación Asiática en Ingeniería Petrolera ha evaluado la gran importancia de incluir en su plan de estudio las bases y aplicaciones de la gestión del riesgo y su influencia en la evaluación de proyectos y su impacto económico. La capacidad de los estudiantes de identificar, evaluar y manejar los diferentes riesgos en la industria es fundamental en la educación del Ingeniero Petrolero actual, teniendo en la educación asiática materias como análisis de riesgo, investigación de operaciones y rentabilidad de proyectos como grandes herramientas para asegurar un mejor desarrollo de la industria al formar mejores profesionales. Actualmente las universidades han tenido un agresivo crecimiento en recursos y plantilla docente en estas áreas,

teniendo en cuenta que esta nueva cultura forja mejores estudiantes, con la calidad necesaria y aptitudes para formar parte del acelerado crecimiento de su industria.

1.2.4 Europa

La Educación Europea presenta una gran variante en la Educación Petrolera tradicional, con una educación basada en la investigación y una gran influencia de la evaluación técnica económica y la gestión del riesgo.

La Educación Petrolera Europea, influenciada por las compañías petroleras y gasíferas, presenta un amplio programa de investigación de nuevas tecnologías en constante crecimiento y amplia relación con las compañías petroleras. Al igual que el programa americano, la importancia de las materias exactas de aplicación son la base de la educación europea solo que la dirección de estos esfuerzos van encaminadas a la investigación y generación de nuevas tecnologías. El antecedente de esta necesidad, se entiende debido al ambiente extremo y altamente riesgoso de los escenarios de producción en su industria, en donde la investigación de nuevas tecnologías representa la capacidad de generar nuevas oportunidades. Con lo anterior, podemos comprender mejor, la gran importancia que toma en sus planes de estudio la gestión del riesgo. La Educación Europea presenta un excelente plan académico de Gestión del Riesgo y evaluación de oportunidades basado en una planeación integral de proyectos, asegurando así un importante índice de éxito y aprovechamiento de recursos. Son maestros en el aprovechamiento de sus recursos y la planeación total de cada proyecto. Por consiguiente, la implementación de recursos educativos en la generación de nuevas tecnologías y la formación de estudiantes con la capacidad de planear y evaluar oportunidades con el mayor aprovechamiento, no se limita en recursos tanto de las universidades como de las compañías relacionadas.

1.3 Análisis de Coincidencias

Con la investigación anterior y el análisis de planes de estudio, podemos demostrar que nuestro plan de estudio presenta un valor competitivo y con las bases necesarias de formar Ingenieros Petroleros, **con una educación para afrontar las situaciones de la industria.** La importancia de este análisis de coincidencias **es la fortaleza y optimización que podemos otorgarle a nuestra**

educación, y generar así un mejor plan de estudios, que forme Ingenieros Petroleros eficientes y aptos al constante cambio de la industria. En donde cabe resaltar, que no es suficiente enfocarse en el plan de estudios, si no en el programa de Ingeniería Petrolera¹⁴.

Un importante factor que se aprecian en la mayoría de las universidades que forman parte de esta investigación es la cultura de investigación y generación de nuevas tecnologías. A mi particular punto de vista, nuestro plan de estudios debe fortalecer esta área. En años anteriores la Industria Mexicana del Petróleo y las universidades que la sustentaban presentaban planes de investigación y generación de tecnologías con base en el esfuerzo conjunto entre los diferentes institutos de investigación y las universidades, involucrando alumnos y especialistas. Debemos tener en cuenta que el constante crecimiento de retos y problemas en la Industria Petrolera, necesitan nuevas tecnologías e investigaciones, y no dejar escapar este recurso al involucrar la compra o renta de tecnología extranjera. Es un reto complicado, pero con la disposición, paulatinamente podremos disminuir la dependencia de las compañías de servicio y generar tecnologías propias.

Otro factor importante es el impulso de los estudiantes a seguir adelante con su capacitación y siempre buscar nuevas formas de complementar su preparación. La mayoría de las universidades evaluadas en esta investigación poseen importantes programas de especialización y capacitación profesional. Esta capacidad facilita a las universidades crear vínculos de investigación y formación académica con otras universidades y compañías, partiendo de la exportación de profesionales a diferentes especialidades. El impulsar a tus estudiantes en tener una mayor ambición profesional y de investigación, es un esfuerzo conjunto entre el cuerpo docente y los programas educativos de las universidades. En nuestra facultad se realizan esfuerzos destacados, pero la necesidad es mayor que el esfuerzo. Es conocido que este tipo de actividad a la larga genera grandes rentabilidades educativas y además forma parte de una mejor preparación de los profesionales en la industria y la investigación.

El factor de relación Universidad-Industria es básico en la preparación de mejores profesionales. La importancia de una preparación práctica en complemento con las materias impartidas es necesaria en el aprendizaje en Ingeniería Petrolera. En nuestra facultad existen relaciones entre la industria y los estudiantes, pero el **incremento de esta relación debe ser evaluado e impulsado en acuerdo**

con las dos partes. El otorgamiento de información de campo y más herramientas que garanticen un mejor aprendizaje es primordial tanto para la universidad como para la industria, ya que establecerá un mejor vínculo y relación que asegurará el recurso humano de profesionales que formen parte de su crecimiento. Esto implicaría una inversión que siempre le generará a la industria una ganancia y un impacto benéfico.

El siguiente factor en la Educación del Ingeniero Petrolero es la importancia de la Cultura de Gestión del Riesgo, planeación y evaluación de proyectos, la toma de decisiones y el aprovechamiento óptimo de recursos. **Es más que evidente la importancia de formar ingenieros con la capacidad de tomar decisiones, identificar-evaluar-manejar los riesgos y ejecutar los proyectos con la mayor capacidad y el aprovechamiento óptimo de recursos.** Por lo tanto, la Educación en Ingeniería Petrolera y en todas las ingenierías, debe tener la capacidad de proporcionar las herramientas educativas y prácticas a los estudiantes para que en conjunción con sus habilidades, actitudes y aptitudes generen el ambiente formativo y óptimo para obtener profesionales capaces de seguir adelante en la formación de una industria más fuerte y competitiva, que al mismo tiempo proveerá el recurso que impulse nuestro país. Este es un hecho para tomar en cuenta, y el deseo de este futuro ingeniero es que se fortalezca esta área de estudio y así **formar parte de una nueva generación de profesionales comprometidos con nuestro país y el crecimiento de su industria más importante.**

2 Fundamentos Teóricos

Como todo trabajo de investigación y aplicación, se requiere un marco teórico o base de fundamentos, mismos que darán la pauta del curso en los siguientes temas. Los fundamentos teóricos involucrados en este trabajo de tesis van dirigidos a la evaluación de proyectos y gestión del riesgo. La estadística como rama de las matemáticas, representa la mejor y más usada herramienta en la evaluación de proyectos, fundamentalmente en el análisis de datos. En la gestión del riesgo, y posteriormente el proceso de evaluación, la información y datos disponibles representan los materiales necesarios para construir nuestra estructura de evaluación del proyecto, teniendo como columna vertebral las herramientas de análisis de datos. Esta columna vertebral está formada por distintas herramientas de análisis, manejo y distribución de datos obteniendo la información necesaria en la toma de decisiones y el análisis de riesgo.

La asunción de riesgos es vital en la exploración y el desarrollo de los proyectos en la industria petrolera. Los mejores ejecutivos y profesionales detrás de las compañías de exploración y producción de hidrocarburos calculan y pesan el impacto del riesgo en la elaboración de las decisiones estratégicas y de capital, en inversiones y proyectos de la industria. Todo esto con el fin principal de mejorar en general el rendimiento en los resultados. La búsqueda de la disminución de la influencia de la incertidumbre en el manejo de proyectos e inversiones radica en un mejor proceso de estimación y evaluación del impacto del riesgo implicado.

Una mejor práctica en la gestión del riesgo, parte de los procesos de valoración y las técnicas de disminución de la incertidumbre, aprovechando las tecnologías e información disponible para asegurar y precisar opciones reales en los proyectos e inversiones en la industria.

2.1 Estructuras Estadísticas

Aunque una variable aleatoria puede normalmente asumir muchos valores numéricos, existen algunos parámetros estadísticos que nos brindan información importante acerca de toda la distribución. Partimos considerando los dos tipos de parámetros más importantes⁵:

-
-
- A. El parámetro que describe tendencia central, o valor “promedio” de la distribución, p. e. su posición a lo largo del eje X.
 - B. El parámetro que describe el ancho o la variabilidad de la distribución.

Estos, así como otros parámetros poseen una base teórica que se refiere a ciertas situaciones en la distribución. Estos parámetros tienen un significado físico en la representación real de la distribución que los hace útiles al trabajar en su análisis.

2.1.1 Medidas de Tendencia Central

El conocimiento de los parámetros de distribución que representan “tendencia central” provee información acerca de la posición de la media o promedio de la distribución a lo largo del eje. Las tres medidas de tendencia central más conocidas son la media, mediana y moda.

Media: El valor promedio ponderado de una variable aleatoria, donde los factores de ponderación son las probabilidades de ocurrencia.

La Media es un sinónimo de valor esperado (VE) de una distribución y el promedio aritmético de un conjunto de información estadística. Si estamos analizando una distribución de Valor Presente Neto (VPN) la media de esta distribución es el Valor Monetario Esperado (VME).

Todas las distribuciones (discretas o continuas), tienen una media. Las unidades de la media son las mismas que la variable aleatoria. En estadística el símbolo para el valor de la media es μ , o μ , comúnmente usado en los libros de estadística.

Desde un punto de vista estadístico la media (μ) es, por mucho, el parámetro más importante y la mejor medida de tendencia central. Así mismo, es también muy importante en un análisis de decisión, debido a que por definición, es equivalente al VE, la base de la toma de decisión bajo incertidumbre. Ocasionalmente la media es representada por $E(x)$, VE x , o $E(x)$, pero μ es el símbolo más usado.

Mediana: Es el valor de una variable aleatoria donde existe una probabilidad igual de que los valores estén encima o por debajo de este valor.

Para una distribución continua, la mediana divide el área bajo la distribución de probabilidad en dos partes iguales. Es el valor que corresponde al percentil 50 en una distribución de frecuencias acumuladas. La probabilidad de que la variable aleatoria sea igual o menor que la mediana es 0.50.

La mediana no es una medida representativa de tendencia central (promedio) como la media. La razón es que la mediana no está afectada por las magnitudes de los valores de la variable aleatoria. Por ejemplo, es posible que existan algunos valores muy altos, que afecten en mínimo a la mediana, pero que impacten dramáticamente a la media.

Si se ordenan los datos, la mediana es el punto medio de la lista. En donde si existiera una cantidad par en los valores, la práctica a seguir sería promediar los dos valores más centrados.

Moda: Es el valor de la variable aleatoria que es más probable a ocurrir. Es el valor de la variable aleatoria ubicado debajo del pico más alto de la curva de distribución. Las distribuciones pueden tener más de una moda (p. e. una distribución con dos jorobas con picos de igual magnitud, o una distribución discreta con múltiples valores con las mismas altas probabilidades).

La moda no tiene mucha importancia en los análisis de riesgo y decisión. Es meramente descriptiva en la forma de la distribución. Sin embargo, el valor de la moda está referenciado frecuentemente en el proceso de decisión cuando nos referimos a el valor más “probable” o “posible”, de las diferentes variables aleatorias. Probablemente donde existe mayor interés en su uso es en las distribuciones triangulares.

Insistimos una vez más que de estas tres mediciones de tendencia central la media es por mucho el parámetro más útil. Otro punto a recordar es que en general, la media, mediana y moda son todos diferentes valores en una distribución.

Una excepción a esto es cuando tenemos una distribución continua posee una forma simétrica. En estos casos, la media, mediana y algunas veces la moda pueden coincidir (p.e. en una distribución normal y una distribución uniforme). Hay que tener cuidado cuando se menciona un “promedio”, ya que cualquiera de los parámetros de tendencia central antes mencionados puede representarlo en diferentes contextos, estrictamente la moda en la mayoría de los casos.

La media de una distribución o conjunto de datos se puede calcular de varias maneras. Si tienes la información actual, se puede calcular sumando todos los valores dividiéndolos con el número total de datos. También llamado promedio aritmético, para un conjunto de datos de la muestra es exactamente lo mismo que la media.

Si el conjunto de datos es muy grande esto puede ser muy tedioso, y es frecuentemente usado el cálculo de la media agrupando los datos en intervalos o rangos de valores contando el número de valores que caen dentro de cada rango. La siguiente fórmula es usada para calcular una aproximación del valor de la media.

$$\mu = \frac{\sum_i n_i x_i}{\sum_i n_i}$$

Donde n es la frecuencia, o el número, o datos en cada intervalo y x es el punto medio de cada rango de intervalo, i es el índice que denota los diferentes intervalos (i = 1, 2, 3, 4,...)

El valor de μ calculado con la ecuación anterior es una aproximación ya que está basado en el supuesto de que los valores de la variable aleatoria dentro de los rangos o intervalos ocurren en el punto medio. Sin embargo, la aproximación es bastante buena, y el valor obtenido de esta ecuación puede ser lo suficiente preciso para nuestro trabajo en el análisis de riesgo. Cuando se analiza información estadística agrupada en intervalos es aconsejable tener al menos 8 intervalos para obtener un valor representativo de μ . El tamaño de los intervalos no necesariamente tiene que ser igual. La ecuación anterior puede ser usada con todos los tipos de datos que puede tener una continuidad en sus valores.

Para distribuciones discretas, la ecuación que se usa para calcular el valor de la media es la siguiente:

$$\mu = \sum_i x_i p_i$$

Donde P_i es la probabilidad de ocurrencia del valor x_i de la variable aleatoria.

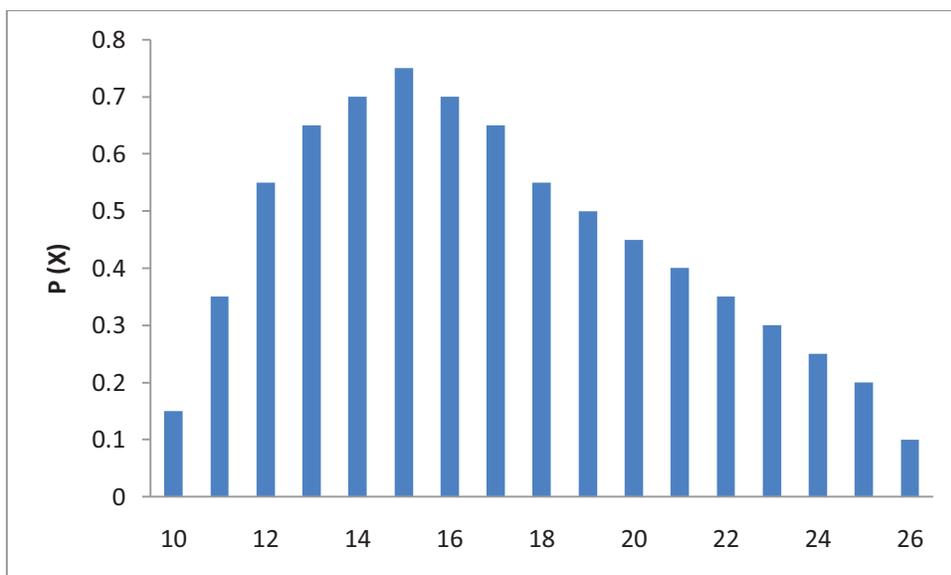


Figura 2 Distribución de probabilidad discreta

En referencia a la figura 2, en una distribución discreta x_i son los posibles valores discretos que podemos tener de la variable aleatoria (10, 11, 12, . . .) y p_i son las probabilidades de ocurrencia por cada valor x_i que se leen de el eje vertical. La ecuación anterior es usada para un valor discreto de la variable aleatoria, obteniendo un valor de la media exacto y no aproximada.

Para los matemáticos, el valor de la media de una distribución de probabilidad continua es calculado con la siguiente integral

$$\mu = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx$$

Donde $f(x)$ es la función de densidad de la probabilidad de la variable aleatoria x .

Podemos abreviar los diferentes métodos de obtención de la media en la siguiente tabla:

Tabla 2 Métodos de obtención de la media.

Tipo de Información o datos	Método para la obtención del valor de la media
Conjunto de datos de la muestra de la variable aleatoria	Calcular el promedio aritmético
Valores de la variable aleatoria en una relación de grupos o intervalos	Usar la ecuación: $\mu = \frac{\sum_i n_i x_i}{\sum_i n_i}$
Distribuciones de probabilidad discretas, donde las probabilidades son conocidas en frecuencias relativas para cada valor	Usar la ecuación: $\mu = \sum_i x_i p_i$
Una función de densidad de probabilidad, f(x), en fórmula	Evaluar la integral: $\mu = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx$
Una gráfica de distribución de probabilidad o su equivalente en frecuencia acumulada	Segmentar la distribución usando formas geométricas usando una aproximación con tablas

2.1.2 Medidas de Variabilidad

El valor de la media de una distribución nos dice información importante acerca de la variable aleatoria de la distribución, pero no nos dice nada acerca de la dispersión o variabilidad de los posibles valores de la variable con respecto a la media. ¿Los valores posibles se encuentran cerca de la media o son muy dispersos?, cualquiera de los parámetros de variabilidad nos daría esta

información y por lo tanto nos ayudarían a describir las distribuciones. El más importante de ellos en la medición de la incertidumbre es la desviación estándar.

Desviación estándar: La raíz cuadrada de la varianza. Mientras que la varianza es lo que se calcula primero, la desviación estándar es mucho más significativa.

Varianza: El valor esperado del cuadrado de la desviación respecto a la media.

Todo valor posible de una variable aleatoria está localizado a una distancia dada de la media, medida a lo largo del eje horizontal. Estas distancias son llamadas desviaciones respecto a la media. Le media del cuadrado de las desviaciones respecto a la media es llamada varianza, y la desviación estándar es definida como la raíz cuadrada no negativa de la varianza. Todas las distribuciones tiene una desviación estándar y sus unidades son idénticas a las unidades de la variable aleatoria. Los símbolos para la desviación estándar y la varianza son σ y σ^2 , respectivamente.

El significado físico de la desviación estándar es que nos dice el grado de propagación, o dispersión de la distribución en cualquiera de los lados del valor de la media. La desviación estándar es mayor en distribuciones amplias. En la figura 3, la desviación estándar de la distribución estrecha A, es menor que la distribución B.

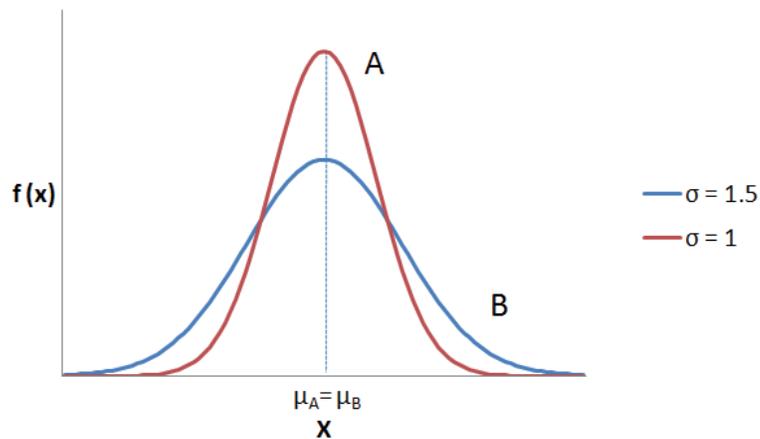


Figura 3 Comparación de desviaciones estándar

La desviación estándar es el segundo parámetro estadístico en utilidad. De hecho, ciertas distribuciones como la normal y la log normal pueden ser completa y únicamente definidas con el

simple hecho de especificar la media y la desviación estándar. Otras medidas de la variabilidad como el rango, desviación media, rango percentil 10-90, etc. son menos útiles para la evaluación del riesgo en la industria petrolera.

Al igual que la media, el analista tiene varias opciones de cálculo de la desviación estándar dependiendo del formato de los datos o la información.

Si se conoce la población entera de N igualmente probables valores, podemos calcular σ usando la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}}$$

Donde x_i son los valores de la variable aleatoria, μ es la media, y N es el número de valores de la población.

Nótese que al calcular σ , debemos calcular antes μ del conjunto de datos. El término $(x_i - \mu)$ es la distancia, o desviación del valor de x_i de μ . Cuando el término es cuadrado, $(x_i - \mu)^2$, es llamado desviación cuadrada respecto a la media. La operación matemática de sumar estas desviaciones cuadradas y dividir las entre N, el número total de valores, es simplemente el cálculo del promedio aritmético, o media de las desviaciones cuadradas. Finalmente, realizamos la raíz cuadrada de la media de las desviaciones cuadradas resultando un valor de σ , la desviación estándar.

Si se tienen muchos valores en el conjunto de datos estadísticos a analizar, la aritmética en la solución de la ecuación anterior puede ser tediosa. En estos casos, es útil dividir los valores posibles de la variable aleatoria en rangos o intervalos pequeños, estimando el número de datos que caen en cada rango. Para este tipo de procedimiento, en rangos, la ecuación a utilizar para calcular la desviación estándar es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i [n_i (x_i - \mu)^2]}{\sum_i n_j}}$$

Donde n_j es la frecuencia, o el número de datos en cada rango, n_i es el punto medio de cada rango o intervalo, e i es el índice que denota los diferentes intervalos.

El valor de σ calculado con la ecuación anterior es una aproximación ya que asume que los valores de la variable aleatoria dentro del rango ocurren en el punto medio. Sin embargo, esta suposición no es crítica si el total de valores se ha dividido en ocho o más intervalos.

Si estudiamos una variable aleatoria con solo valores discretos, como la figura 2, la ecuación para calcular σ sería:

$$\sigma = \sqrt{\sum_i p_i (x_i - \mu)^2}$$

Donde p_i es la probabilidad del valor x_i de la variable aleatoria y μ se obtiene con la fórmula planteada para distribuciones discretas.

De la ecuación anterior se obtiene el valor exacto de σ , no una aproximación.

Si se tiene una función densidad de probabilidad, $f(x)$, σ se calcula con la siguiente integral:

$$\sigma = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx}$$

Finalmente si se tiene una distribución de frecuencia acumulada, podemos utilizar esta información para calcular la media.

Podemos abreviar los diferentes métodos para la obtención de la desviación estándar en la siguiente tabla:

Tabla 3 Métodos de obtención de la desviación estándar.

Tipo de información o datos	Métodos de la obtención de la desviación estándar
<p>Conjunto de datos de la muestra de la variable aleatoria</p>	<p>Se usa la ecuación:</p> $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}}$
<p>Valores de la variable aleatoria en una relación de grupos o intervalos</p>	<p>Se usa la ecuación:</p> $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i [n_i (x_i - \mu)^2]}{\sum_i n_i}}$
<p>Distribuciones de probabilidad discretas, donde las probabilidades son conocidas en frecuencias relativas para cada valor</p>	<p>Se usa la ecuación:</p> $\sigma = \sqrt{\sum_i p_i (x_i - \mu)^2}$
<p>Una función de densidad de probabilidad, $f(x)$, en fórmula</p>	<p>Se evalúa la integral:</p> $\sigma = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx}$
<p>Una gráfica de distribución de probabilidad o su equivalente en frecuencia acumulada</p>	<p>Segmentar la distribución usando formas geométricas usando una aproximación con tablas</p>

2.1.3 Distribuciones Probabilísticas de Interés en la Industria Petrolera

Las diferentes variables y parámetros involucrados en la industria petrolera pueden llegar a establecer situaciones complicadas y difíciles de simular, y por lo tanto, el conocimiento de los parámetros involucrados en un análisis previo de riesgo e incertidumbre representa el iniciar una cultura competitiva⁵. Los profesionales que desempeñan el análisis de riesgo e incertidumbre, poseen una herramienta probabilística y de estudio estadístico, donde radica el manejo de las distribuciones probabilísticas para realizar una simulación lo más aproximada posible a los distintos comportamientos y fenómenos en las diferentes áreas de la industria petrolera.

El conocimiento de sus parámetros principales, comportamiento y solución, representan la base de la interpretación de las distintas distribuciones probabilísticas involucradas en la industria petrolera, enfatizando su utilización en la gestión de la incertidumbre y el riesgo⁵. A continuación, se presentan algunas de las más importantes.

Distribución Normal

La distribución normal es una de las distribuciones más común y más usadas en estática y simulación. Es una distribución de probabilidad continua que tiene una forma simétrica similar a una campana, Figura 4. Es a veces llamada distribución gaussiana, después que el matemático alemán Karl Gauss desarrollara las bases matemáticas para la distribución. Cuando las personas se refieren a la curva de campana, se refieren a una distribución normal.

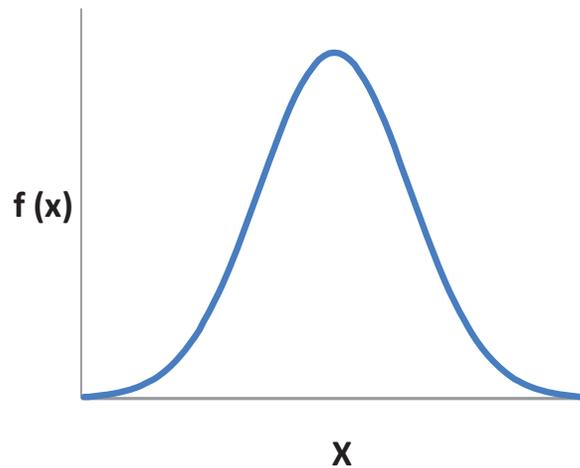


Figura 4 Distribución Normal

La información que está típicamente distribuida de forma normal puede ser la porosidad de un núcleo, porcentajes de minerales en rocas, y los porcentajes de algunos elementos químicos contenidos en la roca.

Las características específicas de la distribución normal incluyen:

- a. La distribución es completa y únicamente definida por dos parámetros, más a menudo μ y σ . De manera menos popular, aunque también adecuado, podemos especificar la curva normal usando dos puntos cualesquiera de confianza. Por ejemplo, podemos especificar en el eje x los valores de 0.10 y 0.90 de una gráfica de frecuencia acumulada.
- b. La moda (el valor más probable), mediana (valor de la variable aleatoria que divide la distribución en 2 partes iguales), y la media son iguales.
- c. La curva de distribución es simétrica, y los puntos de inflexión de la curva ocurren en valores de la variable aleatoria correspondientes a $\mu + \sigma$ y $\mu - \sigma$. Todas las distribuciones normales (independientemente de las unidades de x o el tipo de parámetro descrito como x) tienen 0.6826 del total de área debajo de la curva dentro de los límites de $\mu \pm \sigma^2$.

Esto es, la probabilidad de toda variable aleatoria distribuida de manera normal dentro de los límites de $\mu + \sigma$ y $\mu - \sigma$ es de 0.6826. Para $\pm 2\sigma$ el área debajo de la curva es 0.9544 y para $\pm 3\sigma$ el área es 0.9974.

- d. El límite teórico de una distribución normal es $+\infty$ y $-\infty$. En la práctica, sin embargo, truncamos la distribución a valores correspondientes a 3, 4 o 5 desviación estándar ya que las probabilidades de x afuera de estos límites es insignificante.
- e. La gráfica de frecuencia acumulada de una distribución normal, cuando se grafica en papel coordenado, tiene la forma de una “S” simétrica (sigmoidea), como se muestra en la figura 5. Cuando se utiliza un papel específico llamado de probabilidad normal usualmente la gráfica de la frecuencia acumulada se identifica como una línea recta.

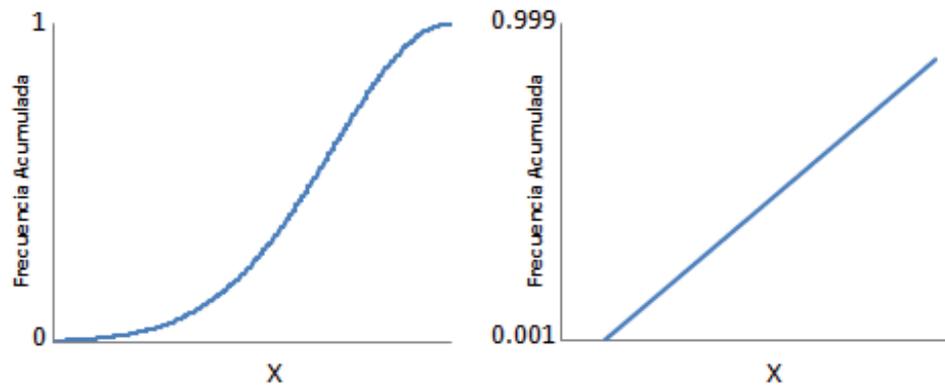


Figura 5 Frecuencia Acumulada en papel coordenado y papel de probabilidad normal

Si se utiliza datos estadísticos para graficar la frecuencia acumulada de la distribución, los parámetros de la distribución normal pueden ser leídos directamente de la gráfica. El valor de la media de la distribución será el valor de la variable aleatoria correspondiente al 50 percentil. Esto es, $\mu = x_{0.50}$. La desviación estándar es determinada restando el valor de la variable aleatoria correspondiente al percentil 50 al valor correspondiente al percentil 84.1. Esto es $\sigma = x_{0.841} - x_{0.50}$. Estas técnicas gráficas solo aplican en el caso especial de la distribución normal.

- f. Adicionalmente a los métodos usuales de lectura de probabilidades (áreas) de una distribución normal (leyendo los valores de probabilidad de una curva de frecuencia acumulada, integrando la función densidad de probabilidad, etc.) podemos además leer las áreas debajo de la curva usando una tabla. Para el uso de este procedimiento, debemos calcular el valor estandarizado a dimensional t .

$$t = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Donde x es el valor de interés específico de la variable aleatoria, μ es la media de la distribución normal y σ es la desviación estándar de la misma.

En Microsoft Excel, los valores de la tabla se pueden obtener usando: =NORMDIST (T,0,1,TRUE) Esto se usa para leer áreas debajo de la curva de cualquier distribución normal, sin tener en cuenta el tipo y unidades de la variable aleatoria.

En resumen, si la variable aleatoria de interés está normalmente distribuida podemos leer áreas debajo de la curva (probabilidades) usando la tabla antes mencionada o gráficamente de la gráfica de frecuencia acumulada. Para el proceso con la tabla, debes conocer antes los valores de μ y σ . Para graficar la frecuencia acumulada puedes usar los datos de μ y σ o la información estadística usada para calcular μ y σ .

Distribución Log Normal

La distribución Log Normal es una distribución de probabilidad continua similar a la distribución normal con la excepción de su asimetría. Esto significa que esta es sesgada hacia un lado, como la figura 6. La distribución puede estar sesgada hacia cualquier dirección. La distribución Log Normal se encuentra positivamente sesgada como en la figura 6. Esto describe una variable aleatoria que tiene una pequeña posibilidad de grandes valores numéricos y gran oportunidad de valores pequeños dentro de la variable. Algunos ejemplos de variables aleatorias que se pueden representar con una distribución Log Normal son la permeabilidad de núcleos, espesor de capas sedimentarias, recuperación de aceite dada una información de mecanismos de producción, y los tamaños de yacimientos en un determinado play geológico.

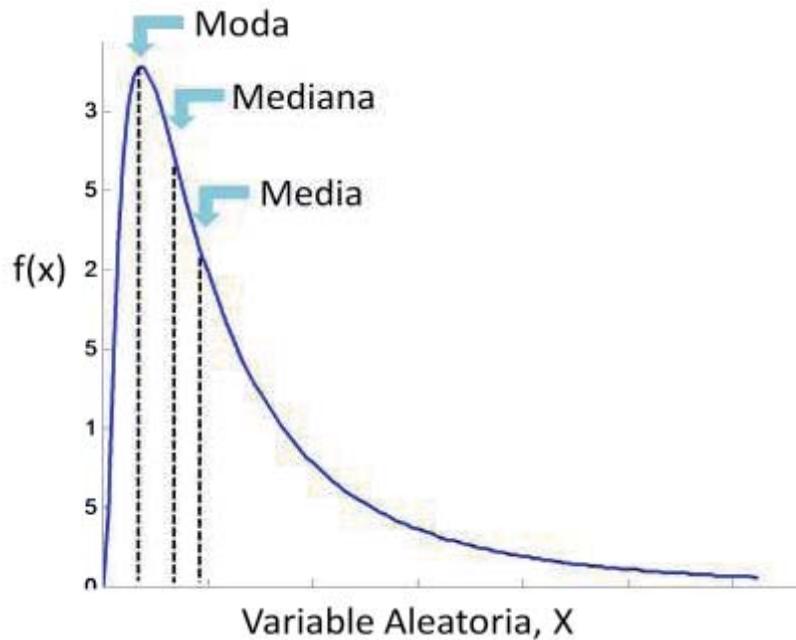


Figura 6 Distribución Log Normal

Entre las características de la distribución Log Normal se incluye:

- a. La distribución es completa y únicamente definida con los parámetros μ y σ . Como también con cualquier par de puntos (un poco más tedioso y difícil de trabajar), como $x_{0.10}$ y $x_{0.90}$.
- b. Si la variable aleatoria, x , está distribuida de manera Log Normal, los logaritmos de los valores numéricos de x están distribuidos normalmente. Esto es, que si transformamos $y = \ln(x)$, donde la variable aleatoria x está distribuida de manera Log Normal, la transformación y está normalmente distribuida.
- c. Los límites teóricos de una distribución Log Normal son de 0 a $+\infty$. El límite izquierdo es cero ya que los logaritmos son indefinidos para cero y números negativos. En la práctica, la mayoría de los profesionales y software usualmente truncan la distribución después de que la curva se convierte casi asintótica con la abscisa.
- d. La gráfica de frecuencia acumulada de una distribución Log Normal está representada por una línea cuando se grafica en papel de probabilidad Log Normal. Este papel para graficar es similar al papel de probabilidad normal a diferencia que la escala de los valores está en escala logarítmica.

La μ y σ de una variable aleatoria distribuida log normalmente no puede leerse directamente de la gráfica (como en la distribución normal). Es un error común asumir que el percentil 50 representa la media en una gráfica de frecuencia acumulada de una distribución Log Normal. Como vimos en la figura anterior, la mediana y la media de una distribución Log Normal no son coincidentes.

- e. Para calcular μ y σ de una variable distribuida log normalmente podemos usar las siguientes ecuaciones.

$$\mu = \frac{\sum_i n_i x_i}{\sum_i n_i}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i [n_i (x_i - \mu)^2]}{\sum_i n_i}}$$

Si los datos estadísticos se representan en una gráfica de frecuencia acumulada en papel de probabilidad log normal, μ y σ pueden obtenerse utilizando las ecuaciones siguientes:

$$\mu_x = e^{\mu_y + \frac{\sigma_y^2}{2}}$$

$$\sigma_x^2 = \mu_x^2 (e^{\sigma_y^2} - 1)$$

Donde μ_x y σ_x son los parámetros de la variable distribuida log normalmente x , y μ_y y σ_y son los parámetros de la variable transformada $y = \ln(x)$. Los valores μ_y y σ_y son los logaritmos de los valores leídos de una gráfica log normal de frecuencia acumulada. Este proceso puede resultar tedioso, así que la manera más práctica de obtener μ y σ es utilizando las ecuaciones al inicio del inciso e.

- f. El significado de la desviación estándar de una distribución log normal es el mismo que cualquier otra distribución, cuanto mayor sea el valor de σ mayor será el rango (variabilidad) de la variable. Sin embargo, no podemos decir lo mismo de las otras características de que se aplican en la distribución normal. Por ejemplo, en los intervalos de $\mu \pm \sigma$ de una distribución log normal la probabilidad no es 0.6826, además, su intervalo de confianza no es simétrico en probabilidad ya que la distribución esta sesgada.

En la distribución Log Normal podemos concluir que los datos estadísticos se pueden analizar de igual manera que una distribución normal, con la excepción de su representación gráfica de

frecuencia acumulada en papel log normal. Para evitar utilizar ecuaciones exponenciales, la mejor manera y además segura de calcular es usando las ecuaciones planteadas en el inciso e. La más común de las aplicaciones de las distribuciones log normal es la representación de datos de reservas, de recuperación y de espesor de formación.

Distribución Uniforme

La distribución uniforme es una distribución continua de probabilidad que describe una variable aleatoria en donde todos los valores dentro de un rango tienen la misma probabilidad de ocurrir. Un ejemplo se representa en la figura 7, para una variable aleatoria x . Todos los valores dentro de $x_{\text{mínima}}$ y $x_{\text{máxima}}$ tienen la misma probabilidad de ocurrir. La distribución uniforme a veces se conoce como rectangular o boxcar (vagón), o aleatoria.

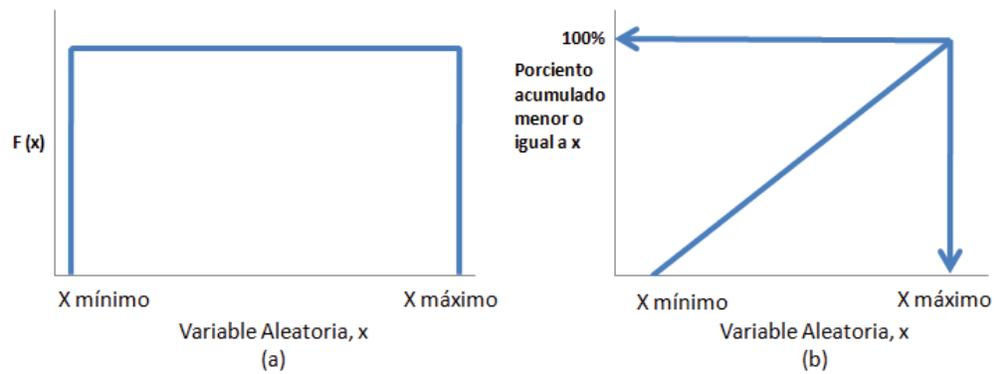


Figura 7 a) Ejemplo de distribución uniforme b) Frecuencia acumulada.

El valor de la media de una distribución uniforme es coincidente y ocurre en el punto medio de la distribución de la variable aleatoria entre $x_{\text{mínima}}$ y $x_{\text{máxima}}$ que es:

$$\mu = \frac{x_{\text{mínima}} + x_{\text{máxima}}}{2}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_{\text{mínima}} + x_{\text{máxima}})^2}{12}}$$

La gráfica de frecuencia acumulada de una distribución uniforme está representada por una línea recta, como se muestra en la figura 6 b). El punto de percentil 0.0 (menor o igual) corresponde a

$x_{\text{mínima}}$ y el percentil 100 corresponde a $x_{\text{máxima}}$. Los únicos dos valores numéricos requeridos para especificar una distribución uniforme son los límites inferior y superior de la variable aleatoria.

El principal uso de esta distribución en la industria petrolera, especialmente en el análisis de riesgo en la exploración es con la simulación Monte Carlo. Este método de simulación en análisis de riesgo permite al profesional expresar la incertidumbre acerca de los posibles valores de algún parámetro expresado en una distribución. En este contexto, la distribución uniforme es usada para representar la incertidumbre con respecto a una variable en donde el analista solo puede especificar un posible valor mínimo y un máximo.

Distribución Triangular

La distribución triangular es una distribución de probabilidad continua que tiene forma triangular, figura 8. El valor de la moda, x_2 , puede localizarse en los valores mínimos o máximos de la variable aleatoria, mismos que construyen una distribución en forma de triángulo rectángulo.

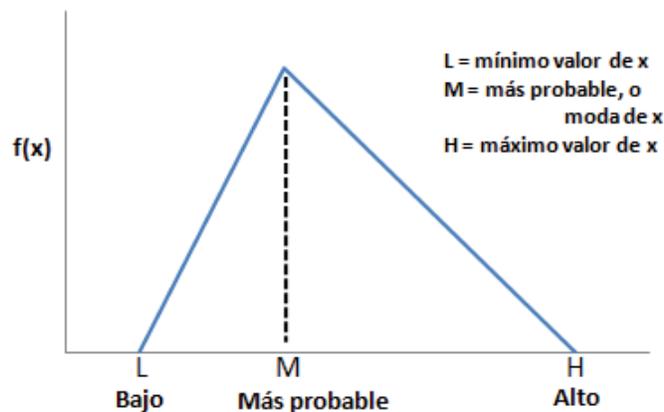


Figura 8 Distribución triangular

La distribución triangular está completamente definida especificando el mínimo, máximo y más probable valor de la variable aleatoria. El valor de la media y la desviación estándar de una distribución triangular pueden ser calculados con las siguientes relaciones:

$$\mu = \frac{L + M + H}{3}$$

Donde L, M y H son el mínimo, el más probable y el máximo valor de la variable aleatoria respectivamente.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(H - L)(H^2 - LH + L^2) - MH(H - M) - LM(M - L)}{18(H - L)}}$$

Existen probablemente algunas, o pocas variables que están representadas en distribuciones triangulares. El uso frecuente de la distribución triangular se presenta en la simulación del análisis de riesgo. Es comúnmente usada para representar una distribución de posibles valores de una variable aleatoria en donde la única información conocida o supuesta es el valor mínimo, el más probable y el mayor.

Existen aproximaciones que pueden ser usadas para convertir una distribución triangular a su equivalente en forma de frecuencia acumulada, pero se puede decir que el método más fácil y seguro es con las siguientes dos ecuaciones:

Probabilidad acumulada para los valores de x menores o iguales a M:

$$P(\leq x) = \frac{(x')^2}{m}$$

Probabilidad acumulada para valores de x mayores o iguales a M:

$$P(\geq x) = 1 - \left[\frac{(1 - x')^2}{1 - m} \right]$$

Donde:

$$x' = \frac{x - L}{H - L} \quad y \quad m = \frac{M - L}{H - L}$$

El cambio de variables transforma el triángulo en dos proporciones iguales una empezando en 0 y la otra terminando en 1.

Para encontrar el área acumulada desde la izquierda bajo la curva de distribución triangular a un valor x debes resolver la primera ecuación planteada anteriormente, usando la ecuación siguiente en un caso opuesto. El parámetro m es una constante para una distribución triangular dada, y el valor de x' varía, dependiendo del valor de x .

Distribución Binomial

La distribución binomial es una distribución de probabilidad discreta que describe las probabilidades de un conjunto de valores en un número específico de ensayos. La distribución es ampliamente usada en el control de calidad para determinar las probabilidades de piezas defectuosas en un conjunto de piezas manufacturadas. En exploración petrolera, la distribución puede utilizarse en ciertas condiciones para calcular las probabilidades de éxito en un conjunto de descubrimientos en un programa de perforación de pozos. El fenómeno estocástico de este tipo es llamado Proceso de Bernoulli y el conjunto de ensayo son ensayos de Bernoulli.

La ecuación de probabilidad binomial es un caso especial del proceso general de Bernoulli en donde dos resultados pueden ocurrir en cada ensayo. Los resultados son llamados éxitos o fracasos, pozo seco o descubrimiento, águila o sol. Comúnmente se define la ecuación en términos de sucesos o fracasos. Los parámetros que se requieren para especificar una distribución binomial son n , el número total de ensayos y p , que es la probabilidad de éxito de cada ensayo.

La variable aleatoria es el número de éxitos en n ensayos, y es asignada con el símbolo x . La ecuación de probabilidad binomial es:

$P(x \text{ éxitos en } n \text{ ensayos, y en cada ensayo se tiene una probabilidad } p \text{ de éxito.})$

$$P = b(x, n, p) = C_x^n p^x (1 - p)^{n-x}$$

Donde

$x = \text{número de éxitos } (0 \leq x \leq n)$

$n = \text{número total de ensayos}$

$p = \text{probabilidad de éxito de cada ensayo}$

$$C_x^n = \frac{n!}{x!(n-x)!}$$

El término C_x^n es una notación matemática para “la combinación de n cosas tomando x a un tiempo”. Esto es, que representa el número de maneras mutuamente exclusivas que x éxitos se pueden obtener en n ensayos. Los términos $n!$, $x!$, y $(n-x)!$ son factoriales y son el producto de los enteros de n a 1, x a 1 y $(n-x)$ a 1, respectivamente. Un caso especial es el cero factorial $0!$, que es definido como 1.

La probabilidad binomial de la ecuación $p = b(x, n, p) = C_x^n p^x (1-p)^{n-x}$ describe un proceso estocástico que tiene tres características importantes:

1. Solo dos resultados pueden ocurrir
2. Cada ensayo es un evento independiente
3. La probabilidad de cada resultado permanece constante en cada ensayo

En donde se debe tomar en cuenta que cuando se utiliza la ecuación binomial de probabilidad se deben cubrir estas tres condiciones.

Al resumir, la ecuación de probabilidad binomial puede utilizarse para evaluar las probabilidades de los programas de perforación de pozos. Se utilizan tablas de probabilidad binomial o software, siendo un método simple y rápido para determinar las probabilidades de 1, 2, 3,... descubrimientos. Hay, sin embargo, un número determinado de escenarios de exploración en donde este simple cálculo puede ser aplicado de manera realística, principalmente debido a la falta de independencia de los eventos. En general, la perforación de una secuencia de pozos es una serie dependiente de eventos, no independientes.

Distribución Multinomial

La distribución discreta que describe el proceso general de Bernoulli en donde cualquier número de resultados pueden ser considerados es llamada distribución de probabilidad Multinomial. La distribución Binomial solo considera dos posibles resultados, mientras que la multinomial puede tener cualquier número de resultados discretos. La siguiente ecuación calcula las probabilidades multinomiales:

$$P(x_1, x_2, \dots, x_r) = \frac{n!}{x_1! x_2! \dots x_r!} P_1^{x_1} P_2^{x_2} \dots P_r^{x_r}$$

Donde

n = número total de ensayos

r = número de posibles resultados

x_1 = número de veces que el resultado 1 ocurre en n ensayos

x_2 = número de veces que el resultado 2 ocurre en n ensayos

.

.

.

x_r = número de veces que el resultado r ocurre en n ensayos

P_1 = Probabilidad del resultado 1 en cada ensayo

P_2 = Probabilidad del resultado 2 en cada ensayo

.

.

.

P_r = Probabilidad del resultado r en cada ensayo

y

$$x_1 + x_2 + \dots + x_r = n$$

$$P_1 + P_2 + \dots + P_r = 1.0$$

La ecuación anterior aplica en los procesos en donde cada ensayo es un evento independiente y las probabilidades de ocurrencia de cada resultado permanecen constantes en ensayos repetidos. La probabilidad de la ecuación binomial es un caso especial de la ecuación anterior donde $r = 2$.

La distribución de probabilidad multinomial es ocasionalmente usada en el análisis de riesgo en la exploración, y el analista debe al menos tener en cuenta y atención a los valores al expandir la ecuación binomial en más de dos resultados.

Distribución Hipergeométrica

La distribución binomial y multinomial de probabilidad están basadas en la noción de ensayos independientes, que a su vez implica un muestreo con un proceso de sustitución (o un espacio muestral infinito). La versión de distribución análoga discreta basada en un espacio muestral finito y un muestreo sin sustitución se llama distribución hipergeométrica.

Es una distribución discreta que no presupone de independencia entre cada ensayo como el proceso de Bernoulli. Esta importante distribución es útil para nosotros en el procesamiento de probabilidades con varios resultados de un programa múltiple de perforación de pozos donde solo se cuenta con un número limitado de prospectos.

La ecuación de probabilidad hipergeométrica para el caso de dos posibles resultados es la siguiente:

P (x éxitos en n ensayos donde d_1 es el número de éxitos inicialmente en una población de tamaño N)

$$P = \frac{C_x^{d_1} C_{n-x}^{N-d_1}}{C_n^N}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra (número de ensayos)

d_1 = Número de éxitos en el espacio muestral antes de que se realicen los n ensayos

N = Número total de elementos en el espacio muestral antes que los n ensayos se realicen (que d_1 elementos identificados como éxitos y $N - d_1$ elementos como fracasos)

x = La variable aleatoria de la distribución de probabilidad hipergeométrica, el número de éxitos en n ensayos
Naturalmente x no puede ser mayor a n

Y

$$C_b^a = \text{Número de combinaciones de } a \text{ tomados a un tiempo } b$$

Para utilizar esta fórmula de la distribución de probabilidad hipergeométrica necesitamos especificar d_1 , n y N . La variable aleatoria es x . Nótese que d_1 y N representan el número de éxitos en el espacio muestral y el total de elementos en el espacio muestral antes de que la muestra de n ensayos se realice. El radio d_1/N corresponde a la proporción de éxitos en el espacio muestral antes del primer ensayo y su análogo del parámetro P de la ecuación de probabilidad binomial. La media y desviación estándar de una distribución hipergeométrica son:

$$\pi = \frac{nd_1}{N}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{nd_1(N - d_1)(N - n)}{N^2(N - 1)}}$$

Como se puede identificar, el manejo de las distribuciones probabilísticas en la simulación de los diferentes comportamientos y fenómenos en la industria petrolera, representa una herramienta básica en la estimación y gestión del riesgo e incertidumbre. Su importancia y conocimiento por parte de los profesionales involucrados en estos análisis, son un claro ejemplo de la importancia de la familiaridad de su manejo en la educación del profesional en ingeniería petrolera.

2.2 Aplicaciones Petroleras

2.2.1 El Riesgo y su Proyección en el Negocio de la Exploración y Producción

Uno de los más antiguos y recientes métodos en los análisis de riesgo es el concepto de diversificación y elaboración de un portafolio de inversión con activos individuales. Es decir, los activos individuales pueden presentarse como prospectos exploratorios o nuevos yacimientos, adquisición de nuevas tecnologías, así como proyectos tales como desarrollo de campos, pozos no convencionales, operaciones colectivas o programas de adquisición de información. El concepto de

activos individuales parte de la diversificación de los prospectos contemplados en un programa de inversión, donde podemos conceptualizarlos como inversiones, mismos a los que particularmente se evaluarán buscando precisar su importancia y valor.

Prácticamente desde sus inicios hasta ahora la industria de exploración y producción de hidrocarburos representada por los ejecutivos y profesionales detrás de la toma de decisiones recurren a la diversificación de los recursos, es decir “Spread their bets” como se identifica en inglés, mediante la asignación de recursos a través de una cartera de proyectos. Intuitivamente, la lógica de la diversificación sugiere que las probabilidades de perder en un solo proyecto dado son mayores que perder en una serie de proyectos incluidos en una cartera. En 1952, Harry Markowitz, un estudiante de 25 años, realizó un artículo que revolucionaría el pensamiento acerca de la inversión y evaluación de proyectos en el mundo financiero. Creó las bases de las finanzas modernas, la teoría fundamental de evaluación de proyectos, fondos de inversión, teoría de las opciones y sus derivados⁶.

Una de las principales ideas de la teoría de Markowitz es la ya mencionada diversificación de recursos. El parte de la disminución del riesgo en la diversificación de los recursos, mismo que en presencia de incertidumbre, puede aprovecharse las correlaciones positivas o negativas implicadas en la mitigación, eliminación o valoración del impacto de la incertidumbre en las inversiones a realizar. Así, obteniendo un mejor manejo de los recursos y la incertidumbre inherente presente en los proyectos. Esto presenta un potencial adicional, la comprensión de la relación entre los proyectos en referencia al éxito y el fracaso.

En la Industria de la exploración y producción de hidrocarburos, las relaciones o interdependencias pueden resultar de ciertas condiciones. Las condiciones subterráneas son una fuente, incluyendo la incertidumbre geológica, migración, sello pueden afectar a los prospectos de un *play geológico* dado (es decir, conjunto de yacimientos o prospectos en común alguna característica geológica fundamental). Otro ejemplo de interdependencias se puede tomar en una correlación a través de las propiedades del yacimiento que van a influir en el comportamiento o efectividad del acuífero asociado, o la recuperación secundaria aplicada en yacimientos similares de una región. La incertidumbre geológica implícita en la evaluación de estos prospectos puede jugar un papel más

positivo que negativo, en el caso de interdependencias negativas, tales como áreas de baja permeabilidad o fallas, se puede acotar un área de evaluación eliminando una generalidad, incrementando la precisión de la adquisición de datos que agreguen un valor a algunos prospectos, disminuyendo el riesgo y mitigando o eliminando incertidumbre. La noción de *play geológico*, es un ejemplo primordial de la importancia del conocimiento en la evaluación de prospectos y el manejo de la incertidumbre. Cuando se realiza un análisis formal de riesgo (a nivel de proyecto o cartera), estas interdependencias se consideran como fuente de información o conocimiento en la elaboración del análisis formal, o como factores de juicio en la parte informal del análisis.

Adicionalmente a las condiciones subterráneas y su incertidumbre asociada, las condiciones superficiales poseen incertidumbres que contribuyen a las interdependencias de manera positiva o negativa. Algunas de las condiciones que se pueden presentar, el precio futuro del petróleo, cambios en la demanda y los sistemas de transporte y almacenamiento, así como nuevas tecnologías de exploración y producción, normas ambientales y fiscales por nombrar algunos. Muchos analistas simplemente ignoran estas condiciones superficiales.

Las afectaciones causadas por estas condiciones pueden repercutir en mayor costo, menor recuperación, disminución de la eficiencia y la optimización de tiempos, limitaciones en la explotación de hidrocarburos, etc., afectando la viabilidad del proyecto o inversión en relación al incremento de costos y disminución de la rentabilidad.

Por más adverso o difícil que se presenta estas interdependencias entre los diferentes prospectos de inversión y proyectos planteados en un portafolio, la relación entre las diferentes incertidumbres y la estimación y valoración del riesgo, resulta en un análisis complicado o casi imposible para las herramientas convencionales de análisis. El manejo de la incertidumbre y la estimación del riesgo, son factores importantes que deben considerarse en el análisis de cada proyecto e inversión. El aprovechamiento de las correlaciones e interdependencias positivas y negativas, así como la relación existente en los prospectos de una cartera de proyectos, son factores implícitos en el ejercicio de la evaluación de proyectos, el aprovechamiento de estas relaciones merece importancia y consideración, la disminución de la incertidumbre y la correcta

evaluación de opciones reales, son la pauta en la toma de decisiones y adicionalmente un conocimiento y experiencia en los proyectos futuros.

2.2.2 Aversión al Riesgo

Los economistas parten de la base que el grado de aversión al riesgo disminuye a medida que aumenta la riqueza de una compañía, y que a medida que ésta se enriquece, se encuentra mejor preparada para afrontar proyectos más riesgosos y de mayor tamaño. Si una compañía menor recibe una oferta de realizar un proyecto riesgoso con la perspectiva de obtener ganancias considerables, o su caso adverso, afrontar una pérdida que absorbería una parte importante de su capital, podría rechazarla. Por el contrario, una compañía de mayor, para la cual esa pérdida no representa una proporción tan significativa, podría aceptar ese mismo proyecto.

Recientemente se realizó un estudio en la Escuela de Minas de Colorado, (CSM, por sus siglas en inglés), examinando el comportamiento debido al riesgo de 40 de las principales compañías establecidas en EUA durante un periodo de 15 años, de 1981 a 1995.⁶ Los investigadores tomaron como punto de partida la situación en la cual los responsables de tomar decisiones evalúan una potencial inversión, teniendo en cuenta no sólo los riesgos implícitos, sino también el capital de la compañía que se expone a la posibilidad de pérdida.

Los investigadores de CSM utilizaron el concepto de relación de tolerancia al riesgo (RTR, por sus siglas en inglés), para establecer una comparación entre las compañías⁶. La RTR parte de la relación entre la tolerancia al riesgo que se observa en una compañía, RT, dividido por la tolerancia al riesgo prevista para la empresa RT', representado en valor monetario. Mediante el ejemplo mostrado en la Tabla 4, muestra cómo funciona la RTR.

Tabla 4 Estimación de la Relación de Tolerancia al Riesgo (RTR).

	Operador 1	Operador 2	Operador 3
Flujo de caja; (prospero)	\$1,000 millones	\$100 millones	\$10 millones
RT' (pronosticada)	\$100 millones	\$15 millones	\$2 millones
RT (Real)	\$50 millones	\$20 millones	\$2 millones
RTR (RT/RT')	0.5	1.33	1.0

Si el valor de la RTR es mayor que 1.0 implica una mayor tendencia a aceptar riesgos respecto de otras firmas de tamaño equivalente. Cuando el valor de RTR es menor que 1.0 implica una menor tendencia a tomar riesgos respecto a firmas de tamaño equivalente

Para cualquier compañía *i*, el valor RTR_i representa la tolerancia al riesgo prevista, en función del tamaño dado por la medida estandarizada del flujo de caja futuro para el mismo periodo. Si el valor de RTR es superior a 1.0 indica una mayor tendencia a tomar riesgos respecto a otras firmas de tamaños similares.

De acuerdo a lo anterior, se calcularon las relaciones de tolerancia al riesgo de las 17 principales compañías petroleras de EUA durante el periodo 1990 a 1995, Tabla 5. Así comparando Exxon y Shell en 1991, Exxon tuvo un RTR de 0.75 mientras que el RTR de Shell fue de 2.33. Esto sugiere que Exxon se mostró mucho menos dispuesta a tomar riesgos que otras firmas de dimensiones equivalentes, mientras que Shell actuó como un agresivo tomador de decisiones, comparado con otras compañías de tamaño similar.

Tabla 5 Estimación de la RTR para las firmas petroleras.^{5 (modificado)}

Compañía	1995	1994	1993	1992	1991	1990	Activos de E&P en 1995 MM\$
Exxon	1.03	0.83	1.58	1.00	0.75	0.51	66,852
Chevron	0.17	0.31	0.46	0.48	0.64	-	27,913
Texaco	-	1.81	1.47	1.26	0.95	0.74	18,734
Amoco	0.21	0.49	0.71	0.44	0.29	0.12	15,241
Mobil	0.83	1.06	1.74	1.91	-	5.89	14,393
Shell	0.80	1.33	1.15	1.85	2.33	2.58	11,976
USX	0.65	0.46	0.42	10.08	0.36	0.45	10,109
Arco	1.00	4.63	3.13	1.49	1.41	1.23	9,127
Conoco	1.44	2.41	2.82	2.36	3.26	3.31	6,649
Phillips	1.92	1.37	1.81	1.97	2.80	1.85	4,828
Unocal	5.22	-	1.92	2.01	2.92	1.96	4,719
Occidental	1.39	2.61	2.58	-	2.91	3.32	4,594
Amerada	0.95	2.18	2.79	0.69	-	-	3,873
Anadarko	-	1.57	1.29	2.05	2.00	2.80	2,267
Pennzoil	0.22	0.50	0.67	-	0.38	0.27	1,992
Kerr McGee	-	2.98	-	-	1.74	0.97	1,748

El estudio definió cuatro categorías con respecto a la toma de riesgos. Las firmas que se encuentran en la categoría de alta tolerancia al riesgo (más de 2.5) presentan una tasa de retorno sobre sus activos mucho mayor (8.6%), que las firmas que están menos dispuestas a tomar riesgos. Las firmas comprendidas en las otras categorías han mostrado un comportamiento de aversión al riesgo y reciben un retorno sobre sus activos muy inferior. El estudio del CSM sugiere que, en promedio, las compañías dedicadas a la exploración tienden a ser más cautelosas con respecto a los proyectos riesgosos y, en consecuencia, han obtenido menores beneficios de los que podrían haber logrado de haber actuado en forma diferente.

Tanto los ingenieros como los matemáticos y expertos en otras disciplinas, han ideado diversas herramientas que nos permiten comprender las incertidumbres, así evaluar y mitigar los riesgos. En la industria del petróleo y el gas abundan las incertidumbres y se enfrentan nuevos riesgos a cada

momento, sin embargo, muchos de los responsables de tomar decisiones en el ámbito petrolero, tal vez gran parte de ellos, no recurren a estos recursos. Ambos aspectos revisten gran importancia en todas las etapas del negocio, exploración, producción, mercadotecnia y distribución de combustibles, razón por la cual la industria ejemplifica la necesidad de utilizar sofisticados enfoques para la evaluación de los riesgos. No obstante, se evidencia que si bien existen numerosas y rigurosas herramientas de evaluación, no se las utiliza al máximo de su potencial, en algunos casos inclusive las grandes compañías, se basan usualmente más en la intuición y la experiencia en lugar de recurrir a la ciencia en el momento de evaluar oportunidades de inversión o decidir la distribución de fondos en determinados proyectos. Por tanto la adecuada evaluación de los riesgos e incertidumbres representan una ventaja competitiva.

Muchas herramientas se encuentran disponibles para ayudar a las compañías, con el fin de mantener una ventaja competitiva mediante una correcta evaluación del riesgo y tomando una cantidad apropiada del mismo. Clasificadas en orden ascendente del grado de sofisticación, estas herramientas comprenden: El flujo de caja, el análisis Montecarlo, la teoría de la cartera de inversiones, y la teoría de las opciones y preferencias.

2.2.3 Flujo de Caja

El análisis del flujo de fondos descontado (DCF, por sus siglas en inglés) o flujo de caja FC, es la herramienta de evaluación de inversiones más utilizada en la industria petrolera, parte de un concepto que resulta fundamental para una industria cuyas escalas de tiempo de inversión a menudo no se miden en años sino en décadas, esto es, el valor del dinero en el tiempo. El valor del dinero en el tiempo se basa en la idea de que una cantidad de dinero recibida en algún momento en el futuro, vale menos que la misma cantidad recibida hoy.

La mayor parte de los costos primarios o egresos de fondos, se realizan en los primeros años de exploración y desarrollo, mientras que los ingresos de fondos se distribuyen a lo largo de la etapa de producción activa del campo. Los fondos recibidos más adelante, en este caso, el dinero recibido por el petróleo producido, valen menos que la misma suma pagada con anterioridad, ya que no se dispuso de ese dinero para devengar intereses durante los años intermedios.

El análisis del FC es una forma de determinar el valor actual del dinero invertido, suponiendo que se trata de una operación exitosa, a ser devuelto o recibido en el futuro. El concepto asociado de valor presente neto (VPN) le permite a los encargados de evaluar inversiones potenciales, determinar si conviene o no realizar una inversión. El valor presente neto es la suma de los flujos de caja y representa la diferencia entre los valores actuales (descontados) de los egresos de fondos a lo largo de la vida del proyecto y los valores actuales de los ingresos de fondos. Si el VPN es positivo, es probable que se obtenga la tasa de retorno requerida y, por lo tanto, el proyecto debería ser considerado viable de lo contrario habría que rechazar el proyecto.

Dentro del cálculo del VPN, el elemento clave es la tasa de descuento aplicada. Esto puede considerarse de varias formas. Por ejemplo, existe una tasa de retorno libre de riesgos, que un banco ofrecería para depositar dinero. Si se utiliza esa tasa en los cálculos y se obtiene un VPN negativo, entonces convendría colocar el dinero en el banco. Un VPN positivo significa que invertir el dinero en el proyecto es más conveniente que poner el dinero en el banco.

La utilidad del FC se ve limitada por su insensibilidad a las circunstancias cambiantes y los plazos propios de la industria petrolera. A estas desventajas, se agrega el hecho de que el FC, a menudo se utiliza en conjunto con una técnica conocida como análisis de sensibilidad, mediante la cual se examinan las consecuencias de los posibles cambios en las variables. En los cálculos se incluyen cambios en la tasa de interés, los flujos de fondos y los tiempos para determinar el valor del proyecto; esto siempre que tales cambios ocurran realmente. Utilizado con el FC, el análisis de sensibilidad permite planear un número limitado de situaciones del tipo “que ocurriría si”, pero los cambios de las variables que se desean alterar y la forma de hacerlo es sumamente subjetiva.

Si bien el FC combinado con el análisis de sensibilidad le puede permitir a los responsables de tomar decisiones crear una mejor idea de los resultados positivos y negativos potenciales de una inversión, no intenta cuantificar la probabilidad de un resultado determinado, información que resultaría extremadamente valiosa para la toma de decisiones.

2.2.4 Estimación del Riesgo o de las Probabilidades de Éxito

El primer paso en cualquier análisis racional de una oportunidad, consiste en realizar una estimación subjetiva de la menor probabilidad de que se obtenga un mínimo nivel de éxito. Si la probabilidad de que algo ocurra se estima que es del X%, entonces la probabilidad de que no ocurra es de 100% menos X%. En general, los cálculos de las probabilidades de éxito se pueden dividir en dos categorías: Probabilidades en el subsuelo y probabilidades en la superficie. En el ámbito de exploración y producción, las estimaciones referentes al subsuelo constituyen la preocupación de los geocientíficos e ingenieros, que consideran las evidencias geológicas como fuente de la probabilidad de la presencia de hidrocarburos, yacimientos, trampas y otros datos técnicos. Las estimaciones de probabilidades en la superficie pueden concentrarse en política, economía mundial y desarrollos tecnológicos que constituyen la esfera de acción natural de los expertos en asuntos gubernamentales, finanzas y tecnología.

En general, los expertos realizan todas las estimaciones de probabilidades, a menudo trabajando en forma conjunta, para lo cual toman en cuenta hechos conocidos, experiencias del pasado y todos los escenarios posibles.

Como se expresó en el tema anterior de “Estructuras Estadísticas”, la importancia de los parámetros que describen la tendencia central de la distribución y la variabilidad de la misma, radica en la aportación de información adicional en el comportamiento de la distribución ampliando el panorama del experto en la toma de decisiones.

La media y la desviación estándar forman parte de este selecto grupo de parámetros que representan el comportamiento de la distribución, empleados para mejorar el análisis de decisión en diferentes áreas de la industria⁵. Estos parámetros poseen una base teórica que se refiere a ciertas situaciones en la distribución que los hace útiles al trabajar en su análisis.

Uno de los parámetros más importantes en la estimación de reservas y la elección de tecnologías en la industria de Exploración y Producción es la porosidad. La importancia de estimar un valor representativo de porosidad es vital en la toma de decisiones y forma parte de la aceptación del proyecto.

En el siguiente ejemplo, se calcula la media de un conjunto de datos en función de la probabilidad de cada uno de los intervalos. Estos intervalos se utilizan para agrupar grandes cantidades de datos, haciendo su manipulación más cómoda, y como se menciona en el capítulo anterior, se tiene una gran aproximación a utilizar todos los datos.

Tabla 6 Ejemplo de cálculo de la media de un conjuntos de datos de porosidad.⁵

i	Intervalos de Porosidad, %	ni Frecuencia	Pi Probabilidad	xi Como punto medio del intervalo	μ (Pi X xi) Media
1	$10 \leq x < 10$	1	0.024	8.5	0.204
2	$10 \leq x < 12$	0	0.000	11	0.000
3	$12 \leq x < 14$	1	0.024	13	0.312
4	$14 \leq x < 16$	10	0.238	15	3.570
5	$16 \leq x < 18$	12	0.286	17	4.862
6	$18 \leq x < 20$	8	0.190	19	3.610
7	$20 \leq x < 22$	7	0.167	21	3.507
8	$22 \leq x < 25$	3	0.071	23.5	1.669
		42	1.000		17.734

En el caso de la desviación estándar,

En el siguiente ejemplo, se calcula la desviación estándar de un conjunto de datos en función de la probabilidad de cada uno de los intervalos.

Tabla 7 Ejemplo de cálculo de la desviación estándar.⁵

	Intervalo de Costos de Perforación, MM\$	Pi Probabilidad del intervalo	xi Punto medio de cada intervalo, MM\$	(xi - μ) Desviación de la Media	(xi - μ) ² Desviación al Cuadrado, MM\$ ²	(Pi)(xi - μ) ² Col. 3 x Col. 6
1	100 - 105.2	0.007	102.6	102.6 - 143 = -40.4	1633.6	11.4
2	105.2 - 111.5	0.040	108.4	108.4 - 143 = -34.6	1200.5	48.0
3	111.5 - 130.6	0.228	121.1	121.1 - 143 = -22.0	482.1	109.9
4	130.6 - 136.3	0.093	133.5	133.5 - 143 = -9.6	91.2	8.5
5	136.3 - 148.2	0.225	142.3	142.3 - 143 = -0.8	0.6	0.1
6	148.2 - 165.2	0.278	156.7	156.7 - 143 = 13.7	186.8	51.9
7	165.2 - 168.7	0.035	166.9	166.9 - 143 = 23.9	571.7	20.0
8	168.7 - 178.5	0.066	173.6	173.6 - 143 = 30.5	932.9	61.6
9	178.5 - 183.7	0.021	181.1	181.1 - 143 = 38.1	1447.3	30.4
10	183.7 - 190	0.007	186.8	186.8 - 143 = 43.8	1919.6	13.4
		1.000				355.3

$$\sum (P_i)(x_i - \mu)^2 = \sigma^2 = 355.3 \text{ MM}\2$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{355.3} = 18.85 \text{ MM}\$$$

En las tablas anteriores se puede apreciar la importancia que puede tener la obtención de los parámetros anteriores, ya que son representaciones del comportamiento de nuestros datos, y por esto son tendencias a las que nos debemos enfrentar en la toma de decisiones de los proyectos a evaluar. Con esto la perspectiva de decisión puede cambiar y mejorar los resultados.

Resulta sorprendente que los exploradores tengan una actitud conservadora a la hora de estimar las probabilidades de éxito para proyectos intermedios, es decir aquellos que se consideran que tienen entre 25 y 60% de probabilidades de éxito. Tales proyectos resultan exitosos aproximadamente en 35 a 75% de los casos. No obstante, para los proyectos de alto riesgo, menos de un 20%, el departamento de exploración se ha mostrado siempre optimista. En forma global, con estos proyectos se ha encontrado petróleo en menos del 5% de los casos.

2.2.5 Simulación Montecarlo

Una simulación Montecarlo, recibe este nombre por el casino de Montecarlo, en Mónaco, donde a menudo se prueban sistemas para ganar en diversos juegos de azar; muestra toda la gama de resultados posibles, como valores presentes netos (VPN) de un activo que aparece sobre el eje X y

la probabilidad de alcanzar cada uno de ellos sobre el eje Y, en donde también se observa la frecuencia de cada resultado. La simulación no brinda una única respuesta, sino un rango de ellas; en donde el responsable de tomar decisiones recibe un panorama general. La simulación Montecarlo es una fuente de generación de números aleatorios aplicados a condiciones preestablecidas y con fin definido.

Un factor importante, es que incorpora el concepto de probabilidad. Ya que se desempeña como un proceso estadístico que responde a la pregunta: Si alguna cosa ocurre, ¿cuál es el rango de resultados posibles? Se puede utilizar para responder preguntas técnicas, ¿Cuál es el rango de reservas recuperables y económicas de hidrocarburos en esta región?, ¿Cuál es la probabilidad de que el VPN de este proyecto potencial exceda el objetivo de \$X millones?

Resulta más fácil ver cómo funciona la simulación de Montecarlo cuando se examina la tarea relativamente más directa de determinar las reservas recuperables de un posible prospecto. Si los yacimientos fueran homogéneos, sería muy simple deducir las reservas recuperables de los mismos, utilizando un valor único para cada parámetro. Pero, en la práctica, por lo general no es posible asignar valores únicos a cada parámetro. Los geólogos y los ingenieros tienen que estimar valores promedio a través de todo el volumen de un campo, para propiedades tales como la porosidad y el volumen total de roca (GRV, por sus siglas en inglés) sobre la base de información incompleta.

Lo que ellos pueden hacer con los datos limitados que poseen, sin embargo, es trazar una curva de distribución, es decir, una curva que describe la probabilidad de que ocurra un valor determinado, para cada variable ingresada en el cálculo. Por ejemplo, si los valores de porosidades posibles para la arenisca oscilan por lo general entre 10% y 35%, la curva de distribución que relaciona la probabilidad (eje vertical), con el valor de porosidad (eje horizontal), describiría la probabilidad de que ocurra cada valor de porosidad.

Se puede trazar curvas de distribución similares para todos los otros datos. En una simulación de Montecarlo, cada uno de estos datos se muestrea de forma arbitraria y los valores individuales se multiplican entre sí (procedimiento conocido como una “prueba”). El resultado de una prueba individual proporciona una respuesta posible para las reservas recuperables. La simulación tomará

los resultados más posibles de cada distribución, en lugar de los extremos, porque existen más ejemplos dentro de ese rango. Como resultado final se obtiene una nueva curva de distribución, que representa un rango de posibles cantidades de reservas recuperables y la probabilidad de que ocurra algún valor en particular.

En un mundo ideal, las curvas de distribución individual se deberían basar en muchas mediciones. Pero, en la práctica, a menudo existe un mínimo de datos disponibles. Los expertos en las distintas disciplinas que aportan su experiencia, sugieren la forma de la curva que concuerda con la cantidad limitada de datos disponibles. Por ejemplo, los geólogos a menudo establecen analogías entre la porosidad de las rocas de un área similar explotada previamente.

La forma de las distribuciones puede variar enormemente. Una distribución triangular, por ejemplo, se podría elegir para la porosidad si los expertos pudieran asegurar que conocen los valores de porosidad mínima, máxima y más probable. Una distribución log normal, podría parecer lo más apropiado para el GRV, lo cual indicaría que los expertos consideran que el rango es mayor para los valores altos que para los valores bajos. Aunque la simulación de Montecarlo es ampliamente utilizada para estimar las reservas, sólo una cantidad limitada de compañías la adoptan como un método para tomar decisiones económicas, o para evaluar riesgos políticos o de seguridad, Aunque los principios que usan son los mismos. Esto sugiere una percepción inusual del riesgo, es decir, que el riesgo existe y que es importante en el mundo físico pero que, de alguna manera, está ausente en el mundo económico. Esto no es cierto en absoluto, como lo han demostrado las variaciones observadas en los precios del petróleo, de los costos, de las tasa de interés y de muchos otros factores financieros a lo largo de los años.

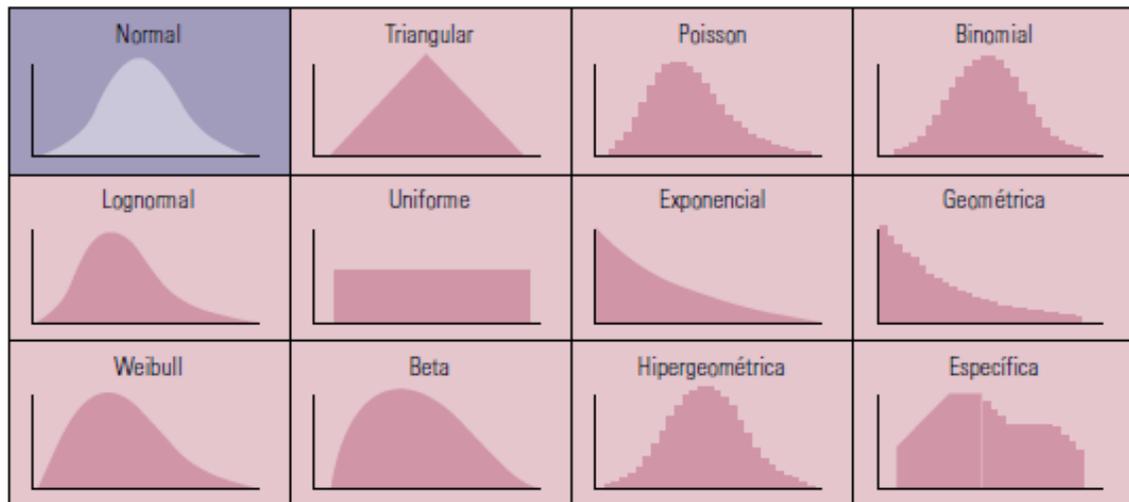


Figura 9 Diversas formas de Distribución.⁶

En el siguiente ejemplo, se considera un campo hipotético con reservas recuperables de 150 millones de barriles (2.4 millones de m³) de petróleo (MBO). La producción anual alcanza inmediatamente un nivel del 12% de las reservas totales, es decir, 18 MBO/año (2.8 millones de m³/año) durante 5 años; a partir de allí declina a un ritmo de 20% por año hasta que se han producido los 150 MBO. Para lograr lo anterior se necesitan 5 pozos productores, a un costo de \$ 15 millones por pozo a lo largo de dos años. Los costos de la instalación de la plataforma de producción y las tuberías de transporte ascienden a \$765 millones en el transcurso de 3 años. Los costos operativos son de \$ 75 millones por año y el gasto de abandono después de la última producción es de \$ 375 millones. Los impuestos corporativos son del 30%, la inflación a lo largo de este periodo es del 3,5% y la tasa de descuento es del 10%. Se supone que el precio del petróleo es de \$ 18 por barril y que aumenta según la tasa de inflación.

Mediante un cálculo simple y determinístico del valor presente neto, se obtiene un valor nominal, descontando el flujo de fondos al 10% por año (VPN₁₀) de \$ 125 millones. Este es un número positivo, de modo que la decisión de proceder con el desarrollo será muy sencilla.

Una evaluación probabilística del mismo campo pone a consideración del responsable de tomar la decisión, un panorama más amplio. La evaluación probabilística de las cifras anteriores, parte con los datos más probables (p.e. los que se encuentran en la mitad del rango en una distribución

normal), pero también se sugieren otros valores como posibles datos a considerar: los gastos de perforación, las erogaciones de capital y los gastos operativos, que se supone se distribuyen en una forma normal con una desviación estándar (DE) del 10% con respecto a la media. Los gastos de abandono normalmente se distribuyen con una desviación estándar del 20% de la media. Los gastos volúmenes de producción también se distribuyen en forma normal, pero con una correlación positiva con respecto al gasto operativo.

Se considera que la mejor manera de describir el precio futuro del petróleo durante el periodo de interés es con una distribución log normal, con una DE del 10% en el primer año de producción, con un incremento del 2% anual, y alcanzando el 34% en el último año de producción. De esta manera se obtiene un precio constante bajo de aproximadamente \$10 por barril, mientras que el precio alto asciende de \$23 a \$37.5 por barril durante la vida del campo.

Los resultados de 10,000 pruebas de una simulación de Montecarlo muestran la probabilidad de que ocurra un rango de resultados posibles. El valor promedio esperado es de \$124 millones. Esto significa que una cantidad importante desde un punto de vista estadístico de oportunidades idénticas, tendrían un valor promedio de \$124 millones cada una, en términos del VPN. Sin embargo, también existe una amplia gama de resultados completamente diferentes. Por ejemplo, el 10% de los casos comprendidos en la simulación, arrojó valores inferiores a \$27 millones. Por lo tanto, el valor llamado P10 del resultado, es decir el valor que posee un 10% de probabilidades de que el resultado sea inferior (ó 90% de probabilidades de que sea mayor), es de 27 millones en este ejemplo. El valor más bajo dado por cualquiera de las pruebas es -\$112 millones, y alrededor del 5% de las pruebas, arrojó resultados del VPN negativos. Por otra parte, el P90 fue de \$223 millones, lo que significa que el 10% de las pruebas produjo valores superiores a \$223 millones, Figura 10.

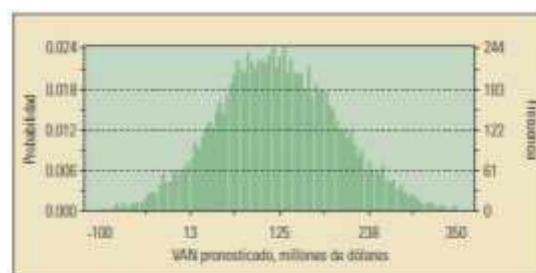


Figura 10. Frecuencia de resultados.

Para este campo en particular, existe una pequeña probabilidad de alrededor del 5% de perder dinero, pero una probabilidad considerable de ganar una cantidad de dinero importante (por ejemplo, una probabilidad del 16% de ganar más de \$200 millones). Si bien la decisión a tomar sería la de seguir adelante con el proyecto, el análisis de Montecarlo, al poner en manifiesto la situación completa, le brinda a los responsables de tomar decisiones, una mayor tranquilidad al saber que se han considerado todos los aspectos.

El análisis de Montecarlo es una herramienta de gran utilidad y alcance, pero se debe utilizar con cuidado. Un error en la asignación justa de algún dato ingresado, como por ejemplo la variación del precio del petróleo, puede hacer que todo el análisis resulte erróneo.

2.2.6 Riesgos no Convencionales

En la industria petrolera, los modelos de riesgo e incertidumbre por lo general se ocupan de los pozos y los yacimientos. Sin embargo, se pueden utilizar modelos similares para explorar el impacto potencial de riesgos menos convencionales, tales como riesgos políticos, amenazas terroristas, decisiones en el ámbito legal, regulaciones ambientales, o aquellas relacionadas con la salud y la seguridad, y muchas otras.

Para simular este tipo de incertidumbre, se utilizan diversas técnicas matemáticas comunes al análisis de riesgo financiero o físico más tradicional. Sin embargo, es necesario definir antes muchos intangibles adicionales, para poder adaptar correctamente las cuestiones a las que debe apuntar el modelo de riesgo. No obstante, antes de asignar las probabilidades, como ocurre con los riesgos físicos o económicos, convendría recurrir a un equipo de expertos para desarrollar las distribuciones apropiadas. Sobre la base de una correcta combinación y ponderación de las variables, una simulación de Montecarlo podría proporcionar una gráfica de la probabilidad acumulada de, por ejemplo, el riesgo político de un país; este a su vez, podría compararse con el de otro país para ayudar a la corporación a tomar la decisión estratégica adecuada a una dependencia política. De esta forma un análisis de sensibilidad podría resaltar la importancia relativa asociada con los diversos riesgos.

En la simulación de los riesgos no convencionales, el simulador trata de cuantificar las actividades y las emociones humanas, por lo que el modelo puede servir sólo como una guía relativa. Sin embargo, estos modelos pueden generar datos esenciales para el proceso general de tomar una decisión acertada.⁶

3 Importancia de la gestión del riesgo en la Industria Petrolera

3.1 Planeación de Proyectos (FEL)

Front End Loading, FEL es la mejor práctica más comúnmente usada por las empresas líderes en los Estados Unidos para mejorar los resultados de sus proyectos de inversión en términos de costo, programa, operatividad y cumplimiento de sus objetivos de negocio.

FEL fue acuñado por DupontTM hace quince años, con variaciones de la misma dependiendo de las compañías que lo adoptaron adecuándolo a sus propias necesidades y cultura de negocios.

El término Front End Loading surge como resultado de la adopción de mejoras a los procesos de inversión y tiene un significado nemotécnico que es de dominio común para los profesionales en administración de proyectos. FEL: Acción de un cargador frontal que atrae o anticipa en la parte inicial del proyecto la planeación de todas las actividades que se requerirán durante la construcción, arranque e inicio de operación del proyecto.

Se propone traducir FEL como Definición Inicial de un proyecto. El FEL se fundamenta en estudios que han demostrado que en la práctica, muchos proyectos, grandes y pequeños enfrentan fallas y fracasos, originados principalmente por mala planeación, una pobre definición del alcance, o debido a que el equipo de proyectos usualmente omite actividades esenciales de definición por presión para cumplir el programa del proyecto, teniendo como consecuencia retrasos y sobrecostos en el mismo.

Dichos estudios han identificado a la Definición Inicial de un Proyecto o FEL como una mejor práctica debido al impacto significativo en el resultado en proyectos de inversión, ya que ayuda a solucionar la problemática antes planteada, e incrementa notablemente sus probabilidades de éxito.

Expertos en proyectos en toda la industria han identificado a la pobre definición del alcance como una de las principales causas de la falla en los proyectos. La misma inevitablemente afecta las áreas de costos, programa, y características operacionales provocando sobre costos, retrasos y dificultades para cumplir las metas operativas. El FEL, es un proceso a través del cual maduran el alcance, estimado de costo y Plan de Ejecución del Proyecto a un nivel de certidumbre suficiente y adecuado para decidir si conviene o no, desde el punto de vista de negocios, ejecutar (construir) el proyecto.

El empleo del FEL en el sistema de proyectos de cualquier unidad de negocios ha probado en diferentes compañías importantes ahorros de hasta el 20% en costo y programa. Una buena definición de los elementos clave en las primeras etapas del proyecto, influye en resultados exitosos del proyecto, con el cumplimiento de los objetivos de la unidad de negocio, logrando la satisfacción de las partes, y permitiendo que las organizaciones que están bajo constante presión por mejorar el desempeño de los proyectos, genere un estatus competitivo en el mercado.

La filosofía del FEL para proyectos industriales de ingeniería y construcción, como la industria petrolera, consiste en definir clara y detalladamente los objetivos de negocios, alcance, estimado de costo y plan de ejecución durante las fases iniciales del proyecto. Esto con el objetivo de garantizar el cumplimiento de los objetivos de negocio y minimizar los cambios durante las fases posteriores del proyecto.

3.1.1 Marco Conceptual y Origen de la Definición Inicial del Proyecto (FEL), como Mejor Práctica de la Industria

A finales de los años 70 se formó una mesa redonda de negocios que patrocinó un amplio estudio para determinar la causa de la disminución de productividad que experimentaba la Industria de la Construcción en EUA, y proponer soluciones para detener y revertir este fenómeno.

El Equipo estaba formado por representantes de prestigias universidades, contratistas de ingeniería y construcción, así como dueños y administradores de muchos sectores de la industria. Como resultado de este esfuerzo concertado, se publicó un informe de Efectividad de Costo de la industria.

Podemos destacar de este informe, la identificación de aquellas actividades que tienen mayor impacto en los costos de los proyectos, tales como:

- Deficientes prácticas de seguridad
- Deficientes prácticas de administración de la construcción
- Falta de motivación de los trabajadores

La misión de este concilio es “Mejorar la efectividad del costo de la inversión durante el ciclo de vida de un proyecto industrial, desde la definición inicial del proyecto hasta la terminación, recepción y pruebas. Con la colaboración de importantes resultados de la industria y proveyendo orientación en las mejoras prácticas descubiertas a través de la investigación.”

El concilio reconoce que el éxito de los proyectos es una función de muchos parámetros, no solamente de la efectividad del uso de recursos. Algunos elementos clave que influyen en gran medida en lograr el éxito en un proyecto son:

- Recurso Humano
- Estrategia
- Ejecución

La figura propuesta por James Porter Vicepresidente de Ingeniería y Operaciones de DuPont, muestra la evolución y proyección futura de las prácticas en la industria, en la que las mejoras prácticas propuestas son un elemento clave. La industria de la construcción ha madurado empleando las mejoras prácticas y según Porter ya está lista para iniciar un nuevo ciclo de crecimiento apoyándose en la integración y automatización del conocimiento generado por las mismas. (Fig. 11)

Las principales prácticas validadas son las enlistadas a continuación.

- Definición inicial del proyecto FEL o Pre-Project Planning
- Alineación
- Constructibilidad
- Efectividad de diseño
- Administración de Materiales
- Construcción de equipos
- Administración de calidad

- Administración de cambio
- Resolución de disputas
- Técnicas de cero accidentes

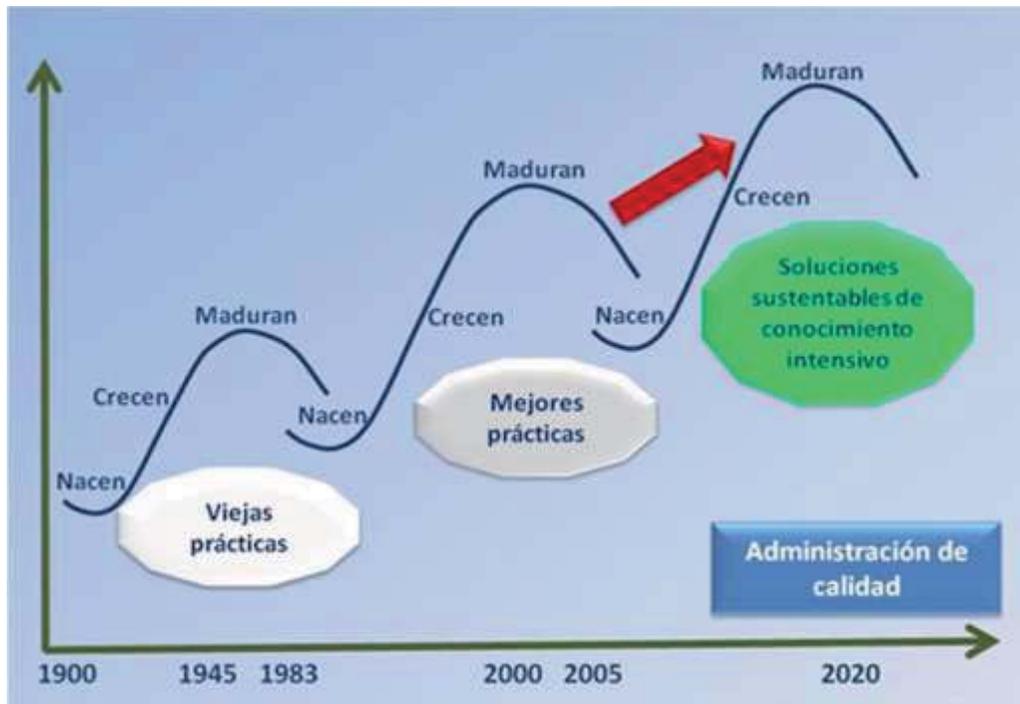


Figura 11 Evolución y Proyección futura de las prácticas en la Industria.

Una evaluación del impacto en resultados y aplicabilidad de las mejores prácticas propuestas mostró que la práctica de definición inicial del proyecto o Pre Project Planning (FEL) fue la que obtuvo la calificación más alta. Lo anterior se puede observar en la Figura 12.

1. Definición en la parte inicial del proyecto FEL o Pre Project Planning
2. Alineación
3. Constructibilidad
4. Efectividad del diseño
5. Administración de materiales
6. Construcción del equipo
7. Administración de Calidad
8. Administración del cambio

- 9. Resolución de disputas
- 10. Técnicas de cero accidentes

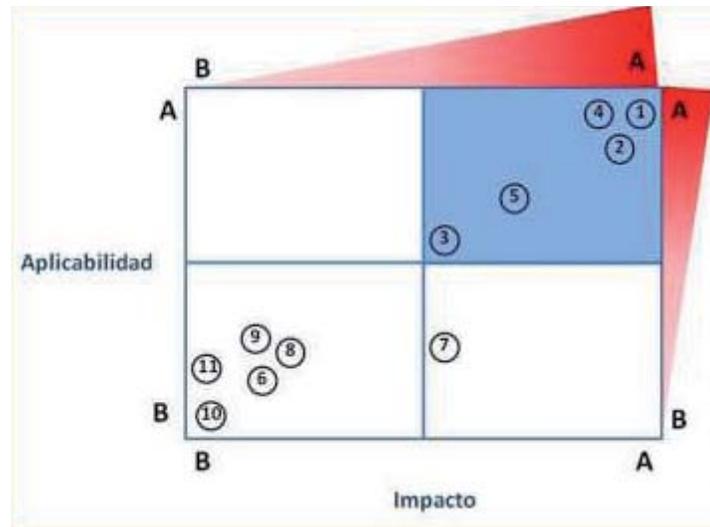


Figura 12 Aplicabilidad vs Impacto de las Mejores Prácticas

3.1.2 Definición del Front End Loading (FEL)

Es un modelo empleado por Dupont para ayudar a enfocar a la gente, desarrollar los procesos y la disciplina hacia la correcta ejecución de proyectos. En esencia, sirve para definir qué es lo que se quiere hacer, y la forma que la gente que lo realizará pueda llevarlo por el camino más efectivo para el negocio. Como se mencionó antes, existen diferentes denominaciones de la Definición Inicial o FEL en función de cada empresa y cada tipo de proceso. A continuación se presenta algunas de estas definiciones.

- “El Front End Loading (FEL) es el proceso por medio del cual se desarrolla suficiente información estratégica para que los administradores del negocio identifiquen los riesgos, definan una estrategia para mitigarlos y con esto puedan comprometer recursos maximizando la probabilidad de que el proyecto sea exitoso.”
- “FEL es una herramienta para los negocios, que provee un mecanismo para ayudar a las compañías a seleccionar y jerarquizar diferentes oportunidades de proyecto a través de un proceso sistemático, riguroso, y analítico.”

-
-
- Alex Willing define el FEL como un proceso estructurado que cubre las tareas, actividades y entregables de las primeras tres etapas de un proyecto para maximizar su oportunidad de éxito.
 - El FEL corresponde generalmente al proceso de planeación que ocurre una vez que el proyecto ha sido iniciado por la unidad de negocios, hasta que el proyecto es autorizado para realizar la ingeniería de detalle y su construcción.
 - El FEL define las dimensiones de oportunidad de negocio, además brinda claridad para responder las preguntas: ¿Por qué?, ¿qué?, ¿quién?, ¿cuándo?, ¿cómo?, y ¿dónde? Debe de construirse un proyecto para cumplir los objetivos de negocio.
 - El FEL es un modelo que ayuda al desarrollo de procesos, disciplinar y enfocar a la gente para en esencia definir ¿Qué se requiere hacer?, y el camino que la gente estará siguiendo para hacerlo, de tal manera que se obtengan los resultados más efectivos para el negocio.

El Front End Loading tiene una gran influencia en los resultados del proyecto, ya que de manera importante incrementa la información crítica desde un comienzo del proyecto para así reducir la posibilidad de riesgos y asegurar el éxito al término del proyecto.

La definición más actualizada y operacional es planteada por el IPA:

“El FEL es un proceso que traduce las oportunidades de negocio y tecnología a un proyecto de inversión, donde los objetivos del proyecto estén alineados con los objetivos de negocio, para desarrollar el más eficiente diseño de proceso y plan de ejecución para lograr los objetivos de proyecto. FEL continúa desde que el proyecto correcto es seleccionado, y termina hasta finalizar completamente el paquete de diseño básico. Lo anterior define ¿Qué estaremos haciendo?, ¿Cómo lo estaremos haciendo?, ¿Quién lo estará haciendo? y ¿Qué recursos se necesitarán?”

3.1.3 La Importancia del FEL en la Industria

La Definición Inicial del Proyecto (FEL) cubre el periodo en donde los gastos son relativamente bajos, y donde la habilidad para influenciar en el valor del proyecto es grande. Lo anterior puede ser comprendido de mejor forma si se toma en cuenta que es más fácil influenciar en los resultados del

proyecto durante la etapa de planeación, cuando los gastos son relativamente mínimos, en lugar de afectarlo durante las etapas de ejecución u operación, cuando los gastos son mucho más significativos. Esta es una característica importante del FEL.

En la Figura 13, donde la curva etiquetada como “influencia” en color azul, refleja la habilidad de una compañía para afectar los resultados del proyecto durante las diferentes etapas del mismo. Dicha curva muestra que la definición de los elementos clave de un proyecto en sus etapas iniciales (30%) influencia los resultados del proyecto en operatividad, tiempo, costo, aceptación y satisfacción de la empresa.

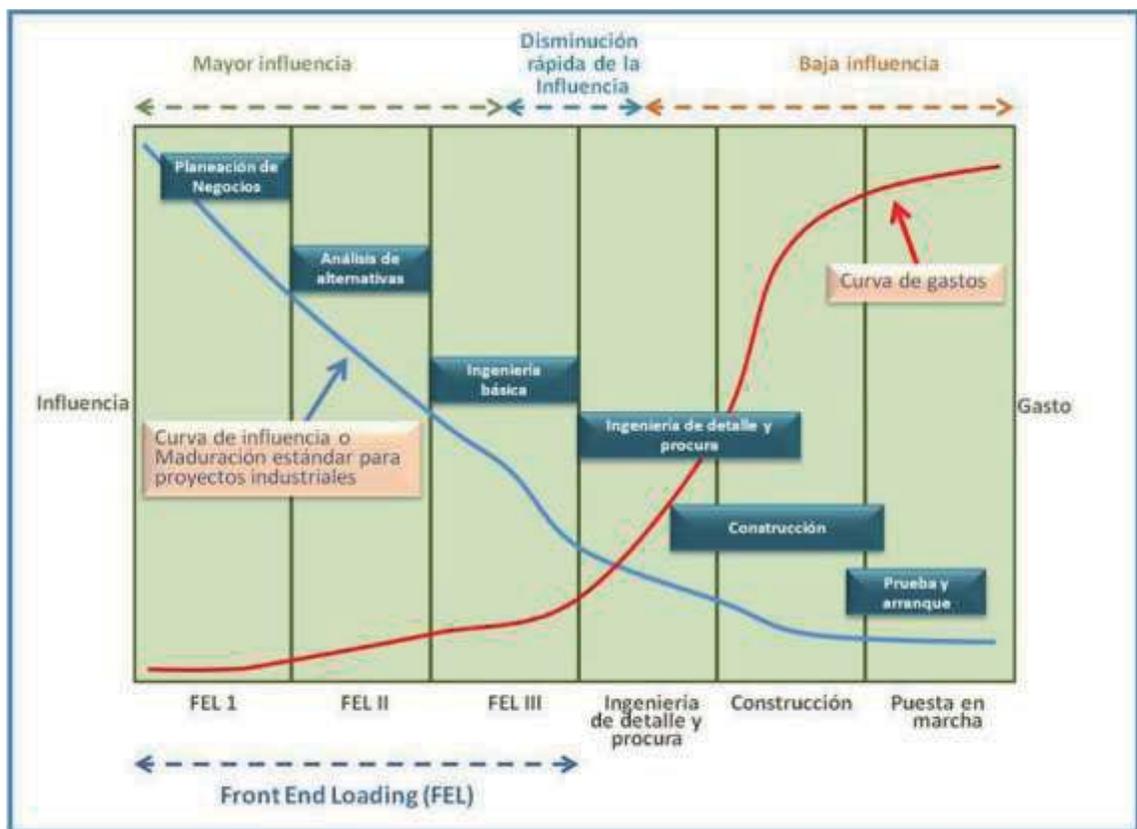


Figura 13 Influencia vs Gasto en la evaluación de un proyecto

3.1.4 Ventajas Competitivas de Emplear FEL

De acuerdo a las investigaciones realizadas, una definición inicial del proyecto bien ejecutada puede por lo menos:

- Reducir el costo del proyecto hasta un 20% del monto autorizado
- Minimizar la variabilidad de los resultados del proyecto en términos de costo, programa y operatividad
- Incrementar la oportunidad de cumplir con objetivos ambientales y sociales
- Incrementar la posibilidad de mejorar los logros en objetivos de negocio
- Mejorar la administración de riesgos
- Reducir la posibilidad de cambios de alcance

Otro aspecto importante que aporta la Definición Inicial del Proyecto (FEL), es el incremento de valor que se puede obtener si se elige el proyecto correcto y además se ejecuta correctamente, lo que pronostica grandes probabilidades de éxito al término del mismo.

Por otro lado, también se observa que la selección del proyecto correcto no necesariamente garantiza la buena ejecución del mismo, debido a que en las etapas posteriores intervienen otros factores que pueden reducir el valor del proyecto, como una mala ejecución del mismo.

3.1.5 Principios Básicos del FEL

La probabilidad de éxito consistente y predecible es grande cuando los siguientes puntos son incorporados a la filosofía de una unidad corporativa:

- La Definición Inicial de Proyecto (FEL) es un proceso que puede y debe ser estandarizado. Sus conceptos deben ser adoptados según las necesidades de la empresa y de cada proyecto en específico, en términos de escala y complejidad. En cualquier caso los fundamentos deben ser aplicados a todo proyecto.
- La Definición Inicial de Proyecto es una responsabilidad del administrador del negocio. Los consultores y otros contratistas pueden jugar un rol mayor en la ejecución del proyecto, pero el dueño debe asegurar que las necesidades de negocio estén siendo cumplidas. Los objetivos de proyecto deberán cumplir los objetivos del negocio.

-
-
- Las metas corporativas y lineamientos del FEL deberán ser bien definidas y claramente comunicadas para todos los involucrados en el proyecto.
 - El negocio, las consideraciones operacionales, regulatorias, y objetivos ambientales y sociales deben estar completamente integrados en el proceso del FEL. La alineación de metas dentro del equipo de proyecto es crítica.
 - La cantidad de esfuerzo en el diseño inicial para autorización del diseño de detalle y construcción deberá ser por lo menos 10% del esfuerzo total requerido y preferentemente mayor para asegurar mejor la predictibilidad de los resultados de programa y costo.
 - La autorización de proyectos con menor cantidad de ingeniería desarrollada estará acompañada de una gran probabilidad de riesgo, y por lo tanto deberá haber consideraciones mayores de contingencia.
 - Un proceso corporativo deberá incluir un plan de FEL. Este debe considerar como mínimo una carta proyecto, un plan de control, incluyendo presupuesto y programa para todas las fases del proyecto, un plan de ejecución del proyecto, y participación de un equipo multidisciplinario.

3.1.6 Barreras a Vencer para Implementar el FEL

La implementación de la Definición Inicial del Proyecto (FEL) viene acompañada con una resistencia natural, generalmente debida a tres percepciones generales:

1. “Nosotros no podemos permitir gastar dinero en planeación conceptual para proyectos que posiblemente no serán aprobados”.
2. “Este tipo de planeación requiere mucho tiempo y retrasará la fecha de terminación del proyecto”.
3. “Siempre hemos trabajado bien sin este procedimiento y no lo necesitamos”.

La investigación ha claramente demostrado que una buena Definición Inicial del Proyecto permite:

- Mejorar la calidad y claridad del estimado de costo
- Mejorar la calidad de la programación
- Mejorar el cumplimiento de los objetivos operacionales y metas de producción en los primeros seis meses de operación
- Mejorar el cumplimiento en los objetivos del negocio

-
- Mejorar la definición de riesgos
 - Pocos cambios de alcance
 - Reducir mucho la probabilidad de fallas y catástrofes en el desarrollo del proyecto

Con base en los datos estadísticos y de retroalimentación de las compañías que han implementado FEL, indican que hay una oportunidad de reducir costos en el proyecto hasta por un 20%. Por esto la Definición Inicial del Proyecto (FEL) ha mostrado representar una oportunidad significativa para que los administradores del negocio mejoren el desempeño de los proyectos, consecuentemente la calidad y posición de la empresa.

Por tal razón, es muy importante invertir esfuerzos, en la etapa de planeación, ya que es en esta etapa, donde se pueden definir los elementos clave que al final permitirán reducir incertidumbre y riesgo en los resultados del proyecto, obteniendo los beneficios esperados.

Los elementos clave que se requieren en la definición al término de FEL son⁷:

- Definición de la Tecnología
- Localización
- Alcance definido
- Costo y programa
- Equipo de proyecto
- Documentación para la ejecución del proyecto
- Completo conocimiento del equipo de proyecto sobre el mismo
- Aprobación de quien toma las decisiones
- Recomendaciones coherentes
- Compromiso de todos los involucrados en el proyecto

La meta de definir el proyecto es asegurar un detallado y documentado entendimiento del alcance del proyecto. La Definición Inicial del Proyecto incluye todas las fases de proyecto antes de la autorización para su construcción. Donde también ayuda a reducir el número de cambios después de la misma.

3.1.7 Componentes del FEL

Los elementos generales en la Definición Inicial del Proyecto y sus entregables para proyectos industriales son: (ESI International, 2005).⁷

-
- **Factores de sitio**
 - Localización de la planta
 - Hidrología del suelo

 - **Definición de ingeniería**
 - Plano de localización general
 - Diagramas de flujo de proceso
 - Diagramas de tubería e instrumentación
 - Balance de materia y energía
 - Lista de equipos de proceso
 - Lista de equipos de servicios auxiliares
 - Diagramas eléctricos
 - Hojas de datos y especificaciones
 - Arreglo de equipos en general

 - **Plan de ejecución del proyecto**
 - Descripción del alcance preliminar
 - Producción de la planta
 - Plan de proyecto integrado
 - Programa maestro del proyecto
 - Estructura de descomposición de trabajo (WBS)
 - Estrategia de contratación

En noviembre de 2005 Alex Willing mencionó que una buena Definición Inicial del Proyecto es un ingrediente clave en el logro del éxito en los proyectos.

El define a FEL como “un proceso estructurado que cubre tareas, actividades y entregables de las primeras tres etapas de un proyecto para maximizar la oportunidad de éxito del mismo. El proceso cubre el periodo cuando los gastos son relativamente bajos, pero cuando la habilidad para influenciar en el valor del proyecto es grande.”

Algunas consideraciones importantes que Alex Willing aconseja desarrollar durante las fases de Definición Inicial del Proyecto son:

- Metas de negocio bien definidas
- Claros objetivos del proyecto
- Estrategia de ejecución del proyecto

-
- Definición del alcance (con diseño de ingeniería del 15-25%)
 - Prácticas de reducción de costo
 - Análisis de costo en todo el ciclo de vida del proyecto
 - Plan de ejecución del proyecto
 - Estimado de costos
 - Organización del equipo de proyectos
 - Comparación del nivel de definición y competitividad del proyecto respecto a la industria
 - Lecciones aprendidas de proyectos similares

3.1.8 Consideraciones Importantes

Un efectivo FEL provee una base sólida para obtener resultados exitosos en el proyecto, además disminuir el costo y maximizar el VPN del proyecto. El FEL no es una barita mágica, ya que por sí mismo no asegura un desempeño destacado del proyecto o ahorros en el. El proceso del FEL depende en gran medida del personal y de sus habilidades dentro del proyecto. En la figura 14 se pueden observar las tres principales partes a considerar dentro de un proyecto para lograr el éxito al término del mismo.

Destacando que el nivel de habilidad del personal de proyectos mínimo necesario debe ser del 80% para poder lograrlo.



Figura 14 Criterios de Éxito en un Proyecto

Otro factor importante a considerar es la participación de las áreas involucradas a lo largo del ciclo de vida de un proyecto. En la figura 15 se puede observar la incorporación de algunas áreas, debido a su relevancia e impacto en el proyecto tal como, ingeniería, distribución de recursos y construcción. La importancia de contemplarlas desde la etapa de planeación, es para que el personal involucrado de estas áreas pueda identificar problemas potenciales y determinar si es necesario tomar acciones preventivas.



Figura 15 Influencias de áreas en la evaluación de un proyecto de Ingeniería.⁷

Los principales objetivos del FEL son:⁷

- Asegurar que las necesidades de negocio sean el principal factor para la inversión del proyecto
- Asignar responsabilidad del proyecto al equipo
- Mejorar la productividad de los bienes de capital al usar la mejor tecnología disponible
- Eliminar la inversión no productiva
- Minimizar los cambios durante la ejecución del proyecto para reducir costos y acortar la duración

3.1.9 Factores Críticos en el Éxito de FEL

Estudios continúan mostrando que no contar con los elementos críticos, causa retraso o fracaso de muchos proyectos. Todos estos elementos críticos tienen un enlace común y son moldeados por decisiones u omisiones humanas en las primeras fases del proyecto.

Toda unidad de negocio debe considerar como puntos básicos en un proyecto los siguientes factores:⁷

-
-
- La cantidad necesaria para incrementar el diseño del trabajo de ingeniería total en horas de trabajo completadas debe ser entre 10 y 25% antes de la autorización del proyecto
 - Desarrollo de la carta proyecto
 - Desarrollo de líneas base de control
 - Preparar el plan de ejecución
 - Adecuado número de organismos participantes
 - Crear un plan para el FEL

Asimismo “Three Houses Consulting” afirma que existe una tremenda influencia del tiempo para completar los proyectos rápido y con menos dinero, por lo que el FEL falla algunas veces debido a la presión del tiempo.

3.1.10 El Mejor Tiempo para Implementar FEL

La Definición Inicial del Proyecto usualmente se divide en tres etapas al inicio del proyecto, además prepara al patrocinador del proyecto para tomar una buena decisión sobre invertir o no invertir, continuar o detener las etapas subsiguientes del proyecto.

Con el objetivo de analizar la factibilidad del proyecto se han establecido compuertas de autorización dentro del proceso, es por ello que el proceso de FEL se ha dividido en tres etapas mejor conocidas como FEL 1, 2, 3, las cuales se describen a continuación:⁷

FEL 1:

PLANEACIÓN DE NEGOCIOS. Se evalúa el proyecto, se analiza el concepto y la tecnología, además, se selecciona al equipo de proyectos y se prepara el plan para FEL.

FEL 2:

DESARROLLO Y SELECCIÓN DEL ALCANCE Y DISEÑO. Se optimiza el concepto y se selecciona la tecnología y alternativas de diseño. Se define el mejor alcance para cubrir las necesidades.

FEL 3:

PLAN DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO Y REFINACIÓN DEL ALCANCE. Se definen requerimientos del proyecto y se finalizan planes de ejecución. Se define la mejor manera de ejecutar el proyecto.

3.1.11 Ejemplos de Modelos de la Definición Inicial de Proyecto FEL en la Industria

¿Cómo podemos demostrar la importancia de la Definición Inicial de Proyecto (FEL) y como repercute en el crecimiento de la empresa que lo aplica?, como antes se menciono, el FEL puede adecuarse a los requerimientos de cada proyecto y negocio. Su importancia radica las mejores prácticas y planeación, con un desarrollo y ejecución de dicho proyecto de la mejor manera. Con lo anterior podemos presentar algunos modelos genéricos empleados y los resultados que han tenido algunas compañías importantes a nivel mundial al implementar el proceso de FEL.

Actualmente algunas compañías se desempeñan a niveles adecuados en la planeación del FEL. Esto consistentemente aplicado a los proyectos, les brinda la ventaja de mantenerse competitivos. Con este panorama, una buena planeación no es un lujo, es una necesidad. La información de esas compañías será tratada como importantes ejemplos de aplicación práctica y resultados del FEL en la industria.

Edgard W. Merrow menciona que para el caso de Dupont y Chevron, estas compañías han alcanzado áreas de excelencia. Weyerhause ha recorrido un camino diferente pero al final ha llegado a ser una compañía muy sólida y está en camino de la excelencia.

Estas compañías han logrado disminuir los costos de sus proyectos considerablemente, además todas cuentan con una excelente operación de sus plantas, y lo más importante, las tres cuentan con un sistema de proyectos que responde a su negocio, ya que la idea que subyace es que el negocio proporcione la dirección a los proyectos. El negocio dice que necesita y el sistema de proyectos responde con el proyecto adecuado y la ejecución adecuada.

Además estas compañías han obtenido ahorros en varios millones de dólares durante los 90, producto de la mejora en sus sistemas de proyectos, que por cierto comparten elementos comunes. Estas tres compañías han adoptado un proceso común. Las tres además cuentan con un

enfoque para proyectos consistente y aplicable, así como de lenguaje común. La siguiente figura representa mejor el modelo de procesos que estas compañías comparten:

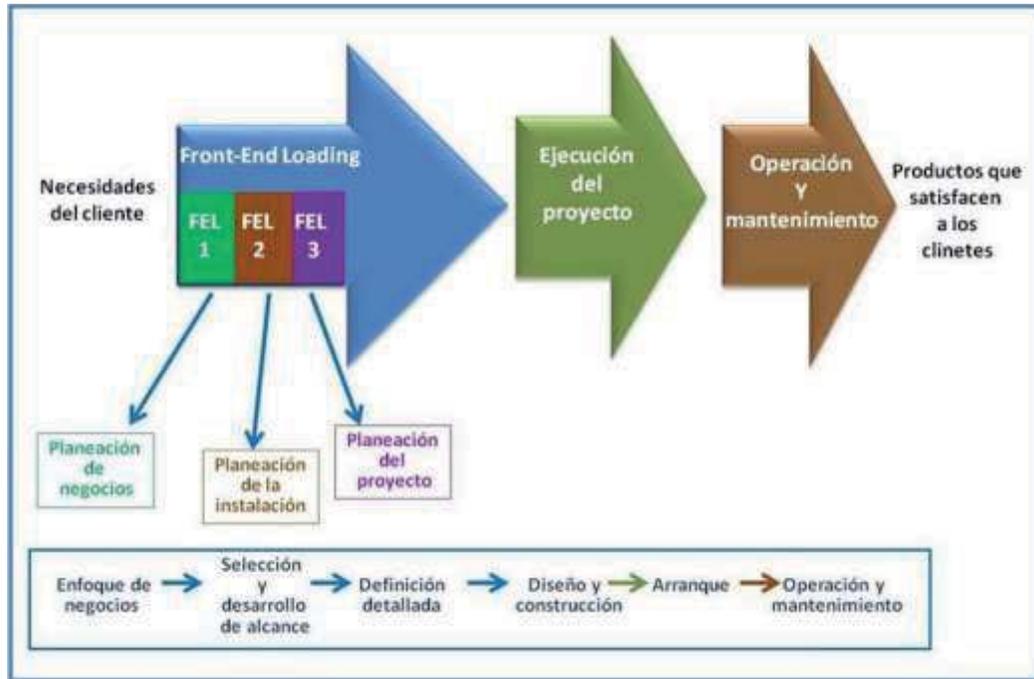


Figura 16 Proceso común de Evolución del Proyecto.⁷

Las compañías tratan de definir qué es lo que están tratando de hacer, que es básicamente la etapa del FEL de negocios, después se comprometen a una definición excelente del proyecto, y finalmente, trabajan en los detalles de cómo estarán haciendo un trabajo rápido y sin cambios.

Uno de los elementos críticos de la industria es la problemática en los sistemas de proyectos por la falta de cooperación de las funciones, es decir el negocio no entiende a los ingenieros, los ingenieros no entienden al negocio y los ingenieros no entienden a los contratistas, las operaciones no son entendidas por nadie.

Además estas compañías administran sus proyectos por indicadores clave de seguimiento. Los sistemas de proyectos por su naturaleza, y especialmente los sistemas de proyectos mayores, no pueden ser administrados por los resultados. Estas compañías excelentes en proyectos de inversión en procesos industriales están centradas en el FEL.

¿Por qué este increíble énfasis en FEL? En las industrias de proceso y en el sector privado, las estadísticas son que cuatro de cada cinco proyectos no cumplen con los objetivos prometidos al momento de autorización. Los costos de los productos son mayores, los procesos no trabajan bien, y la gente se lastima en el transcurso de los proyectos.

Sin embargo otro parámetro que destacar es el que hace Edward W. Merrow fundador de IPA Independent Project Analysis, una de las firmas más importantes de evaluación de proyectos presente en gran parte del mundo. El factor es la importancia que tiene seleccionar el proyecto correcto y hacer el proyecto correctamente, estas dos premisas deben ir siempre juntas.

Como lo menciona Merrow, FEL responde al administrador del negocio las preguntas básicas: ¿Por qué estamos haciendo esto?, ¿Qué estaremos haciendo, y cuando?, ¿Cómo lo estaremos haciendo y quien estará haciendo el trabajo? Todas estas preguntas tienen que estar contestadas en el FEL, si es que se quiere tener éxito. Este es uno de los primeros puntos de negocios.

FEL es un proceso, pero también es un conjunto de productos, por lo que es muy importante enfocarse en los productos cuando se mide el FEL.

3.1.12 DUPONT

En DuPont, el administrador tiene cuatro responsabilidades en la realización de un proyecto de inversión, las cuales son:

1. Seleccionar el proyecto correcto
2. Liderar o conducir el proceso de FEL
3. Administrar la ejecución del proyecto
4. Asegurar la renovación de competencias

Seleccionar el proyecto correcto

La compañía ha desarrollado un proceso de autorización a base de compuertas de autorización que requiere que el administrador demuestre que el proyecto ha quedado soportado por lo siguiente:

- La estrategia de negocios de DuPont
- Pronóstico de precios

-
-
- Pronóstico de volumen
 - Mostrar que la mejor tecnología ha sido seleccionada
 - Tener un plan para la ejecución del proyecto

La esencia es que se define ¿Qué es lo que se quiere hacer?, y el camino que la gente seguirá para obtener los resultados más efectivos para el negocio.

Administrar el proyecto de ejecución

En el sistema de proyectos de DuPont se encuentran muchos factores críticos de éxito, los cuales son enlistados junto con algunas sugerencias.

1. Integrar un equipo para el éxito: En este punto es muy importante tener integrado el equipo, para poder obtener los mejores resultados al final. Los equipos tienen que ser conducidos por un camino que permita que ellos añadan valor al proceso.
2. Administrar el equipo para el éxito: Reducir cambios en personal, especialmente en administradores de proyectos. Definir claramente los roles y responsabilidades de los miembros del equipo e influir en recursos clave de los contratistas.
3. Metas de negocio paralelas al FEL: La sugerencia hecha por DuPont es que no es buena idea permitir que los ingenieros decidan por criterio lo que estarán haciendo, además las metas del negocio deben ponerse por encima de todo. Es muy recomendable tener un proceso de FEL consistente y documentado, y posteriormente en el proceso del FEL usar compuertas de autorización, y no autorizar hasta que el FEL esté completo.
4. Uso superior de tecnología competitiva: En este punto es importante considerar que debido a que muchos proyectos toman 1, 2 o 3 años para construir, en este tiempo siempre alguien contará con una tecnología superior en su proyecto, por lo tanto las recomendaciones de DuPont son: Realizar un Benchmarking, especialmente de principales competidores. Además de emplear una selección de tecnología disciplinada, y documentada en una base de datos.
5. Minimización de las inversiones que no añaden valor: Este punto se logrará si se emplea la simplificación de procesos e ingeniería de valor, además de las prácticas de ingeniería de valor aplicables. Comparar el proyecto con respecto al promedio de la industria (benchmarking). Es muy importante indicar que estas prácticas de valor hacen una gran diferencia en el resultado del proyecto.

Hay que considerar que hay mucha tecnología de administración de proyectos, es muy importante contar con gente que conozca acerca de estas prácticas, ya que deben de tener disciplina en términos de cómo se aplicará estas.

6. Asegurar la excelencia en seguridad: Aquí es importante considerar un proceso de administración de seguridad tal como el proceso de análisis de riesgos y consideraciones ambientales.
7. Ejecutar el proyecto sin cambios: En este último punto la sugerencia de DuPont es simplemente no realizar cambios una vez que el proyecto ha comenzado, o los problemas también comenzarán.

El camino seguido por DuPont es trabajar para que la compañía este alineada con cada unidad de negocios, lo que es mejor conocido como “Administración de ingeniería de negocios”.

El personal que lo compone son miembros proactivos de la unidad estratégica de negocios, y su trabajo dentro de la compañía es ver cuáles son las necesidades en términos de competencia para hacer competitiva la unidad de negocios y el nivel corporativo.

3.1.13 Weyerhaeuser Steven Harperh

Es una compañía que tiene trayectoria de cien años en productos relacionados con la madera, además de ser una compañía que comenzó la explotación forestal, y de las primeras que realmente tiene una iniciativa sustentable en la selvicultura⁷.

En 1995 tuvieron algunos problemas en su sistema de inversiones, y fue entonces cuando la compañía IPA, comenzó a trabajar con Weyerhaeuser en este problema. Como resultado de este trabajo se identificaron tres deficiencias del proceso de la compañía, los cuales eran:

- No había una clara responsabilidad de negocios
- Falta de disciplina en el proceso de asignación de recursos (capital)
- Y finalmente había una fuerte percepción de demanda a la compañía por predicción de costos.

Otra conclusión muy importante mencionada por esta compañía, es que se requiere estar seguro de estar haciendo el proyecto correcto, y estarlo ejecutando correctamente. Weyerhaeuser ha concluido que 40% de la oportunidad de éxito se encuentra en estas decisiones.

Por ejemplo Weyerhaeuser define la primera fase como análisis de oportunidad, donde en esta fase se desarrolla la estrategia de negocios, y se analizan diferentes alternativas.

La segunda fase está definida como Análisis de Factibilidad, donde se evalúan los recursos financieros para esas diferentes alternativas hasta encontrar la mejor alternativa que cumpla con sus necesidades de negocio.

La tercera se refiere al desarrollo de la propuesta, en ésta la compañía alcanza una definición más detallada del proyecto (Básicamente esta fase se compone del desarrollo de la ingeniería).

Las últimas fases son la implementación y la relacionada con el inicio y puesta en marcha del proyecto.

Otro factor muy importante de mencionar del proceso de proyectos, es el empleo de prácticas de incremento de valor, donde Weyerhaeuser se enfoca en tres principalmente, las cuales son:

- Selección de la tecnología
- Simplificación de proceso (y ¿cómo se puede hacer fácil el mantenimiento?)
- ¿Cómo se puede hacer el proceso más efectivo?

Por lo anterior se puede concluir que los logros obtenidos por Weyerhaeuser en cuanto a la reducción de los costos en la ejecución de sus proyectos, lo han realizado asegurando que están haciendo bien el proyecto correcto, aplicando su sistema de proyectos, y administrándolo vía FEL.

3.1.14 Chevron

Un claro ejemplo de una compañía energética, a su vez, petrolera de gran importancia a nivel mundial, es el caso de Chevron, que estratégicamente implementó los conceptos de FEL, adaptados a las necesidades de la compañía y de cada proyecto.

Esta implementación esta dentro de su proceso de administración de proyectos, y les ha permitido mejorar los programas, disminuir costos, mejorar la seguridad en la ejecución e incrementar el valor de muchos de sus proyectos alrededor de todo el mundo.

EL proceso de Desarrollo y Ejecución de Proyectos de Chevron se descompone en cinco fases:

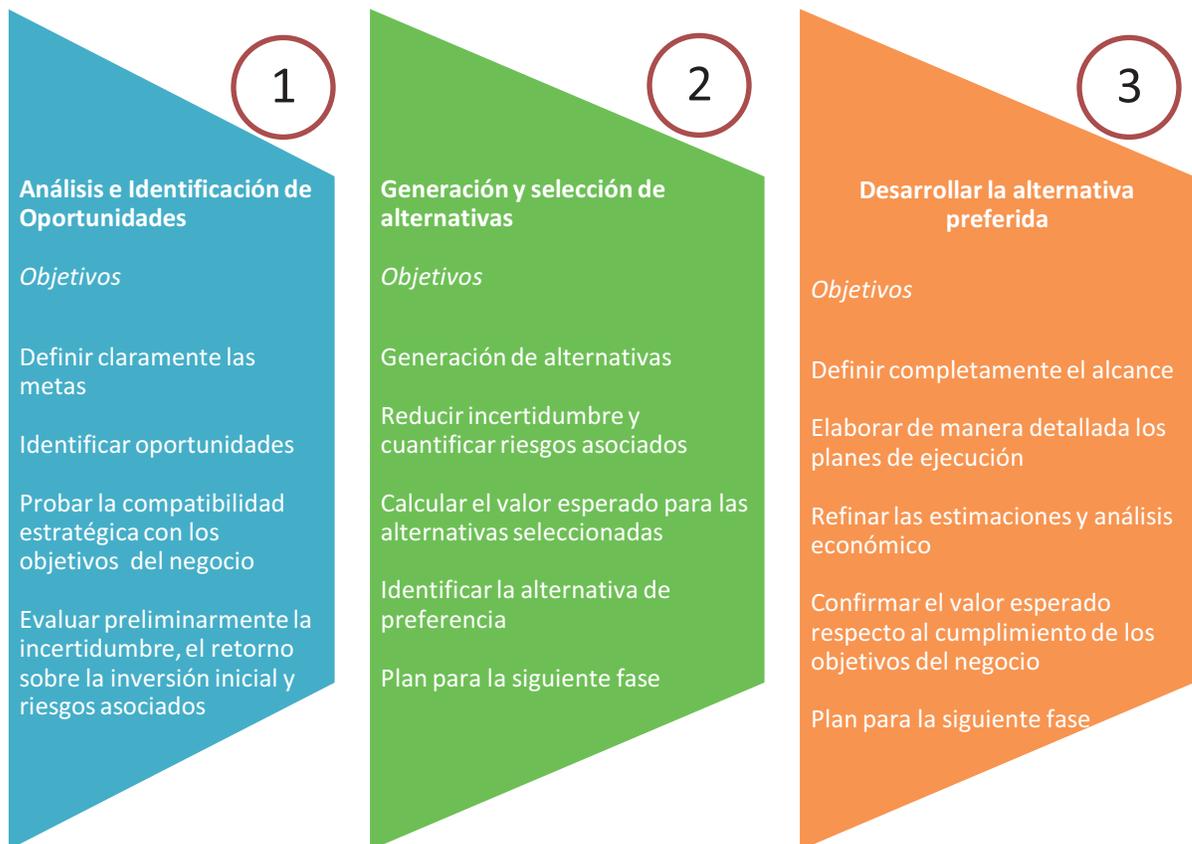
- La primera fase involucra el marco de metas y objetivos de negocio, que persigue y asegura la alineación con los objetivos del negocio.
Se trabajan las actividades clave, que posteriormente se consideran en la perspectiva financiera, a su vez se elabora el mapa guía del proyecto involucrando las partes interesadas o stakeholders, así como el plan de ejecución que ayudará a lograr las metas de manera más efectiva.
- La segunda fase involucra la búsqueda e identificación de alternativas que reúnan el criterio desarrollado en la primera fase.
Esta fase se enfoca en las alternativas, en particular es muy crítica. Se traduce en poner a trabajar conjuntamente equipos multifuncionales donde es posible analizar diferentes alternativas que finalmente, se incrementa el valor de la empresa.
- Involucrando el desarrollo de las alternativas seleccionadas en la segunda fase, en la tercera ya con la tecnología seleccionada, se desarrolla el alcance y plan de contratación antes de que comienza la siguiente fase, en la cual se ven todos los esfuerzos materializados.

Chevron usualmente se refiere a las tres primeras fases como FEL, donde la mayoría del valor de los proyectos es identificado. Este permite evaluar todas las alternativas razonables durante la fase de FEL, y asegurar que el proyecto es el adecuado para las necesidades del negocio.

- La cuarta fase involucra la ejecución del plan que fue desarrollado en la tercera fase, en otras palabras la construcción del proyecto. Las partes interesadas son individuos clave en las áreas funcionales de la organización que se varan afectadas, tendrán que vivir con el proyecto e influenciarlo directamente.
- Y finalmente la quinta fase involucra la operación del proyecto.

En resumen, la primera fase es descrita como la identificación del valor, donde las siguientes fases aseguran el máximo valor para la compañía Chevron.

La Figura 17 muestra con mayor detalle las fases en el ciclo de vida de proyectos de Chevron, así como los elementos clave, de cada una de las etapas a través del ciclo de vida del proyecto.



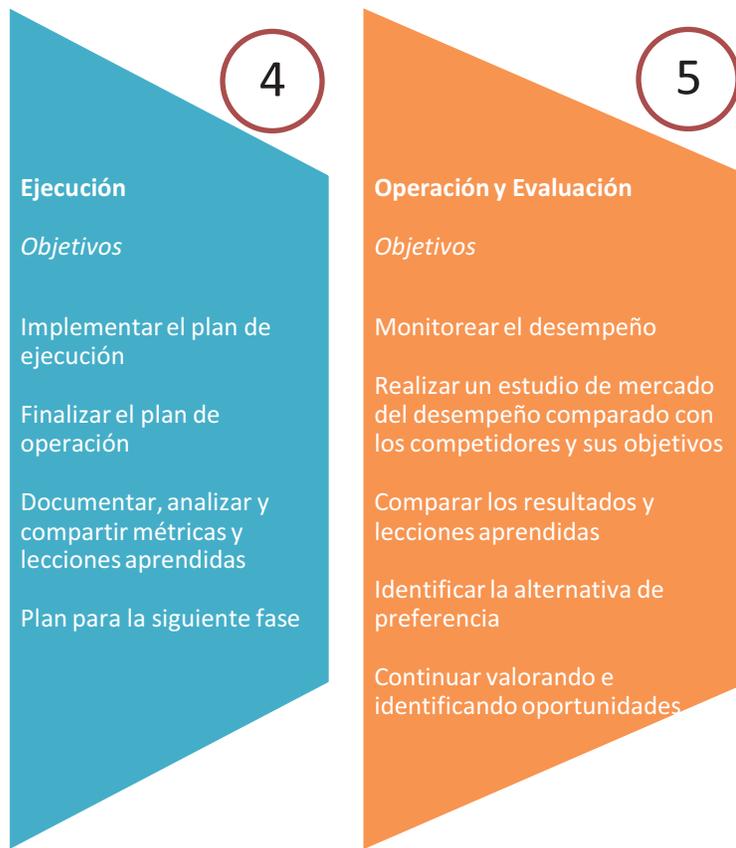


Figura 17 Ciclo de vida de proyectos de Chevron

La gran importancia que ha tenido la Planeación de Ejecución del Proyecto, en su sistema como herramienta empleada dentro de Chevron para tratar de poner todos los componentes juntos, donde además permite responder en orden las preguntas ¿Quién, Qué, Por qué, Cuándo, Dónde y Cómo?, para cultivar en el equipo un ambiente enfocado en el logro de resultados. Es importante mencionar que planear la ejecución del proyecto es un proceso que evoluciona a lo largo de cada fase.

El éxito de la planeación está basado en la búsqueda de actividades críticas que requieren ser terminadas en determinadas fases antes de moverse a la siguiente fase.

El objetivo de Chevron es realizar todo con el objeto de seleccionar el proyecto adecuado y ejecutarlo correctamente, además busca ejecutar los proyectos seguros, rápidos y menos costosos

que sus competidores. Finalmente es importante destacar que solo a través de los resultados del Benchmarking (comparación de resultados de sus proyectos con los del resto del mercado) el proceso de Chevron ha podido mejorar sus sistema.

3.1.15 IPA

Edward Merrow es el fundador y presidente de Independent Project Analysis, Inc., una compañía que proporciona una investigación sobre el desempeño de proyectos para las industrias de procesos químicos.

IPA ha crecido de una persona a una organización de casi cien analistas de proyectos, con oficinas en los Estados Unidos, Europa, China y Australia.

Actualmente IPA se encarga de:

- La búsqueda de la excelencia en la administración de proyectos basada en los descubrimientos de mejores prácticas y desempeño de proyectos.
- Originalmente se enfocó en la industria de procesos y mano de obra, pero se ha ido expandiendo a otras áreas como proyectos de tecnología de información, ambientales e implementación de proyectos.
- Ha establecido bases de datos de proyectos cubriendo los ciclos de vida completos, incluyendo información de costos, fondos, negocios y características del proyecto.

Paul Barshop, director de Europa y la mitad del este de África del IPA define al FEL como un proceso que traduce las oportunidades de negocios y tecnología a proyectos de inversión, donde los objetivos del proyecto están alineados con los objetivos del negocio, desarrollando el más eficiente diseño de proceso y plan de ejecución para lograr los objetivos del Proyecto. FEL continúa desde que el proyecto correcto es seleccionado, y termina al finalizar el paquete de diseño básico. Siendo este proceso clave en la ejecución y mantenimiento de valor del proyecto, influyendo de manera clave en el éxito del proyecto.

3.1.16 Mustang Engineering Inc

El sistema de administración de proyectos de Mustang (PM) soporta los proyectos con planes establecidos, procedimientos e implementación de mejores prácticas. Mustang ha trabajado en alinear expertos en diseño de ingeniería con las necesidades del cliente, para integrarlo completamente en su proceso de Administración de proyectos.

El grupo Mustang ha reunido personal con experiencia en todas sus áreas de mejores prácticas de administración de proyectos, lo cual ha permitido mejorar el desempeño de sus proyectos en costo, programa, operabilidad, seguridad, y satisfacción del cliente⁷.

El modelo FEL de Mustang tiene cinco componentes importantes: Definición de las necesidades del negocio, análisis de alternativas de inversión, definición de bases de diseño de proyecto, plan de ejecución del proyecto y análisis de riesgos.

El marco de referencia de lo anterior involucra:

- Definición de los requerimientos del negocio
- Definición de las necesidades del negocio
- Análisis y selección de alternativas de inversión
- Definición de las bases de diseño y alcance de las trabajos a ejecutar
- Integración de un equipo de proyectos con personal experimentado para alcanzar las metas del proyecto
- Proporcionar orientación dinámica e integración de equipo
- Asegurar un claro Plan de Ejecución del proyecto
- Monitorear frecuentemente el avance con métricas que sean significativas
- Analizar áreas clave de riesgos del proyecto (costo, programa, calidad y operatividad)
- Desarrollo apropiado de contingencias

Un factor importante en Mustang es la mejora de los proyectos implementando mejores prácticas, dentro de las cuales se encuentran las siguientes:

- Uso de un Plan de Ejecución del Proyecto
- Administración de Decisiones
- Administración de Cambios
- Administración de Riesgos

-
-
- Construcción de Equipo y Alineación
 - Lecciones Aprendidas
 - Uso de Prácticas de Incremento de Valor (VIP)
 - Administración de Información
 - Revisión de Pares Expertos
 - Benchmarking del proyecto

No solo el uso de mejores prácticas le ha permitido lograr el éxito en sus proyectos, lo ha logrado aumentando la probabilidad con la implementación de prácticas de incremento de valor, que son usualmente conocidas como VIP, siendo parte importante en la construcción del proyecto. Además siendo el Benchmarking el que ha permitido asegurar el buen resultado en sus proyectos.

Prácticas de Incremento de Valor “VIP”

Son prácticas y procesos usados para mejorar el costo, programa y confiabilidad del capital en los proyectos. Ayudan a mejorar la predictibilidad de éxito.

Las prácticas de incremento de valor incluidas en el proceso de administración se definen:

- Selección de tecnología
- Simplificación de procesos
- Minimización de desperdicios
- Clases de calidad de implementación
- Revisión de constructibilidad
- Modelo de confiabilidad de procesos
- Especificaciones y estándares mínimos
- Diseño de capacidad
- Optimización de energía
- Ingeniería de valor

La figura 18 muestra estas prácticas y las etapas en las que se consideran y aplican en Mustang.

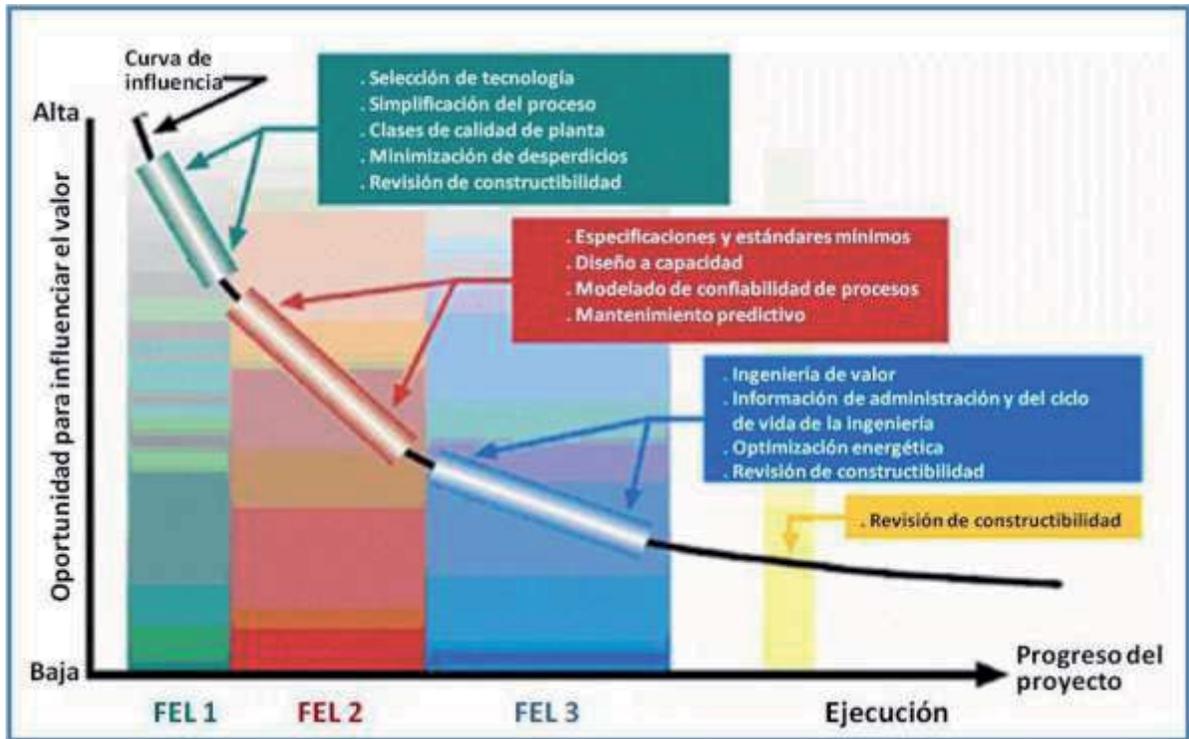


Figura 18 Prácticas de incremento en el proceso de administración

Este grupo de proyectos ha trabajado mucho en la parte de planeación de riesgos, en la identificación, monitoreo y control de riesgos. Para añadir valor a sus proyectos, además han incorporado lecciones aprendidas, proveyéndole de una poderosa herramienta al equipo de proyectos que ha permitido emplear esta experiencia eficiente y efectiva en proyectos futuros.

Con base en los modelos anteriormente mostrados, queda de manifiesto que uno de los elementos clave que ha permitido lograr el éxito en sus sistemas de proyectos, ha sido el empleo del FEL en sus sistemas de proyecto, donde puede y debe ser implementado. Cada compañía ha adaptado los fundamentos base en este proceso, sin embargo el proceso básico es el mismo.

Los elementos clave similares de FEL se pueden enumerar como:

- Claras metas de negocio y proyecto (caso de negocios)
- Alineación de las metas del proyecto con las del negocio
- Involucramiento de las partes interesadas
- Integración de un buen equipo de proyectos
- Selección adecuada de alternativas

-
- Plan claro de ejecución del proyecto
 - Análisis de riesgos
 - Análisis económico
 - Compuertas de autorización durante cada fase del ciclo del proyecto

Esto es una muestra de la importancia de una Planeación Inicial en la vida de cualquier proyecto sin importar su tamaño. Esto no solo se aplica a grandes compañías y negocios, si no es una cultura de planeación, evaluación y logro de oportunidades. La base del éxito es y será siempre, un pleno conocimiento del objetivo y una correcta planeación y ejecución con un apego a lo que se requiere, siendo esto el concepto más simple de lo que puede representar FEL.

3.1.17 Modelo de Procesos Base de la Definición Inicial (FEL)

Después de haber analizado los procedimientos de algunas compañías y el impacto positivo del FEL, siendo uno de los componentes clave que ha permitido lograr el éxito en sus proyectos, es importante analizar el modelo base que pueda ser empleado para cualquier tipo de proyecto en la industria.

Los elementos esenciales del FEL corresponden a los dos primeros de la administración de proyectos:

- Definir y organizar el proyecto
- Planificar el proyecto
- Administrar la ejecución del proyecto
- Finalizar el proyecto

La fase de definición y organización del proyecto tiene dos propósitos

- Definir claramente los objetivos del proyecto de la forma más completa posible
- Organizar a las personas adecuadas y a todos los recursos necesarios alrededor de dichos objetivos

Para un mejor control en la autorización de recursos, el FEL para proyectos industriales se divide en tres fases denominadas FEL 1, 2 y 3. Sin embargo como se pudo observar en los modelos de las distintas compañías en estas etapas también varía su definición, y en algunas compañías hasta las etapas.

El FEL 1 corresponde a la etapa de planeación de Negocios. Las áreas de Planeación y Operación de la organización preparan y entregan a la Organización de Proyectos el caso de negocios, el acta de constitución del equipo y el alcance preliminar de los Trabajos del Proyecto. Posteriormente la organización de proyectos presenta para autorización la Estrategia de Ejecución del Proyecto preliminar.

El FEL 2 corresponde a la evaluación y selección de alternativas con base en alcances y estimados conceptuales. El Plan de Ejecución del Proyecto preliminar es revisado y autorizado por la empresa que reemplaza a la Carta de Proyecto y el Alcance de los Trabajos, y la organización de proyectos desarrolla las Bases de Diseño para la Ingeniería Base.

El FEL 3 corresponde al Desarrollo del Mejor Alcance que cumpla con las necesidades del negocio y a definir la mejor Estrategia de Ejecución del Proyecto. El Plan de Ejecución de Proyecto revisado y autorizado en FEL 2 es complementado con la ingeniería básica, se selecciona la estrategia de ejecución y se refleja en el programa estimado de costo para obtener el plan de Ejecución del Proyecto detallado.

Un proyecto se origina como una solución a un problema o para tomar ventaja de una oportunidad⁷. Las necesidades de la situación actual serán resueltas con los entregables del proyecto propuesto. Dichas necesidades podrían estar relacionadas a:

- Reducción de costos
- Incremento de utilidades
- Eliminación de desechos
- Incremento de productividad y eficiencia
- Solución de un problema de negocios o funcional
- Toma de ventaja de una oportunidad de mercado

La planeación de un proyecto comienza con una idea y se convierte en un proyecto que cumple con las necesidades del negocio. Las funciones clave que aseguran una gran probabilidad de éxito en el proyecto, y en el negocio están indicadas en la figura 19.

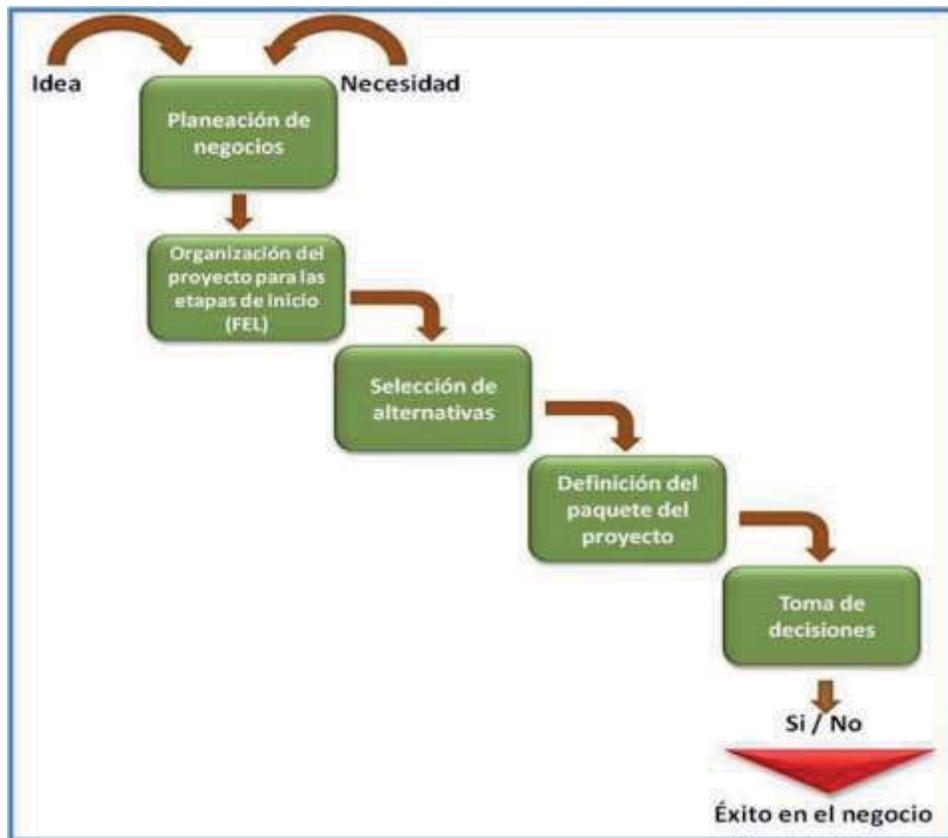


Figura 19 Funciones clave de un proyecto

El ciclo de vida de un proyecto define:

- Que trabajo técnico debe realizarse en cada fase
- Quien debe estar involucrado en cada fase
- Cada fase se caracteriza por la terminación de uno o más entregables
- La conclusión de una fase de proyecto generalmente involucra una revisión de, tanto los entregables claves, como del desempeño del proyecto a ese momento, para:
 - determinar si el proyecto debe continuar
 - detectar y corregir errores de costo de manera efectiva

Esas revisiones al final de las fases se denominan COMPUERTAS.

La primera fase algunas veces es llamada análisis de factibilidad más que planeación de negocios. La segunda fase corresponde a la organización y selección de alternativas, que es comúnmente llamada planeación conceptual. La tercera fase, corresponde al desarrollo de la definición del paquete de proyecto, comúnmente llamada definición del alcance de detalle. La cuarta fase,

corresponde al diseño de la ingeniería de detalle, planeación, construcción y arranque, esta comúnmente llamado como ejecución.

El proceso del FEL incluye definir el alcance del proyecto y la planeación para la ejecución. En esta etapa crucial los riesgos son analizados, los diseños preliminares son formulados, la decisión crítica se toma, y la ejecución del proyecto es definida. El proceso es estructurado para incluir compuertas de autorización o puntos de decisión para a tomar para proceder con la siguiente fase. Además, provee la oportunidad de documentar el progreso y tomar la decisión de proceder o no. Una vez definidas las etapas básicas se describen los subprocesos y sus interrelaciones.

El proceso FEL está integrado en cinco procesos básicos:

- Planeación de Negocios
- Organización de las etapas iniciales del Proyecto
- Evaluación y selección de alternativas
- Desarrollo de un paquete de definición del proyecto
- Tomar una decisión informada con respecto a si procede o no el proyecto

Si quienes toman la decisión eligen no comprometer recursos, esta decisión es usada para modificar ya sea la planeación de negocios o los procesos funcionales del FEL; si eligen comprometer recursos, la siguiente función es ejecutar el proyecto.

3.1.18 Elementos Clave para Tomar la Decisión

El paquete de definición del proyecto y el paquete de autorización, controlan la función de la toma de decisión. Quien toma la decisión decide, si proveer los recursos necesarios para proceder con la ejecución del proyecto. Si la decisión no es tomada, posiblemente se requiere de retroalimentación adicional y puede asignar fondos adicionales para algunos de los procesos o subprocesos del FEL.

En la siguiente figura se presentan los elementos clave del modelo de FEL. (Figura 20)

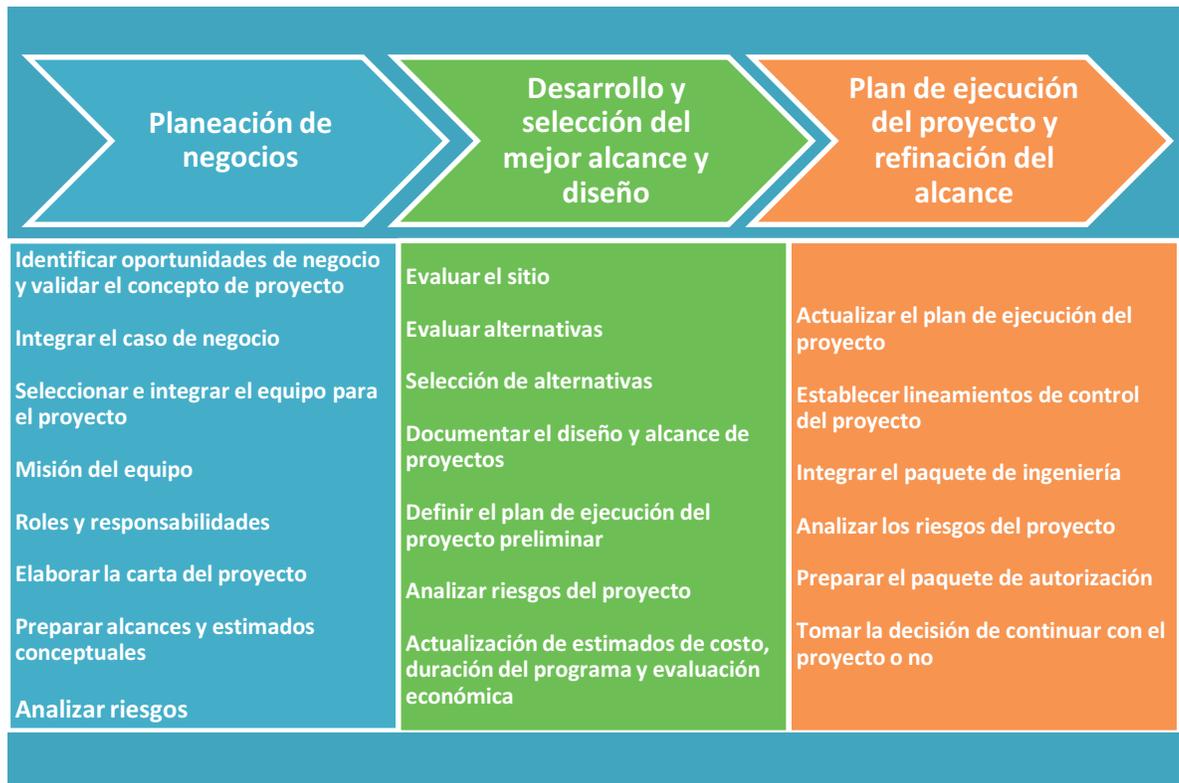


Figura 20 Elementos clave del modelo FEL

Recopilando lo anterior podemos resaltar importantes conclusiones acerca de la importancia y papel que puede desempeñar los procedimientos FEL en el futuro de la Industria Petrolera en México, y como parte de ella, la educación de los profesionales que se desempeñan y desempeñaran en ella.

Se puede mencionar que la utilización de un FEL en los procesos de selección y construcción de proyectos es la inversión más inteligente que se puede hacer para maximizar la oportunidad de éxito de cualquier proyecto. Se ha descrito sus orígenes, esencia y ventajas reales en la implementación de esta herramienta.

Lo que se presenta anteriormente es una mejor manera de conducir los proyectos, con mejores prácticas que representan una gran oportunidad en las compañías mexicanas para eliminar las fallas en los proyectos, maximizando la oportunidad de éxito de los proyectos, y logrando ahorros hasta del 20% o más, ejecutando los proyectos correctamente. Esto incrementa drásticamente la

probabilidad de éxito, cumpliendo con los objetivos del proyecto, mejorando la posición de la empresa.

El FEL no es una receta mágica, no sustituye la experiencia, el criterio ni al buen juicio. Es una mejor práctica que ha comprobado en Estados Unidos, y Europa mejorar el desempeño de los proyectos en términos de costo, programa y operatividad. En términos coloquiales FEL significa planear de manera anticipada (en las partes iniciales del proyecto) todo lo que se requerirá durante la construcción, arranque e inicio de la operación de un proyecto. Esta mejor práctica se soporta de planeación de negocios (evaluación de proyectos), ingeniería y administración de proyectos.

Un buen desarrollo de FEL implica cumplir con el proceso y sus etapas, elaborar los entregables establecidos para cada etapa y medir el nivel de madurez de la definición del proyecto con un proceso de maduración con compuertas de autorización en sus etapas claves:

- Planeación de negocios
- Selección de alternativas
- Definición del alcance y diseño del plan de ejecución del proyecto

A través de esas fases se selecciona el proyecto correcto y se planea la ejecución del mismo, obteniendo una mejor definición y por lo tanto se traduce en posibilidad de éxito. ¿Qué ventajas tiene esta mejor práctica?, la respuesta radica en las diferencias que encontramos en el FEL con respecto a un proyecto tradicional:

- El análisis de influencias (positivas y negativas) de todas las partes interesadas en el proyecto
- La inclusión de representantes de todas las partes interesadas en el proyecto en el equipo FEL
- La elaboración de una Carta Proyecto en la que se establezcan con toda claridad:
Los objetivos que deberá cumplir el proyecto
Los roles y responsabilidades de todos los participantes en el equipo de proyecto
- La elaboración de un Plan de Ejecución del Proyecto en el que se establezcan los objetivos del proyecto que cumplirán los objetivos del negocio.

Podemos mencionar algunas diferencias importantes, pero la más importante radica en el significado de camino al éxito, donde FEL puede facilitar el camino a él.

Los cambios a través del modelo del FEL, implican un grado de modificación en la conducta y disciplina. Esto implicara cambios de actitud de los administradores, que usualmente creen que tiempo es dinero, y por lo tanto pueden desperdiciar estos esfuerzos de implementación de FEL.

En los últimos años, los profesionales, administradores y constructores de proyectos, han comenzado a apreciar el impacto positivo que el FEL puede lograr en los resultados de los proyectos, siendo esto una muestra de adoptar mejores prácticas en la evaluación de proyectos, que siendo la Industria Petrolera de las más importantes del país, es una opción viable al cambio no solo en los procedimientos, si no en la mentalidad y actitud que dirija esta industria a un mejor plan de desarrollo y crecimiento en beneficio de la empresa y el país.

3.1.19 Análisis de Tecnologías Disponibles

La primer tarea es determinar que tecnologías existen, que tan competitivas son, y si se encuentran disponibles. Esto incluirá algunas nuevas tecnologías, incluyendo las desarrolladas por la misma compañía. Los elementos clave de esta parte del análisis involucran revisar cuestiones tales como: literatura pública, servicios de monitoreo tecnológico, patentes y reportes de inteligencia de negocios y de mercado. Normalmente en este punto muchas tecnologías pueden ser eliminadas y reducir las alternativas a una lista manejable.

De las alternativas seleccionadas, se deberá recopilar una mayor información de detalle. El siguiente paso es contactar a los dueños de la tecnología y pactar un acuerdo de secrecía (en caso de requerirlo). Esto permitirá al equipo intercambiar suficiente información para el análisis financiero, evaluación de producto, y evaluación de proceso, así como las evaluaciones legales, de patente, salud, seguridad, toxicológicas, regulatorias y relacionadas con aspectos ambientales. Esta evaluación también ayuda a determinar los requerimientos adicionales de materia prima, de empaçado, de mano de obra, de mantenimiento, de almacenamiento, servicios auxiliares y otros necesarios para estimar un costo de inversión de orden de magnitud.

Cada alternativa debe ser analizada para asegurar que se cumplan los objetivos de proyecto, y se encuentre dentro de las limitantes, tales como el marco legal, patente, regulatorio, toxicológico, ambiental, y de seguridad⁷.

Después de que todas las alternativas han sido evaluadas y cerrado las brechas de conocimiento, el equipo debe desarrollar recomendaciones basadas en criterios de selección que incluyan todos los objetivos de la misión, restricciones y líneas guías a ser consideradas. Este es un paso crítico que debe ser considerado muy cuidadosamente.

Muchas veces el criterio de selección estará compuesto de una mezcla ponderada de:

- Posición competitiva a largo plazo
- Calidad en el producto
- Flexibilidad del proceso
- Resultados del análisis financiero
- Consideraciones operacionales
- Consideraciones ambientales
- Compatibilidad con sitios potenciales

Preparación de la documentación de la tecnología:

Conforme avanza el análisis de la tecnología, los procesos deben ser documentados y contener la siguiente información:

- Objetivo del análisis: Declaración de los objetivos de la tecnología y una lista de las tecnologías que serán analizadas por el equipo.
- Descripción del proceso y productos: Una descripción general de cada proceso y productos resultantes son documentados. También una lista de brechas de conocimiento identificadas, así como limitantes del proceso o producto.
- Factores de mercado y aplicaciones: Las aplicaciones potenciales y objetivo del proceso y productos deben ser discutidas e incluir: posición competitiva, objetivos de mercado,

grado anticipado de competencia, tipos de mercado, expectativas de crecimiento de mercado, amenazas de otras fuentes, y proyección de ventas a largo plazo.

- **Análisis financiero:** Un plan para el análisis financiero de cada tecnología debe ser desarrollado. Estos deben incluir un informe de estudio de riesgos y análisis de sensibilidad. Además medidas estándar de la compañía tales como; Retorno sobre la Inversión (ROI) tasa interna de retorno (TIR), y valor presente neto (VPN), etc. Estas deben ser comparadas.
- **Estado de tecnología y de conocimiento:** Deberán presentarse planes para identificar las brechas de conocimiento y tecnología.

El equipo desarrolla el criterio de selección de la tecnología basado en objetivos de proyecto. Este criterio puede generalmente tomar lugar en las siguientes tres categorías:

- **Aspectos mandatorios:** Esta categoría típicamente contiene los elementos que deben cumplirse o la evaluación se concluye porque la tecnología ya no tiene oportunidad de ser exitosa. Esto incluye:
 - a. La compañía debe mantener una posición legal favorable.
 - b. La Tecnología debe tener una patente con acceso a información confidencial
 - c. La tecnología debe cumplir con los reglamentos regulatorios.
- **Aspectos o necesidades críticas:** Esta categoría típicamente tiene que ver con los elementos que se encuentran en la declaración de objetivos, restricciones, y criterios de éxito, tales como; capacidad, forma de producto, y requerimientos de materias primas, alimentación al proceso, espacio en metros cuadrados, entre otros.

-
-
- Aspectos opcionales: En esta categoría se contemplan preferencias de las partes interesadas clave tales como; negocios, operaciones, mantenimiento, ingeniería, etc. Es en este punto donde una matriz de criterios de selección o tabla debe ser preparada, para mostrar la importancia del peso de cada criterio y la calificación de cada alternativa de tecnología alterna. El peso total sugerido sería 100% en una escala de 0 a 100. Pudiera ser útil y apropiado contar con explicaciones en hojas separadas para algunas calificaciones.

Reporte Final: La evaluación final de los requerimientos del reporte de tecnología debe contener una presentación a la alta dirección y un reporte formal.

- Presentación a la alta dirección: El objetivo de esta presentación es dar a la alta dirección suficiente entendimiento, y confianza en la recomendación, de tal forma que estén convencidos de que:
 - Todas las tecnologías relevantes han sido exploradas ó analizadas.
 - Los métodos de análisis han sido completos.
 - Los resultados son completos y precisos
 - Las recomendaciones están bien soportadas, son seguras y confiables.
 - Las recomendaciones cumplen con los objetivos de la compañía y pueden ser logradas dentro de los requerimientos y limitantes establecidos
 - La tecnología seleccionada es la correcta.

Reporte Formal: Este reporte escrito debe documentar los detalles de los estudios de tecnología e incluir los costos finales del trabajo hecho por el equipo.

Es importante resaltar que la selección de la tecnología es un elemento crítico en el éxito de la organización a largo plazo. Todas las necesidades y situaciones deben ser consideradas cuidadosamente para tomar la mejor decisión.

3.1.20 Analizar Riesgos del Proyecto

Es importante mencionar que el análisis de riesgos debe estar basado en una revisión de amenazas de alcance del proyecto, costo y programa de ejecución con el objetivo de identificar, valorar y definir un plan para control y mitigación de riesgos.

Las estrategias de mitigación deben ser desarrolladas para cada incertidumbre, contemplando lo siguiente:

- Un marco para mitigación requiere ser desarrollado
- Los procesos requieren ser periódicamente monitoreados
- El impacto de la incertidumbre para los ahorros del proyecto tiene que ser revisada

Los fondos para las contingencias identificadas deben estar basados en los resultados de estrategia de mitigación o identificación de nuevas incertidumbres.

La administración de riesgos es un proceso usado para administrar y controlar los riesgos del proyecto para invertir en oportunidades y minimizar el impacto de los riesgos y la incertidumbre, los objetivos de la administración de los Riesgos del Proyecto son aumentar la probabilidad y el impacto de los eventos positivos, y disminuir la probabilidad y el impacto de los eventos adversos para el proyecto.

La Administración de los Riesgos del Proyecto incluye los siguientes procesos:

- Identificación de riesgos: Determinación acerca de los riesgos que tienen probabilidad de afectar el proyecto, y documentar sus características de cada uno.
- Cuantificando riesgos: Evaluación de riesgos y sus interacciones para valorar el rango de posibles resultados del proyecto.
- Respuesta a los riesgos: Definición de los pasos de mejora para oportunidades y respuesta a las amenazas.
- Control de respuesta a los riesgos: Responder para cambios en riesgo durante el curso del proyecto.

Los principales riesgos requieren ser identificados, cuantificados, y administrados para mitigar los problemas desarrollados. Los elementos pertinentes a considerar son los siguientes:

- Costos de operación y mantenimiento
- Costos de arranque y puesta en operación
- Consideraciones de mercado, como tamaño de mercado y comercialización del producto
- Incertidumbre en el proceso y capacidad de la tecnología
- Regulaciones

Riesgos de diseño

- Especialistas
- Experiencia
- Carga de trabajo
- Orientación del equipo de trabajo
- Comunicación
- Integración y coordinación

Riesgos de Construcción

- Disponibilidad de mano de obra y productividad
- Disponibilidad de materiales de construcción
- Disponibilidad de contratistas
- Clima severo
- Imprevistos, Condiciones de sitio difíciles

Recomendaciones para la administración de riesgos:

- Los procesos deben ser formalizados
- Debe comenzar desde un principio del ciclo de vida del proyecto, para la identificación y control continuo y consistente del alcance del proyecto, programa y riesgos en costo
- Debe involucrar la perspectiva clave de las partes interesadas de un proyecto
- Debe proveer información consistente y oportuna sobre el éxito de mitigación para permitir al equipo de proyectos reaccionar.

3.1.21 Ejemplo de aplicación FEL



Figura 21 Ejemplo de aplicación FEL 1/4

Fase de delimitación y desarrollo



Figura 22 Ejemplo de aplicación FEL 2/4

Fase de desarrollo y producción



Figura 23 Ejemplo de aplicación FEL 3/4

Fase de producción



Figura 24 Ejemplo de aplicación FEL 4/4

3.2 Administración del Portafolio

En la Industria de Explotación de Hidrocarburos, en donde se maneja un negocio con altibajos económicos, con un crecimiento exponencial en la inversión de nuevas oportunidades, avances tecnológicos continuos y un incremento en los riesgos implicados en las actividades, la importancia de la capacidad de el manejo de activos en la reducción de costos, presentan una gran importancia en el

aseguramiento del éxito económico. La optimización de la gestión y administración de recursos en la cartera de activos es una manera eficiente de impulsar el crecimiento de la industria.

Muchas de las Compañías de Exploración y Producción de Hidrocarburos han evaluado la importancia de manejar sus activos como un conjunto mixto, o cartera, considerando la interdependencia y parámetros de rentabilidad de los proyectos y no las inversiones implicadas en cada uno de ellos⁶. En donde se puede apreciar al manejo de la cartera de proyectos como un puente entre la visión o estrategia de negocios de una compañía y el conjunto de proyectos que harán de dicha estrategia un éxito corporativo. Esto tiene como base, los parámetros de medición implicados en la evaluación de oportunidades y la optimización de la cartera de proyectos con una distribución óptima de recursos.

3.2.1 Teoría de la Cartera de Inversiones

La mayoría de las compañías petroleras poseen muchos activos, como los campos petroleros, o intereses compartidos en otros campos, y hacen todo lo posible para adquirir y mantener la mejor combinación posible de tales activos. La teoría de la cartera de inversiones muestra cómo se pueden combinar los activos, de manera tal, que el riesgo quede minimizado para cualquier nivel de retorno esperado. Por otra parte, se puede definir como el estudio de la forma en que la compañía puede alcanzar una tasa máxima de retorno, a partir de una cartera de inversiones, cada una de las cuales tiene un nivel de riesgo determinado en sí misma.

Este sistema de la cartera de inversiones se basa en el trabajo de Harry Markowitz, quien obtuvo el Premio Nobel de Economía en 1990 por sus teorías sobre la evaluación de riesgos y recompensas en los mercados financieros. Markowitz quería probar la conveniencia con una cartera diversificada de activos financieros, constituida por una mezcla de inversiones para maximizar el retorno y minimizar el riesgo. Los analistas del sector energético, se dieron cuenta rápidamente de que existía un paralelismo entre la Bolsa de Valores, en la cual se comercializan papeles y acciones, y la actividad petrolera en la cual las compañías poseen y comercializan carteras de activos reales.

La teoría de la cartera de inversiones puede parecer contraria a la intuición. Supóngase que se deben invertir \$10 millones en proyectos de exploración y producción. Además sólo dos proyectos están disponibles, y cada uno de ellos requiere invertir la totalidad de los \$10 millones para obtener

un 100% de interés. Uno de los proyectos es relativamente riesgoso y las probabilidades de éxito son independientes.

El valor presente neto esperado (VPNE) para cada uno, que es el VPN del resultado satisfactorio multiplicado por la probabilidad de que ocurra dicho resultado más el VPN del resultado no satisfactorio (pozo seco) y la probabilidad de que esto ocurra, es el mismo: \$26 millones (Tabla 3). En este momento, se pueden agregar las complicaciones realistas. Si se pierde el dinero, la confianza de los accionistas se derrumba. Existe un 40% de probabilidades de perder la confianza de los inversionistas con el proyecto seguro y un 60% con el proyecto riesgoso. El VPNE en ambos casos es de \$26 millones; de manera que no existe una forma de aumentarlo eligiendo el proyecto riesgoso en lugar del seguro. Bajo estas circunstancias, el proyecto seguro constituye sin lugar a dudas la mejor opción.

Para agregar una complicación adicional, se podría suponer que es posible separar la inversión en forma igualitaria entre los dos proyectos. Intuitivamente, parecería una mala idea quitar el 50% del proyecto seguro e invertirlo en el riesgoso. Pero, ¿Es la intuición una buena consejera? Existen cuatro resultados posibles, Tabla 8.

Tabla 8 Resultados posibles de inversión.

	Resultado	VPN millones de \$	Probabilidad Independiente, %
MENOR RIESGO	Pozo Seco	-10	40
	Éxito	50	60
MAYOR RIESGOSO	Pozo Seco	-10	60
	Éxito	80	40

$$\text{VPN}_{\text{Esperado seguro}} = 60\% \times \$50 + 40\% \times (-\$10) = \$26 \text{ millones}$$

$$\text{VPN}_{\text{Esperado riesgoso}} = 40\% \times \$80 + 60\% \times (-\$10) = \$26 \text{ millones}$$

El VPN esperado sigue siendo de \$26 millones, pero la única forma de perder dinero y por lo tanto poner en peligro la confianza de los inversionistas, consiste en perforar dos pozos secos, para lo cual la probabilidad combinada es de 24% (multiplicando 40% x 60%). Esto reduce el riesgo de perder la confianza de los inversores casi a la mitad, comparado con la inversión del 100% en el proyecto seguro. Si se traslada el dinero de un proyecto seguro a otro riesgoso, en realidad se reduce el riesgo, lo cual constituye un resultado contrario a la intuición, dado por el efecto de diversificación. Resulta claro que el camino a seguir es la diversificación. No obstante dentro de la Industria petrolera, muchos persisten en seguir haciendo otra cosa. A menudo clasifican los proyectos de exploración según el valor presente esperado. Aunque este método se basa en el sentido común, ignora los beneficios de la diversificación. En el ejemplo anterior, se habría optado por colocar la totalidad de los fondos en el proyecto seguro, lo que representa casi el doble de riesgo que la cartera de inversiones diversificada.

El ejemplo anterior se fundamenta en una suposición de que los proyectos son independientes, aunque a menudo no lo son. Sus resultados pueden estar interrelacionados, estadísticamente dependientes, como la perforación de pozos en la misma área de hidrocarburos en dos proyectos diferentes, la producción de hidrocarburos los haría dependientes. Un ejemplo fundamental de estos casos sería la correlación, la cual puede ser positiva o negativa. La correlación es positiva cuando un resultado determinado para un proyecto, aumenta las posibilidades de que se produzca un resultado en la misma dirección del otro, lo cual disminuye el efecto de diversificación. Es negativa, cuando un resultado determinado para un proyecto disminuye la probabilidad de que se produzca un resultado en la misma dirección para el otro, con lo cual aumentaría el efecto de diversificación.

El objetivo en el manejo de la cartera de inversiones, consiste en diversificar las inversiones en muchas oportunidades, mientras se buscan las correlaciones negativas y se evitan las positivas.

En la teoría de Markowitz, se explica un método para mejorar una cartera de inversiones no óptima tomando como base tres preceptos. En primer lugar, dado un nivel constante de riesgo, el inversionista racional elige más valor por encima de menos valor, pero además prefiere menor riesgo a más riesgo. Segundo, existe más de una cartera de inversiones óptima. Por último, la cartera de inversiones como un todo, es mejor que cada uno de sus proyectos individuales. Cada proyecto debe ser considerado sobre la base de lo que aporta a la cartera considerada en su totalidad. Una cartera de inversiones es eficiente, si no existe otra que tenga mayor retorno esperado con igual o menor riesgo, y si no hay otra cartera que tenga menor riesgo con igual o mayor retorno esperado. Si no se presenta alguna de estas condiciones, la cartera de inversiones es eficiente, Figura 25.

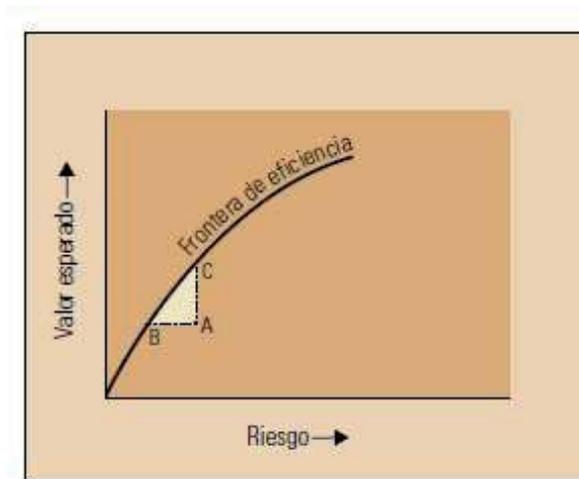


Figura 25 Frontera de eficiencia.⁶

3.2.2 Análisis de los Objetivos que Persigue la Optimización de la Cartera de Proyectos

En gran parte de los procesos de evaluación de proyectos, el parámetro VME (Valor Monetario Esperado), es el factor dominante y más usado para comparar proyectos por los profesionales encargados de la selección en presencia de riesgo e incertidumbre⁶. Las virtudes del VME restan del hecho de no incluir todas las dimensiones pertinentes de rentabilidad, así como los grados de riesgo e incertidumbre. Aunado a esta situación, si se tiene una cartera de proyectos, limitada a un

presupuesto, se puede asumir que la jerarquización será con respecto a sus VME's. En donde en la lista aparecerá en primer lugar el proyecto con el mayor (positivo) VME, y al final de la lista el que tenga el menor (positivo). En donde en la distribución de recursos se tendrá la elección consecutiva de proyectos de mayor a menor VME (positivo) de la lista hasta agotar el presupuesto.

Pero, ¿Puede ser así de simple? Por ejemplo, se parte de la suposición de que el profesional encargo de la toma de decisiones tiene que elegir entre el proyecto A y B, expresados en la figura 26. El proyecto B tiene el mayor VME y otros factores similares al proyecto A, pero, ¿realmente debe elegirse sobre el proyecto A? La característica principal del proyecto A es que tiene poca tendencia a presentar pérdidas (el área izquierda del valor VPN = 0). La pregunta sería, si se quiere minimizar la pérdida de capital, ¿Debemos preferir al proyecto A sobre el B?

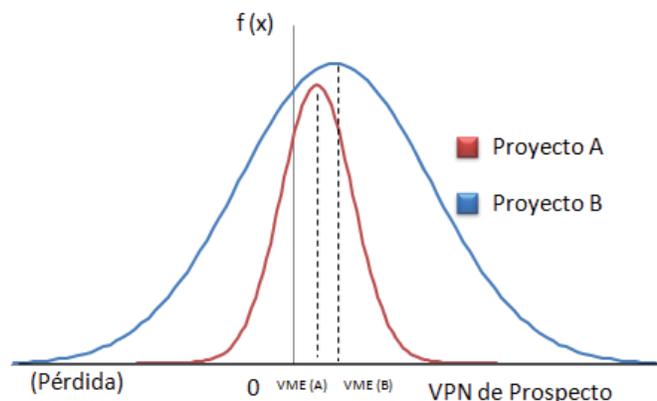


Figura 26 Distribución de Probabilidad de dos proyectos de inversión.

Con este tipo de situaciones, evaluar la posición de interés de cada proyecto no depende solo del VME. De hecho, se sugiere que el manejo de oportunidades tenga un objetivo dual en la toma de decisiones con incertidumbre implicada: el maximizar la ganancia esperada y al mismo tiempo minimizar la exposición a pérdidas.

Una manera de incorporar estos dos objetivos estratégicos es usando curvas de preferencia evaluados bajo parámetros que incluyan el riesgo en la evaluación.

Una aproximación a estos dos objetivos, es el estudio hecho por Hertz en 1968⁵. El parte de que la mayoría de los profesionales en la toma de decisiones desea evaluar sus opciones de inversión maximizando sus ingresos y minimizando la incertidumbre o el riesgo. En su trabajo define a la incertidumbre como la variabilidad o dispersión, de una distribución con respecto al valor de su media. El propone lo que se denomina eficiencia involucrando la relación de el VME y su dispersión con respecto a la media, denominándola variabilidad, definida como la desviación estándar dividida por la media (σ/μ). Donde el objetivo es seleccionar aquellos proyectos donde se maximice la ganancia esperada y minimizar la variabilidad con respecto a la media.

Lo anterior se puede entender mejor con un ejemplo aplicado a la industria. Partiendo de que “BI Oil Company” presenta una amplia cartera de proyectos con 25 prospectos donde la mayoría pertenece a escenarios en aguas profundas, se expresa en la siguiente tabla.

Tabla 9 Cartera de Proyectos de BI Oil Company.

Proyecto	VME [MM de dólares]	Factor de Riesgo	Inversión [MM de dólares]
1	2400	0.55	648
2	3250	0.15	877.5
3	5000	0.05	1350
4	4260	0.2	1150.2
5	3600	0.5	972
6	4900	0.55	1323
7	2950	0.25	796.5
8	1950	0.75	526.5
9	6000	0.15	1620
10	5500	0.35	1485
11	4100	0.3	1107
12	4550	0.1	1228.5
13	4800	0.65	1296
14	3525	0.7	951.75
15	2500	0.9	675
16	3975	0.4	1073.25
17	5900	0.25	1593
18	3100	0.8	837
19	2000	0.45	540
20	1575	0.95	425.25
21	2750	0.35	742.5

22	2500	0.65	675
23	1000	0.9	270
24	3425	0.6	924.75
25	1500	0.85	405

En donde el Factor de Riesgo es la variabilidad antes mencionada. La obtención se efectúa realizando un paseo de 5000 datos definiendo rangos de valores en una generación aleatoria de datos para cada proyecto. Después se obtienen los datos de desviación estándar y media de cada distribución, obteniendo así cada Factor de riesgo.

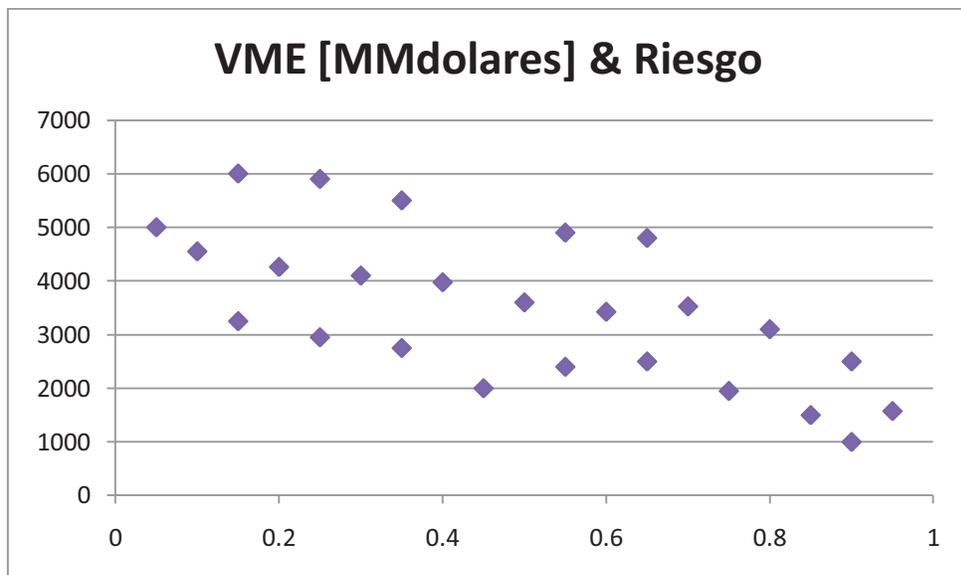


Figura 27 Gráfica de VME vs Riesgo de la Cartera de Proyectos.

Lo siguiente es realizar la estimación de mejores oportunidades partiendo de la premisa de:

Maximizar VME y Minimizar F.R. → Maximizar VME y Maximizar 1/F.R.

Maximizar $(VME) \cdot (1/F.R.)$ → Max $VME/F.R.$ Que sería nuestra función objetivo.

Factor de Riesgo	VME [MM de dólares]	Coefficientes de la Función Objetivo
0.55	2400	4363.64
0.15	3250	21666.67
0.05	5000	100000

0.2	4260	21300
0.5	3600	7200
0.55	4900	8909.09
0.25	2950	11800
0.75	1950	2600
0.15	6000	40000
0.35	5500	15714.29
0.3	4100	13666.67
0.1	4550	45500
0.65	4800	7384.62
0.7	3525	5035.71
0.9	2500	2777.78
0.4	3975	9937.5
0.25	5900	23600
0.8	3100	3875
0.45	2000	4444.44
0.95	1575	1657.89
0.35	2750	7857.14
0.65	2500	3846.15
0.9	1000	1111.11
0.6	3425	5708.33
0.85	1500	1764.71

En donde se propone el siguiente modelo para la obtención de Max. VME/F.R., en el software LINDO; maximizando nuestra función objetivo para diferentes presupuestos. Teniendo en cuenta que la programación lineal se puede utilizar cuando la descripción del problema y sus limitaciones son lineales, como en este ejemplo. La programación lineal entera proporciona soluciones optimizadas para una amplia gama de problemas de negocios. En donde en el caso en donde la descripción del problema o sus limitaciones no sean lineales, la opción de algoritmos genéticos presenta la capacidad de manejar estos problemas.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } 4363.64x_1 + 21666.67x_2 + 100000.00x_3 + 21300.00x_4 + 7200.00x_5 + 8909.09x_6 + 11800.00x_7 + 2600.00x_8 + \\
 & 40000.00x_9 + 15714.29x_{10} + 13666.67x_{11} + 45500.00x_{12} + 7384.62x_{13} + 5035.71x_{14} + 2777.78x_{15} + 9937.50x_{16} + \\
 & 23600.00x_{17} + 3875.00x_{18} + 4444.44x_{19} + 1657.89x_{20} + 7857.14x_{21} + 3846.15x_{22} + 1111.11x_{23} + 5708.33x_{24} + 1764.71x_{25} \\
 & \text{st} \\
 & 648x_1 + 877.5x_2 + 1350x_3 + 1150.2x_4 + 972x_5 + 1323x_6 + 796.5x_7 + 526.5x_8 + 1620x_9 + 1485x_{10} + 1107x_{11} +
 \end{aligned}$$

$$1228.5x_{12}+1296x_{13}+951.75x_{14}+675x_{15}+1073.25x_{16}+1593x_{17}+837x_{18}+540x_{19}+425.25x_{20}+742.5x_{21}+$$

$$675x_{22}+270x_{23}+924.75x_{24}+405x_{25} \leq 10000$$

end

int x1

int x2

...

...

...

int x25

Al correr el sistema LINDO, se obtienen como respuesta binaria 1, para las oportunidades óptimas, cuando presentan el valor máximo de VME minimizando el riesgo ajustándose a los diferentes presupuestos. Por ejemplo en la siguiente tabla se demuestra la optimización enfocada en los presupuestos existentes.

Tabla 10 Comparación de resultados de la Optimización.

Cartera Original	Escenarios [MMdólares]	
	Inversión Optimizada LINDO	Remanente (CO - IO LINDO)
6000	5872.5	127.5
12000	11950.2	49.8
18000	17606.7	393.3

Gráficamente tendríamos la siguiente respuesta para tres presupuestos, 6000, 12000 y 18000 MMdólares.

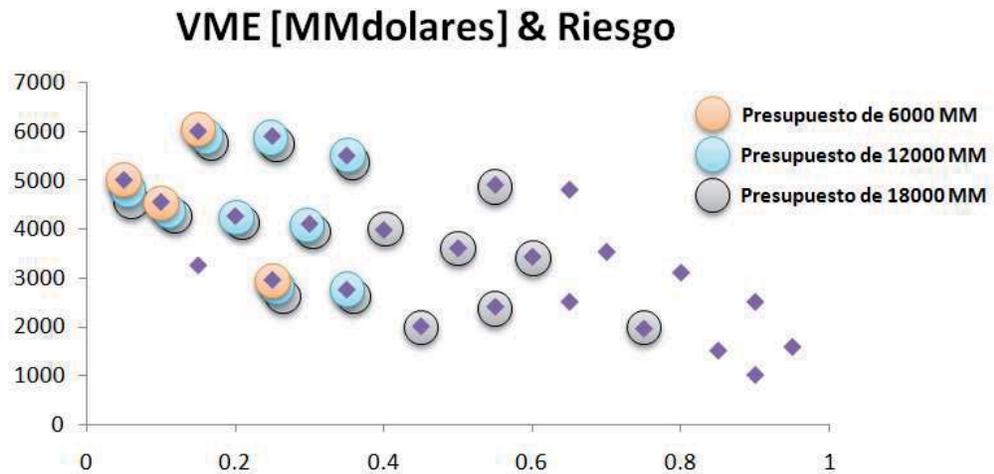


Figura 28 Resultados de la Optimización de la Cartera de proyectos de 3 presupuestos.

Y al realizar varias corridas para diferentes presupuestos podemos construir una gráfica de eficiencia de proyectos en función del VME y la inversión, ya que con nuestro proceso de programación lineal incluimos en nuestro análisis el factor de dispersión o Factor de Riesgo y tenemos la optimización de Maximizar el VME y minimizar el Riesgo con nuestra función objetivo, teniendo como resultado la siguiente gráfica, *Frontera de Eficiencia del Comportamiento del Portafolio de Proyectos con Riesgo Implícito*, figura 29.

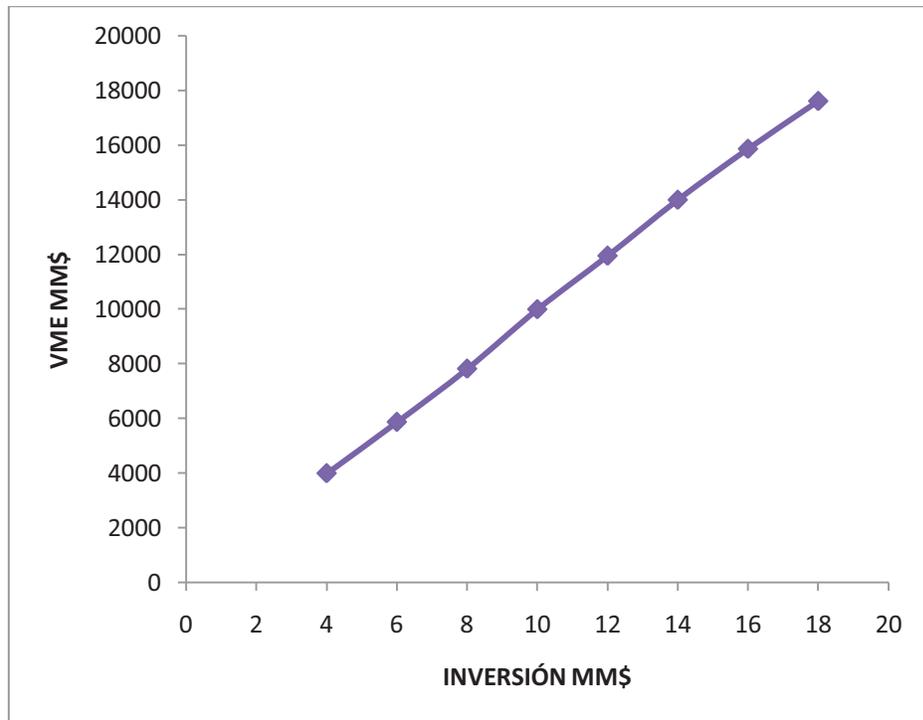


Figura 29 Frontera de Eficiencia del Comportamiento de un Portafolio de Proyectos con Riesgo Implícito.

3.3 Toma de Decisiones

La necesidad de los profesionales encargados de la toma de decisiones de realizar un mejor trabajo en la estimación y valoración del impacto de la incertidumbre y el riesgo en las decisiones sin importar el tamaño de las mismas, es una doctrina necesaria en la construcción y desarrollo en las inversiones y proyectos de cualquier industria que busca el éxito.

3.3.1 La Incertidumbre se Puede Manejar

Existe un interés creciente en la industria petrolera de búsqueda de opciones reales, en la precisión del valor real de las inversiones en escenarios con incertidumbre y el valor de la información en la definición proyectos. Entre los beneficios que se presentan en la doctrina de búsqueda de opciones reales son que puede:

-
- Estimar el valor del aprendizaje (en la adquisición de información y capacidad de análisis) en la reducción de la incertidumbre.
 - Estimar del valor de la implementación y desarrollo de tecnología a fin de reducir la incertidumbre.
 - Mayor precisión en la estimación del riesgo y las diferentes variables implicadas en el análisis económico.
 - Evaluar los riesgos en la relación entre las perspectivas de la inversión y las decisiones a tomar.

Sin embargo, en general la aplicación de este pensamiento, de esta doctrina aún tiene que ocurrir debido a la falta de familiaridad, en torno al robusto pensamiento del valor en lugar de la creación de valor.

Podemos distinguir entre las opciones reales que pensamos y las opciones reales que evaluamos. Las opciones reales que *pensamos* se centran en la evaluación del valor de la opción, al adquirir información para disminuir la incertidumbre y su flexibilidad para usarla a favor, o al menos, mitigarla al disminuir su impacto en la evaluación. En este sentido, se puede considerar como una extensión del análisis de decisión tradicional. Las opciones reales que *evaluamos* se refieren al cálculo en costo del riesgo en los flujos de caja, con la perspectiva de un inversionista externo, donde el riesgo se valora en un portafolio, con los índices del mercado identificando el impacto del riesgo en el proyecto.

Esta identificación de factores, son clave en la creación de un criterio de evaluación de proyectos o inversión, ya que en la industria de la exploración y producción de hidrocarburos, toda actividad o procedimiento es una inversión o un proyecto a evaluar, buscando maximizar su valor y crear un desarrollo eficaz para el crecimiento y rentabilidad de la empresa. A cualquier nivel de decisión, pequeñas o macro, se debe considerar el criterio y el valor de las opciones reales en la búsqueda de un mejor resultado y esto se traduce a un mejor desempeño, por lo tanto, rentabilidad.

En la última década se ha incrementado el interés en el estudio del manejo de la incertidumbre y el análisis de decisión en la industria de la exploración y producción⁸. Esto indica una realización que, como industria, obliga a mejorar las habilidades y prácticas de estos análisis debido al aumento en la complejidad e incertidumbre presente en los proyectos e inversiones.

Un importante colaborador de la complejidad en los procesos de decisión se debe al bajo rendimiento del pensamiento humano en el procesamiento de la información disponible, no somos racionales al cien por ciento. Los puntos de vista personales acerca de la incertidumbre y las preferencias pueden crear una limitación y el engaño, cuando existe un exceso de confianza en los juicios establecidos. Tener conciencia de las limitaciones en nuestro razonamiento, la búsqueda de información de valor y mejores prácticas de análisis, es crítico en el desarrollo de toma de decisión y análisis de riesgo donde involucra incertidumbre.

Aun hoy, después de décadas de investigación de aspectos psicológicos y de juicio en los procesos de toma de decisión, es común ver que las decisiones a cualquier nivel, están basadas preferentemente en la intuición, la experiencia repetitiva y su inteligencia adquirida a través del tiempo. Desafortunadamente, la intuición y repetición no son los mejores maestros⁸. Las investigaciones muestran que las personas menos competentes tienen menor probabilidad de comprender, siendo el exceso de confianza una profunda característica difícil de tratar. En otras palabras, aquellos que necesitan una mayor preparación para mejorar sus habilidades y aptitudes en los procesos de toma de decisión, son los que menos reconocen su necesidad. Como un conductor ebrio que conoce las limitaciones de su estado, y aun así piensa que lo va hacer bien.

Lo que se presenta no son situaciones nuevas, son parte de los estudios de profesionales y destacados investigadores sobre la conciencia y la exploración de la mente de los profesionales encargados de la toma de decisiones. Sin embargo, el principal objetivo es la búsqueda de elementos tangibles o duros en los procesos de toma de decisiones, como la cuantificación de la incertidumbre y el riesgo principalmente, por geocientíficos e ingenieros, dejando a un lado los elementos cualitativos como los aspectos de juicio y cognoscitivos⁸. La necesidad de ampliar la comprensión y apreciación de estos aspectos debe tomarse en cuenta en la educación de los profesionales que desempeñan estos procesos de toma de decisiones. La capacidad de adaptación y criterio en la comprensión de las opciones e información disponible en la toma de decisiones, parte de una familiaridad en la búsqueda de información y optimización de habilidades que se transforman a una mejor práctica en estos procesos, realizando una reducción implícita en la incertidumbre mejorando el desempeño en la evaluación de los proyectos o inversiones. Esto

finalmente se traduce a una mejora en la calidad de las decisiones, a la larga, un mejor desempeño de la industria.

3.3.2 Reunir Inteligencia (Información)

Como se escribe anteriormente, el reunir *inteligencia* no significa la acumulación de la capacidad de resolver problemas con un conocimiento adquirido, está asociada directamente a una fuente de información. Actualmente, los verdaderos retos en los procesos de toma de decisiones es la creación de inteligencia. En la industria de la exploración y producción de hidrocarburos, como también en general, los profesionales que desempeñan esta toma de decisiones, se enfrentan a cantidades abrumadoras de información. A su vez, con la mejora en las herramientas de manejo y recopilación de datos, en una era digital y disponibilidad en tiempo real, se presenta un incremento exponencial de información disponible. Al incremento de información con lleva incertidumbre, esto nos indica la importancia de sintetizar y precisar la búsqueda de opciones reales. El objetivo será la conversión de información en revelación.

El proceso de conversión, puede estar influenciado por un adecuado manejo de la información y desempeño, podemos presentar acciones claves en el manejo de la información¹⁰:

- **Realizar las preguntas adecuadas.** Sin perder el objetivo del análisis, los planteamientos a realizar deben seguir la misma línea, sin perder el sentido de lo que se busca alcanzar.
- **Reunir la información e interpretar los análisis correctamente.** La consideración e importancia en la realización de los análisis y sus procesos, deben desempeñarse con la mejor capacidad y cuidado, ya que representan juicios y opciones reales en la toma de decisiones.
- **Decide cuando dejar de buscar.** El considerar una cantidad suficiente de información es un vital sentido en este proceso, el conocimiento de las necesidades del proceso debe presentarse en todo momento, los costos asociados en la adquisición, no solo financieros, si no en tiempo, a la larga repercuten en la viabilidad de un proyecto o inversión.

Las limitaciones del pensamiento o la necesidad de mitigar la incertidumbre son características que se presentan en el proceso. La capacidad de los profesionales en la toma de decisiones siempre

estará a prueba, el constante cambio de la industria se traduce en una mejor preparación para enfrentar estos problemas.

La capacidad en el manejo de la incertidumbre, la estimación del riesgo y el manejo adecuado de la información, representa una constante actualización en los procesos de la industria. Sin embargo la importancia del conocimiento básico de los factores fundamentales de la evaluación de proyectos, radica en una educación profesional adecuada en las diferentes áreas de la industria, formando un criterio de evaluación. El incremento de las habilidades y aptitudes en la toma de decisiones se basa en una educación dirigida a la familiarización de criterios de evaluación en cada área de estudio, como hemos citado, la mayoría de las actividades y procesos de la industria petrolera, son inversiones y proyectos que a la larga forman parte de un mayor recurso, la capacidad de decisión y análisis es y será una característica fundamental en los profesionales que formen parte de ella, asegurando un crecimiento general de la industria.

3.3.3 Teoría de las Opciones

Un aspecto importante en la toma de decisiones es el tiempo, es decir, determinar “cuando” tomar la decisión. Las condiciones y la información pueden cambiar con el transcurso del tiempo, por tanto, si las decisiones se toman a destiempo, el resultado se verá alterado.

Los árboles de decisión ilustran opciones disponibles, las incertidumbres que enfrenta el responsable de tomar la decisión y los resultados estimados de cada decisión posible. Estos árboles permiten poner en claro las opciones, los riesgos, los objetivos, las ganancias monetarias y las necesidades de información implícitas en las decisiones referidas a inversiones. Al estimar un valor para cada resultado posible y establecer una probabilidad de que ocurra cada uno de estos resultados, se puede calcular el valor global esperado resultante de la decisión. Los árboles de decisión permiten escoger sobre la base del resultado financiero de las distintas opciones. La teoría de las opciones, más conocida como teoría de las opciones reales, asigna un valor a la opción por sí misma. Esta teoría se basa en la idea de que en la mayoría de los proyectos, la cuestión no es tomar decisiones entre “todo o nada”, sino que se trata de una secuencia de opciones, mucha de las

cuales implican elegir entre múltiples opciones, como invertir dinero ahora en un proyecto de desarrollo o postergar tal decisión hasta que se disponga de mayor información.

El método tradicional utilizado para la evaluación de inversiones en proyectos de la industria petrolera, es el análisis de flujo de caja, descrito anteriormente. La teoría de las opciones es más sofisticada, ya que capta la flexibilidad inherente a la mayoría de los proyectos y en la vida diaria ya que consiste en un esquema mental. Como herramienta, ayuda a tomar decisiones, como esquema mental, lleva a las personas a pensar en los proyectos de una forma mucho más dinámica, buscando constantemente nuevas alternativas y mejores formas de llevar a cabo los proyectos.

La teoría de las opciones reales traza un paralelo entre el mundo financiero y el mundo de los activos reales, representados por cualquier bien como los activos petroleros. En el mundo financiero es posible comprar una opción, que representa el derecho (pero no la obligación) a comprar o vender un activo financiero, como una acción en un momento específico en el futuro a un precio fijo. Las opciones reales son análogas a las opciones financieras. Por ejemplo, si una compañía petrolera decide no desarrollar un campo en este momento, puede hacerlo en el futuro pagando una licencia determinada, la compañía adquiere una opción real, haciendo una inversión mayor para desarrollar el campo, sin tener la obligación de hacerlo; esto es similar al precio de ejecución del derecho de compra.

Lo anterior brinda la flexibilidad que otorga al proyecto un valor que no se puede reflejar en un análisis de FC estadístico; debido a que los proyectos en la industria petrolera comprenden una secuencia de etapas separadas: estudios sísmicos, perforación, construcción de la plataforma de producción, tendido de tuberías de conducción, producción y venta, así como abandono. Existen muchos puntos de decisión a lo largo de todo el proyecto citado. Pueden presentarse diversas opciones entre las cuales escoger y oportunidades para capitalizar es flexibilidad.

En 1973, los economistas Fischer Black y Myron Scholes publicaron la denominada fórmula Black-Scholes para la evaluación de opciones financieras. Algunos teóricos argumentan que las adaptaciones de la formula y otras fórmulas más sofisticadas, se puede utilizar para valorar opciones reales, es decir para llevar a cabo evaluaciones que, al contrario de FC, asignan

importancia a la flexibilidad. Utilizando una fórmula de valoración, en algunos casos se puede demostrar que un proyecto tiene un valor significativamente mayor del que muestra el análisis FC. Cálculos como este, pueden ejercer gran influencia sobre la manera en que los estrategas corporativos consideran sus activos.

Estudios recientes han consolidado la importancia de realizar una evaluación correcta de sus activos empleando análisis compuestos y más sofisticados; creando nuevos modelos financieros, el valor de las opciones, reconociendo las incertidumbres, y además tomar en cuenta la flexibilidad de la situación. La creciente aparición de nuevas tecnologías de perforación y producción que permiten incrementar la recuperación de hidrocarburos, mismos que pueden disminuir los costos e incertidumbre, permiten a las empresas realizar evaluaciones amplias en el desarrollo de opciones de inversión reflejando su valor.

3.3.4 Ajuste del Problema

Las técnicas de simulación de Montecarlo y la teoría de las opciones, permiten realizar una evaluación más precisa y tomar mejores decisiones, pero resultan inútiles si sus bases no se han preparado convenientemente. Si los responsables de tomar las decisiones pasan por alto algún detalle o elemento importante en un contrato, o no comprenden algún punto, toda la superestructura del análisis sofisticado puede estar construida sobre cimientos defectuosos.¹

En las principales compañías petroleras, el primer paso fundamental para tomar una decisión efectiva es el “Ajuste” del problema, lo cual implica designar un equipo de personas especialistas en las disciplinas necesarias, para encarar el problema, para luego obtener de estas personas toda la información básica, como por ejemplo:

- Que es lo que se sabe: hechos y valores
- Que es lo que no se conoce: riesgos e incertidumbre
- Problemas o aspectos difíciles
- Que decisiones ya han sido tomadas: política de la compañía

Este Ajuste, le permite al equipo de trabajo concentrarse en los elementos fundamentales que conforman las decisiones que se deben tomar y en las variables que ejercen una mayor influencia.

Las sesiones de Ajuste se llevan a cabo en un ambiente de total informalidad. El trabajo del equipo consiste en organizar en forma lógica, todo el flujo aleatorio de información capturado como notas durante las fases más rigurosas.

Para estimar las tareas, el coordinador del Ajuste recurre a una variedad de técnicas. Surgen así distintas jerarquías de decisiones, líneas de tiempo de riesgos y decisiones, y tablas de estrategias. El resultado final de la sesión de Ajuste es un diagrama de influencia, que servirá como base para cualquier modelo económico o técnico, que se utilice para examinar un problema en el futuro.

El proceso de Ajuste, constituye un modelo de toma de decisión en sí mismo: se comienza por pensar con la mayor libertad posible, se filtra la información, se consideran las distintas opciones y se toma la decisión. El Ajuste apunta a los dos primeros elementos y en algunos casos puede llevar a la decisión final sin necesidad de realizar otros análisis complementarios.

En las sesiones de entrenamiento sobre este método, se establece un lenguaje común que los empleados utilizan cuando hablan acerca del riesgo, con lo cual se evitan los malentendidos que podrían surgir.

3.3.5 Teoría de las Preferencias

Aunque se utilicen computadoras o herramientas de decisión, como el FC o el análisis de Montecarlo, en última instancia, la decisión la debe tomar un individuo o un grupo de personas. La subjetividad complica el proceso de toma de decisiones, dado que el perfil psicológico del individuo puede incidir sobre las mismas. En la industria petrolera, el riesgo constituye una parte importante en la línea de razonamiento de los ejecutivos, por lo cual es fundamental comprender las preferencias del individuo o del grupo y sus actitudes con respecto al riesgo y la aceptación de los mismos.

En 1738, el matemático Daniel Bernoulli publicó un trabajo en el cual destacaba que existía una extensa aversión al riesgo. Casi 250 años más tarde, Daniel Kahneman y Amos Tversky presentaron un ejemplo simple para ilustrar esta característica de aversión al riesgo. Una persona tiene la posibilidad de elegir entre dos opciones: la primera representa una ganancia de \$80, mientras que

la segunda es un proyecto más riesgoso en el cual existe un 85% de probabilidad de ganar \$100 y un 15% de no ganar nada. Según estos dos autores, la gente prefiere la ganancia segura antes de correr el riesgo, a pesar de que éste supone una mayor “expectativa monetaria” que es la suma de los resultados ponderados por sus probabilidades. Con el resultado seguro se tiene la certeza de ganar \$80, mientras que con la opción más riesgosa, la expectativa monetaria es de \$85.

El matemático John Von Neuman y el economista Oskar Morgenstern, ampliaron la teoría de las preferencias con varios axiomas que se pueden resumir en el siguiente postulado: Los responsables de tomar decisiones tienen aversión al riesgo y les disgusta más sufrir una pérdida, de lo que disfrutan obteniendo una ganancia del mismo valor. En consecuencia, tienden a aceptar un mayor nivel de riesgo para evitar una pérdida, en lugar de lograr una ganancia equivalente.

Este instrumento podría ser utilizado por los responsables de tomar decisiones, como elemento de ayuda para acercarse a la línea de pensamiento de los directivos o de la compañía en general. En la práctica, pocas compañías usan la teoría de las preferencias como herramienta para tomar decisiones. Los críticos sostienen que los problemas prácticos son demasiado grandes. Dentro de la misma organización, un gerente puede estar a favor de los proyectos riesgosos, mientras que otro ocupa una posición similar, puede tener un perfil más conservador. Es posible que la teoría de las preferencias tenga una función más limitada, pero no menos importante, ya que les permite demostrar en forma gráfica a los responsables de tomar decisiones, lo que implica su estilo personal.

3.3.6 El Valor de Evaluar el Riesgo

¿Es posible cuantificar el valor agregado que resulta del uso de estas herramientas? Con el objetivo de responder esta interrogante se realizó un estudio en la Universidad de Aberdeen⁶, que clasificaba a las compañías participantes de acuerdo con el nivel de sofisticación del método utilizado para tomar decisiones. Los niveles incluían las herramientas de evaluación del riesgo clásicas y otras como definiciones de análisis, enfoque holístico, riesgo e incertidumbre y la combinación de técnicas cualitativas y cuantitativas.

El término “análisis” se refiere al uso de alguna forma de análisis de costos y beneficios en la evaluación de las inversiones; “Holístico” indica si una compañía adopta o no un enfoque holístico, con respecto al efecto neto total acumulado de las consecuencias de una decisión. “Riesgo e Incertidumbre” indica si la compañía adopta definiciones rigurosas de riesgo e incertidumbre y los incorporan en el análisis. Riesgo, en este caso, se define como la probabilidad de que un hecho ocurra. Incertidumbre es el rango de valores posibles en cuanto al tamaño, costo y beneficios de un hecho, si ese hecho ocurre. La categoría “cualitativa y cuantitativa” indica si las compañías tienen técnicas formales para manejar los elementos cualitativos y cuantitativos tales como los hábitos, instintos e intuición.

Estos criterios fueron organizados en orden ascendente de acuerdo con su grado de sofisticación. Los investigadores también clasificaron a las compañías de acuerdo con diversas medidas de funcionamiento de sus negocios. Se tuvieron en cuenta cinco indicadores de éxito. En primer lugar, la capitalización de mercado indicaba la visión por parte de la comunidad de inversionistas, del valor futuro de la capacidad de la compañía para tomar decisiones correctas con respecto a sus inversiones. En segundo lugar, el número de empleados ofrecía una cierta indicación del éxito obtenido en el pasado y un anticipo del éxito futuro, con respecto a la selección y el aprovechamiento de las mejores oportunidades de inversión. En tercer término, el volumen de reservas asignadas fue utilizado como indicador del tamaño y del éxito obtenido en el pasado en las decisiones relativas a las inversiones. Cuarto, el retorno sobre el capital invertido, como prueba de decisiones exitosas en el pasado. Quinto, la estimación de Wood Mackenzie del valor total de base de las compañías utilizada en Inglaterra (valor de las reservas comerciales + valor de las reservas técnicas + valor de exploración), fue utilizado como indicador de inversiones exitosas realizadas en el pasado.

Con base en lo anterior se observó una importante correlación positiva entre las posiciones de las compañías sobre la escala de toma de decisiones y sus posiciones con respecto al valor total de base, la capitalización de mercado y las reservas comprobadas. El volumen de reservas registradas y, en particular, el valor total de base, reflejan los efectos de las decisiones más recientes. La fuerte correlación entre el valor total de base de Wood Mackenzie, y la lista de clasificación por el nivel de

sofisticación, demostró claramente que existe una relación entre la sofisticación de las herramientas utilizadas y el éxito alcanzado en los negocios. Además de estas correlaciones, los investigadores descubrieron que si bien el análisis de Montecarlo se utiliza ampliamente para estimar las reservas potenciales, lo cual constituye un claro reconocimiento de la importancia de la incertidumbre a este nivel técnico, se emplea muy poco para los temas económicos. Los investigadores sugieren que esto implica, en los casos de aquellos que no los usan, la suposición de que existe una total certeza en materia de costos, precio del producto, términos fiscales y parámetros temporales, lo cual no es necesariamente cierto. Las grandes compañías son las que utilizan la teoría de la cartera de inversiones, debido a su capacidad para construir una cartera de inversiones.

Con lo anterior, se plantea en la siguiente tabla un análisis de las herramientas utilizadas por las compañías para estimar y evaluar el riesgo en sus diferentes actividades.

Tabla 11 Criterios de evaluación de las compañías analizadas

Criterios	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
Análisis Numérico	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
Flujo de Caja	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
Visión Holística	Rojo	Verde	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
Montecarlo	Rojo	Rojo	Verde	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Verde	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Verde	Rojo	Rojo
Riesgo/Incertidumbre	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Verde	Rojo	Rojo	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Verde	Rojo	Rojo	Rojo
Teoría de la cartera de Inv.	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde	Rojo	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Rojo	Verde
Teoría de las opciones	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Verde	Rojo	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Preferencias	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Verde	Verde	Rojo	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde
Cualitativo/Cuantitativo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Verde

Las compañías que recibieron mayor puntaje (rojo), son aquellas que implementaban completamente los criterios que aparecen en orden ascendente de sofisticación en la columna izquierda. Si estos criterios estaban parcialmente implementados, se indican en color verde, y el cuadro sin color indica una nula aplicación del criterio.

Se concluyó también que la utilización de métodos probabilísticos en los procesos de toma de decisiones constituye un aporte importante en aras del rendimiento de la compañía. Cada vez más, la industria de Exploración y producción reconoce la necesidad de expresar las estimaciones empleadas en los procesos anteriores en rangos probabilísticos, en lugar de manejar sólo valores tomados al azar, pero aun existe una fuerte evidencia de la influencia de prejuicios y predisposición en las estimaciones de los proyectos como los que se listan a continuación:

- Los rangos de predicción de los parámetros clave son demasiado estrechos, ya que se subestiman las incertidumbres.
- Los campos descubiertos, por lo general contienen sólo alrededor del 40% de los volúmenes de petróleo y de gas previstos antes de comenzar las perforaciones exploratorias.
- Los proyectos de alto riesgo fracasan unas cuatro veces más de lo previsto porque se subestima el riesgo.
- Los costos reales de los pozos, a menudo exceden los costos previstos entre un 20% y un 100%.
- Las proyecciones económicas y los patrones utilizados para medir y clasificar las operaciones, a menudo no están calibrados y pocas veces se comparan con los resultados reales.

Otro aspecto de los problemas es la predisposición personal, es decir, el estilo preferido para tomar decisiones. Es comprensible que un ejecutivo que haya progresado gracias a su estilo intuitivo y subjetivo, pueda mostrarse reacio a confiar en un estilo de manejo de las inversiones más sistemático y basado en el análisis probabilístico.

En conclusión las herramientas de análisis de riesgo estudiadas, cuentan con un enorme potencial para mejorar el rendimiento de la exploración y la producción, pero para poder desarrollar este inmenso potencial en su totalidad, se debe mejorar también el factor humano.

3.3.7 Incertidumbre: Conceptos y Fuentes

El “Webster’s Unabridged New Universal Dictionary” define “incertidumbre” como “el estado o calidad de no estar seguro, estar falto de conocimiento o con duda”.

En este trabajo se definirá la incertidumbre como un atributo de todo cuanto rodea al hombre y del hombre mismo; mientras que el nivel de incertidumbre se interpretará como una medida de la inseguridad o grado de desconocimiento acerca del valor que puede tomar una variable, proceso o fenómeno bajo estudio (Riesgo). Cuando se estudia un proceso específico, el nivel de conocimiento sobre el mismo puede variar desde el extremo de no saber absolutamente nada acerca de él (ignorancia total), hasta el extremo de llegar a entender y modelar completamente su comportamiento (certidumbre total). Ambos extremos son poco probables en la realidad, ya que a pesar de no disponer de ningún modelo que caracterice la variable, fenómeno o proceso bajo estudio, siempre se dispone de un mínimo de información que nos separa de la ignorancia total. Aún cuando se considere, en nuestra limitada visión cognoscitiva, que se tiene bien caracterizado un proceso, existen ciertamente eventos fortuitos o efectos de variables secundarias o exógenas débilmente caracterizados que ponen en tela de juicio nuestro nivel de certidumbre.

Bajo este contexto, el escenario más común es el de la incertidumbre, es decir, disponer de un nivel de conocimiento que es mayor que la ignorancia total, pero que no alcanza el estado de certidumbre total. El grado de separación entre el nivel de conocimiento del proceso que se tenga, y el estado de certidumbre total se define como el nivel de incertidumbre, Figura 30. Este nivel de incertidumbre, es tratado de diferentes maneras, dependiendo de la actividad profesional particular y frecuentemente se mimetiza bajo el término de factor de seguridad, o bajo el término de contingencia, o cualquier otro término similar (colchón, factor de riesgo, etc.). En todo caso, el nivel de incertidumbre se suele reflejar en las formas de:

- Sobre o sub-dimensionamiento
- Sobre o sub-mantenimiento
- Presupuestos sobre o sub-estimados
- Fallas o paros no planificados

- Estimaciones erradas y desaciertos



Figura 30 Nivel de incertidumbre

Ahora bien, en este punto, surgen las interrogantes ¿De dónde proviene la Incertidumbre?, ¿Cuáles son sus fuentes?

Resultaría una respuesta lógica pensar que la incertidumbre proviene del nivel de conocimiento que se tenga en las variables, proceso o fenómeno. Sin embargo, en la mayoría de los casos existe otra fuente de incertidumbre que está ligada a la naturaleza heterogénea o aleatoria inherente al proceso considerado, Figura 31.

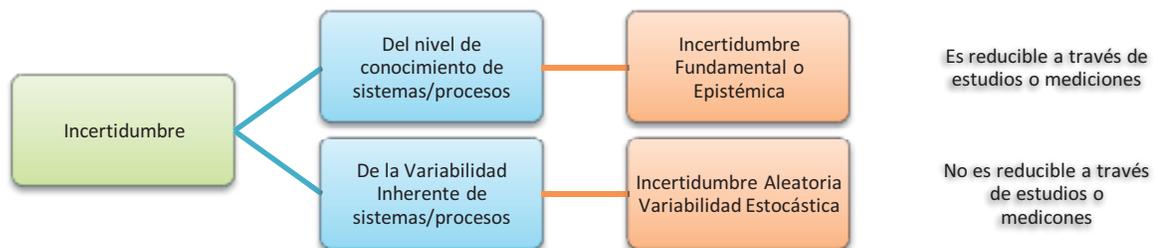


Figura 31 Tipos de Incertidumbre.⁸ (modificado)

Para entender ambas fuentes de incertidumbre, se analizará una situación cotidiana que muchos han experimentado, como lo es el padecer una “fiebre” a consecuencia de una infección o de un proceso viral.

Ante el malestar y la sensación de incremento de la temperatura corporal, la reacción primaria es “tratar de saber” el valor de temperatura del cuerpo del paciente para compararlo con los valores referenciales que “califican” la intensidad de la fiebre, y en consecuencia permiten inferir posibles causas y soluciones. Por ejemplo, entre 36.5° y 37.5°C , se considera temperatura normal; entre 37.5° y 38.5° se considera fiebre baja o quebranto, y por encima de 38.5°C se considera fiebre alta, y se sospecha de infecciones o cualquier otro cuadro clínico que requiere mayor atención.

Tradicionalmente, se sugiere tocar al paciente para ver si está caliente. Si al tocarlo se confirma que su temperatura es elevada entonces se suscita la incertidumbre de “qué tan caliente está el paciente”. Para mejorar nuestro conocimiento de la temperatura corporal, se suele medir esta, usando para ello algún tipo de “termómetro”. De esta forma, el nivel de conocimiento mejora, pero aun así ésta variable depende de muchos otros factores como la “precisión” del instrumento de medida; es decir, depende de la calidad del termómetro. Si al tomar la medida, se lee 38.4°C , y la precisión del instrumento es de 0.1°C ; el valor real de la temperatura corporal podría variar desde 38.3°C hasta 38.5°C ($38.4^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$). Es decir, a pesar de la medición, no se puede estar seguro de su valor real, y en consecuencia no puede representarse esta variable fidedignamente con un “único” valor.

Podría disminuirse esta incertidumbre, es decir, mejora el nivel de conocimiento sobre la temperatura corporal, usando otro termómetro más preciso ($\pm 0.05^{\circ}\text{C}$); pero siempre se tendría algún nivel de incertidumbre al final. Posiblemente en este caso, el nivel de incertidumbre es poco importante; pero esto se hace más importante en la medida en que la fiebre es más alta.

Adicionalmente, existe otra fuente de incertidumbre, que es independiente de la precisión del termómetro, y es la heterogeneidad o anisotropía de la variable “Temperatura corporal”. Si se mide en la boca, exactamente debajo de la lengua, se puede obtener un valor ligeramente diferente a si se mide en la axila, en el ano o en el oído. La razón de esta segunda fuente de variabilidad es que la

temperatura no se distribuye de la misma manera sobre todo el cuerpo, y por ende no tiene un valor único. En este sentido, lo más razonable es manejar un “rango” de probables valores de temperatura corporal.

Otro ejemplo, relacionado con el área petrolera, es el siguiente: se pregunta a un petrofísico el valor de la porosidad del yacimiento R2M. En este caso a pesar del grado de conocimiento de dicho profesional acerca del valor de este parámetro en el yacimiento considerado, lo más probable es que no pueda suministrar un único valor de porosidad que represente fidedignamente esta propiedad a lo largo y ancho del yacimiento R2M. Ello se debe principalmente a que el yacimiento R2M es un sistema inherentemente heterogéneo, cuya composición y por ende sus propiedades físicas varían de un lugar a otro, y en consecuencia no existe un único valor que represente la porosidad en el yacimiento.

Este último tipo de incertidumbre, (no considerado como incertidumbre por muchos especialistas en el área) se conoce como incertidumbre aleatoria o variabilidad estocástica; mientras que la incertidumbre asociada al nivel de conocimiento se denomina incertidumbre epistémica o fundamental (Figura 30). Lo importante de la clasificación anterior es el hecho de que la incertidumbre epistémica puede reducirse a través de la adquisición de mayor conocimiento o mediante la toma de información (muestreo, adquisición de datos, información nueva, adiestramiento de personal, adquisición de nuevas y mejores tecnologías de medición, encuestas, etc.); mientras que la incertidumbre aleatoria es inherente al proceso, y como tal no puede reducirse a no ser que se cambie el mismo proceso.

Cabe destacar que muchos analistas y especialistas en esta área sostienen la tesis de que no existe la incertidumbre aleatoria y todo se traduce a un nivel de desconocimiento. Este postulado asume en consecuencia que al menos teóricamente y en un contexto utópico siempre es posible reducir la incertidumbre incrementando el nivel de conocimiento.

Ajenos a discutir un asunto que trasciende el sentido práctico de este trabajo y se ubica en un plano filosófico, solo se ha querido establecer un marco de referencia que facilite el objetivo pedagógico que se persigue.

La Figura 31 muestra los diferentes factores que contribuyen a la Incertidumbre:

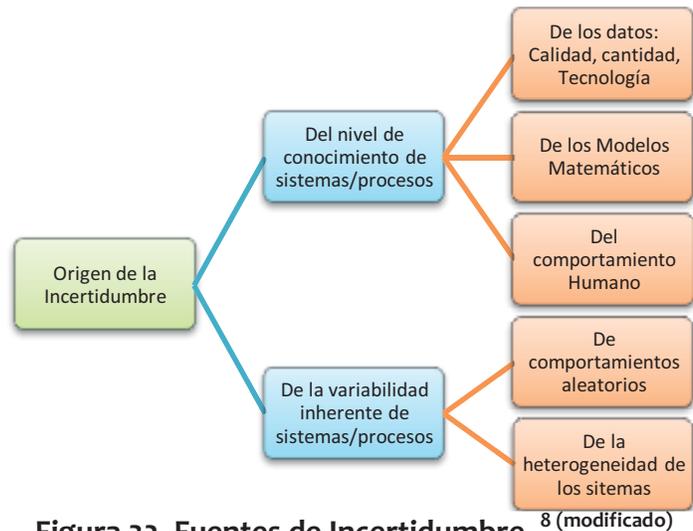


Figura 32. Fuentes de Incertidumbre. ^{8 (modificado)}

Como se observa, existen muchas fuentes de incertidumbre, algunas de ellas incrementan el nivel de desconocimiento del proceso, como es el caso de la carencia de datos adecuados (en cantidad y calidad), y otras de ellas arraigadas a la propia naturaleza del proceso como es el caso de los sistemas inherentemente heterogéneos y procesos determinísticos.

En muchas aplicaciones, se dispone de información altamente representativa del sistema o proceso bajo estudio, pero no en cantidad suficiente. Por otra parte, no debe olvidarse que la mayoría de los modelos que se utilizan para explicar ciertos procesos y comportamiento de sistemas físicos, no son más que modelos matemáticos aproximados que sólo son válidos bajo ciertas condiciones pre-establecidas, muchas veces ignoradas.

Adicionalmente, en cualquier proceso o sistema que se analice la participación del ser humano está siempre presente, y con él, su alícuota de impredecible, que dificulta en algunos casos el modelaje de la dinámica del sistema bajo fundamentos objetivos que garanticen comportamientos consistentes. Aunado a lo anterior, se encuentran los procesos inherentemente heterogéneos, donde la variabilidad de cada una de sus propiedades o atributos se hace presente, y aquellos que hasta el momento se definen como procesos de naturaleza aleatoria, donde las relaciones determinísticas carecen de sentido.

La capacidad de los profesionales en la toma de decisiones de sobre llevar la incertidumbre radica en la reunión de inteligencia. A menudo pensamos que una mayor cantidad de información al menos disminuirá, si no elimina, la incómoda incertidumbre, el intento parece lógico, y en parte lo es. La mayoría de las personas involucradas en esta situación está acostumbrada a manejar la incertidumbre de ese modo. Han aprendido a trabajar con base en cifras simples de los parámetros importantes en la industria como reservas, producción, precio del barril, etc. Cuando la probabilidad y estadística toma impulso en la industria de extracción de hidrocarburos, se percibe como medios y herramientas en la reducción, o mejor aún, eliminación de la incertidumbre. A niveles de administración corporativa se ha aprendido que sintetizar el comportamiento pasado y la evaluación de futuros prospectos, a un conjunto de cifras es primordial en el desarrollo en la evaluación del comportamiento de la empresa. Una vaga proyección envuelta en dudas que es parte de un análisis de decisión pobre, al enfrentar la incertidumbre, se invierte en la adquisición de hechos y verdades, creyendo (con cierta justificación) que el incremento en la información nos permitirá determinar cuál de las distintas opciones tendrá éxito. Se demanda una mejor adquisición de datos, con mayor precisión, ignorando la incertidumbre que esto podría presentar.

Desafortunadamente, en un mundo caracterizado por cambios rápidos e incremento en las complejidades técnicas y socio-políticas, la precisión numérica no siempre presenta una total certidumbre, por lo contrario, puede ofrecer un falso sentido de la misma. Incluso si la certidumbre total existiera (que en la industria del petróleo no existe), el costo para obtenerla es inaceptablemente alto. Por lo tanto, ¿Qué se debe hacer en la toma de decisiones bajo incertidumbre?

Se debe tratar de reducir la incertidumbre lo más que se pueda, esto dará un estado en la situación de evaluación, y así podrá ser manejada. El manejo de la incertidumbre no significa la aceptación de proyecciones vagas, acciones sin fundamentos, o el abandono del proyecto. Se parte de, re definir la estrategia. En la incertidumbre de la industria de exploración y producción de hidrocarburos, la estrategia no se encuentra en predicciones puntuales en la evaluación, si no en la estimación precisa de la incertidumbre y su impacto. Es decir, no se trata de elegir una predicción correcta

futura, si no un proceso que nos permita anticiparnos a diferentes futuros y situaciones que aseguren una opción real de éxito.

Murphy en una de sus leyes menciona acertadamente: Si algo puede ir mal, lo hará. Los profesionales en la toma de decisiones deben incorporar este adagio al desarrollo de los procesos de evaluación de proyectos. Los retos de estos profesionales no radican en eliminar las sorpresas, si no anticiparse y estar preparados para ellas. Para lograr este objetivo se necesita un pleno conocimiento de la incertidumbre: descubrirla, reconocerla, entenderla y tratar con ella de un modo imparcial. La mayoría de los expertos trata de incorporar información con el fin de establecer una mayor probabilidad de éxito en el proyecto, evaluando al mismo tiempo el riesgo de pérdida. Otros invierten tiempo en la identificación sistemática de los factores que pueden ocasionar un fracaso o la estimación de la probabilidad de que estos eventos ocurran. Solo unos pocos consideran las diferentes formas de capitalizar la incertidumbre, convirtiéndola en una ventaja competitiva.

La elección de los recursos necesarios para la solución o mitigación de la incertidumbre en un proceso, dependerá del tipo de incertidumbre a enfrentar. Se debe elegir las herramientas con la mayor simplicidad sin subestimar la complejidad de la decisión. En la figura 33, se presenta un estudio realizado por expertos de la compañía McKinsey & Co, presentando un espectro de posibilidades caracterizando 3 niveles de incertidumbre.

En el nivel 1, en la parte baja de la izquierda, presenta un futuro relativamente claro. Existe un grado de incertidumbre, mismo que puede resolverse con investigación, estudios o la adquisición de información. Esto se denomina, decisiones en condiciones de incertidumbre.

El nivel 2 representa un significativo grado de incertidumbre en donde no es posible asegurar un solo resultado. Sin embargo, es este caso la conciencia y entendimiento de esta incertidumbre nos brinda la posibilidad de entender el comportamiento de las distribuciones probabilísticas que tienen influencia en los resultados y su interacción. La mayoría de los parámetros fundamentales del yacimiento como porosidad, permeabilidad, las características termodinámicas de los hidrocarburos contenidos y las reservas pertenecen a esta naturaleza de interacción. Cuando se

enfrenta esta situación, se deben utilizar herramientas de prospección retrospectiva, es decir, eventos similares con procedimientos con éxito, utilizar la experiencia como parte de la evaluación de la situación. Además, si se presenta una serie definida de variables, pueden utilizarse herramientas más sofisticadas, como sistemas de planeación de escenarios o teoría de las opciones, etc.

Finalmente, el nivel 3 de incertidumbre presentando un ambiente totalmente ambiguo. En este caso no existe un manejo de los resultados probables ni adquisición de información, no puede obtenerse una aproximación a los resultados. Un ejemplo de este caso se presenta en la toma de decisiones con base en situaciones socio-políticas, eventos económicos o situaciones naturales. Se cree que estas situaciones, donde los resultados dependen no solamente de principios físicos, si no de acciones humanas o fuera de nuestro dominio, no existen reglas para determinar un posible resultado, de otra manera siempre estará presente la incertidumbre.

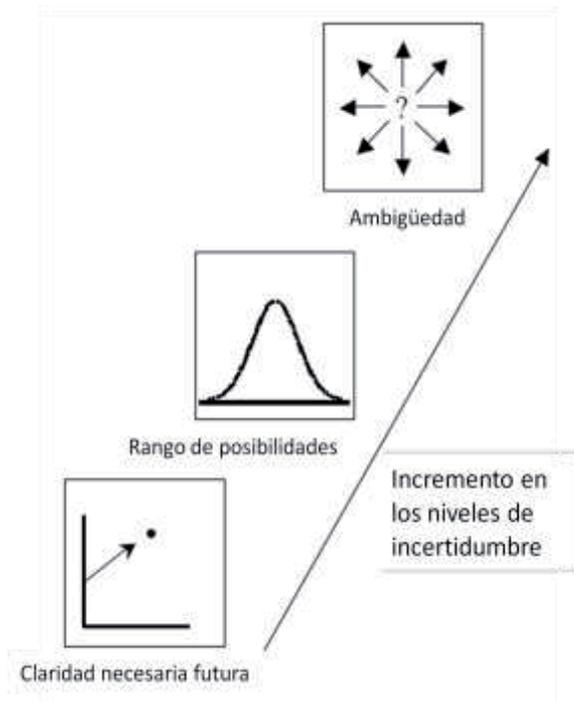


Figura 33 Niveles de Incertidumbre

Un error garrafal en la incertidumbre del nivel 3, es forzar la situación para adaptar a un nivel 2 teniendo la convicción sin justificación de que se puede apegar a distribuciones probabilísticas, el comportamiento de las variables involucradas en la obtención de resultados.

Con un crecimiento acelerado de tecnologías de información y manipulación de datos, se puede ir dirigiendo nuevas herramientas en la búsqueda de resultados posibles, apegados a una experiencia real. Con el uso efectivo de estas herramientas, encontraremos que la incertidumbre ya no es el enemigo, si no una ventaja competitiva. De hecho, debemos aprender a entender a este nuevo amigo.

Nunca se debe considerar a la incertidumbre en un plano menor a lo que realmente representa y solo reducirla en lo posible, al punto de que tenga sentido en una decisión dada, entonces se podrá manejar.

Las compañías de extracción de hidrocarburos se enfrentan al incremento en la complejidad e incertidumbre en el mundo donde operan, siendo este además una cambiante situación con respecto a la tecnología empleada. La historia de la industria permite identificar un bajo rendimiento consistente⁹, identificando una sobre estimación sistemática en los rendimientos proyectados, además de la subestimación del riesgo de pérdida, indicando claramente la necesidad de un enfoque más realista para la toma de decisiones y la estimación de la incertidumbre. Con el fin de mejorar los procesos de toma de decisiones, necesitamos desarrollar una total comprensión del manejo de la incertidumbre con el fin de establecer un criterio y enfoque, en la estimación y reducción de la misma, e implícitamente, identificar y reducir los sesgos en la toma de decisiones. A lo largo del desarrollo de el análisis de decisión moderno, con mejores procesos y un mejor apego realista, se presentan significativas ventajas para las compañías involucradas en esta doctrina⁹, se presentan mejores rendimientos y una rentabilidad general, además una mejor capacidad de proceso de información que se traduce en mejores decisiones y por lo tanto un crecimiento de las mismas.

Un conocimiento y preparación, para el manejo de la incertidumbre y la toma de decisiones, presenta recursos de valor a la industria tales como:

-
- Un enfoque realista en los proyectos y rendimientos
 - Un mejor conocimiento en los riesgos y como mitigarlos
 - Una mejor distribución y optimización de capital
 - Una mejor elección de opciones reales
 - Un mejor desempeño operativo y financiero

La implementación del conocimiento del manejo de la incertidumbre, el análisis de decisión y riesgo, a su vez, un mejor criterio de identificación de opciones reales y manejo de información, es una seria ventaja competitiva de las empresas, que emplean profesionales con este enfoque. Como se presento anteriormente, la importancia en la educación y desarrollo de los profesionales de la industria petrolera para el manejo de estos factores, forma parte de una ventaja competitiva de desarrollo profesional de los egresados, los presenta con un mejor valor para la industria y una capacidad necesaria para la misma. La importancia de incrementar la calidad en la educación para el manejo de la incertidumbre en la toma de decisiones, es la dirección futura del ámbito laboral de la industria petrolera. Un profesional con la capacidad crítica y el conocimiento necesario para el manejo de la incertidumbre, es y será un elemento necesario en el desarrollo de cualquier industria competitiva en el mundo, y la industria petrolera es el principal ejemplo.

3.3.8 Manejo de la Incertidumbre y Toma de Decisiones

La expresión “La certidumbre absoluta es un privilegio de mentes poco educadas y de fanáticos”.³ del filósofo matemático C.J. Keyser, expresa su absoluta conciencia en la existencia de incertidumbre en todas las decisiones que el ser humano debe tomar. En el análisis de cualquier decisión, el lector concluirá que desde la más banal hasta la más trascendental, todas son evaluadas en presencia de cierto grado de duda o nivel de incertidumbre; por consiguiente, en toda decisión, existe cierta probabilidad de acertar (probabilidad de éxito) o de equivocarse (probabilidad de fracaso). En toda decisión coexiste la probabilidad de éxito y la probabilidad de fracaso. La relación entre estas dos estimaciones es lo que permite tomar de manera más confiable una de las opciones disponibles, bien sea la que genere mayor beneficio, menor riesgo, o la que simplemente satisfaga en mayor grado nuestra función objetivo. Frente a decisiones importantes, intuitiva o conscientemente, se realiza cierto tipo de análisis y se evalúan diferentes mecanismos para garantizar la certeza en la decisión a tomar. Uno de los mecanismos tradicionalmente utilizados

para reducir los niveles de incertidumbre e incrementar la probabilidad de éxito es la recolección de información. No obstante, los que de alguna u otra manera viven inmersos en el mundo industrial y comercial moderno, se enfrentan al hecho de que su particular dinámica les deja cada vez menos tiempo para dedicarse a “reducir la incertidumbre” antes de tomar importantes decisiones.

Todo el mundo está obligado a tomar decisiones diariamente. Las decisiones siempre traen consecuencias y pueden ser importantes. Los problemas de decisión se convierten en dificultad cuanto más complejo son, requieren decisiones sucesivas mismas que en cada una de ellas se tiene la posibilidad de elegir más de una dirección. La humanidad ha tratado desde hace tiempo el desarrollo de aproximaciones sistemáticas de toma de decisiones que les permita reducir la incertidumbre con respecto a las direcciones de sus decisiones.⁴

Las aproximaciones sistemáticas hacia la toma de decisiones comenzaron en el siglo XVI con Francis Bacon quien desarrolló el método científico. En el siglo XX el entendimiento de la toma de decisión fue mejorado con base en estudios en psicología. Con la llegada de la computadora se simplificó el manejo de grandes cantidades de datos siendo la base en la toma de decisión. Pero aun hoy muchos de los encargados de la toma de decisiones, ven estas aproximaciones con escepticismo.

Un claro ejemplo de esta realidad se evidencia en la industria energética y muy particularmente en la industria petrolera. Cuando los profesionales petroleros se encuentran ante el desarrollo de un nuevo yacimiento de hidrocarburos, reducir al mínimo las incertidumbres podría tomar muchos años y representar una inversión en dinero tal, que la explotación del yacimiento se convertiría en una actividad no rentable o con rentabilidades marginales. Ante el panorama descrito las preguntas son obvias: ¿Cuál es el nivel adecuado de certeza requerido para tomar una decisión con cierto nivel de confiabilidad?, ¿Cuál es el costo de este nivel de certeza? Y adicionalmente ¿Ofrece algún beneficio la adquisición de más información, sabiendo que ello conlleva a un consumo de recursos adicionales? Responder estas interrogantes de suma importancia es el objeto de estudio de un área emergente del conocimiento humano que se basa en el estudio desde una perspectiva práctica los aspectos conceptuales y los desarrollos metodológicos y matemáticos para manejar la Incertidumbre.

3.3.9 Decisiones que Involucran Incertidumbre

Los planteamientos hechos en el apartado de este capítulo, básicamente explican que toda decisión que se tome en este cambiante y heterogéneo universo, se caracteriza por cierto nivel de incertidumbre. Si se acepta esta realidad lo que puede cambiar dentro de un proceso de toma de decisiones es la forma en que se aborda la incertidumbre y el tratamiento que se da a la misma. La Figura 34, muestra los tres caminos básicos u opciones que se utilizan para abordar la incertidumbre.

Uno de los caminos a seguir consiste en ignorar la incertidumbre. Bajo este esquema, básicamente se piensa que todo proceso o fenómeno bajo estudio, puede perfectamente ser caracterizado por modelos determinísticos donde las variables de entrada son representadas por valores puntuales o únicos. Por consiguiente, se supone que los resultados de tales modelos son completamente válidos y no se le permite a la mente en pensar en la más mínima posibilidad de que los resultados sean otros. Bajo este modelo mental básicamente se está obviando la incertidumbre generalmente asociada a la mayoría de las variables presentes en los modelos físicos, y por ende, se está ignorando las consecuencias que se derivan de la posibilidad de que las variables puedan eventualmente tomar valores diferentes a los seleccionados.

Otro camino sería tratar de conseguir por todos los medios posibles la eliminación de la incertidumbre para posteriormente tomar la decisión correspondiente. Este deseo de eliminar el nivel de desconocimiento de una variable, proceso o fenómeno puede llevar a una “parálisis por análisis” de consecuencias a veces más graves que el hecho de ignorar la incertidumbre.

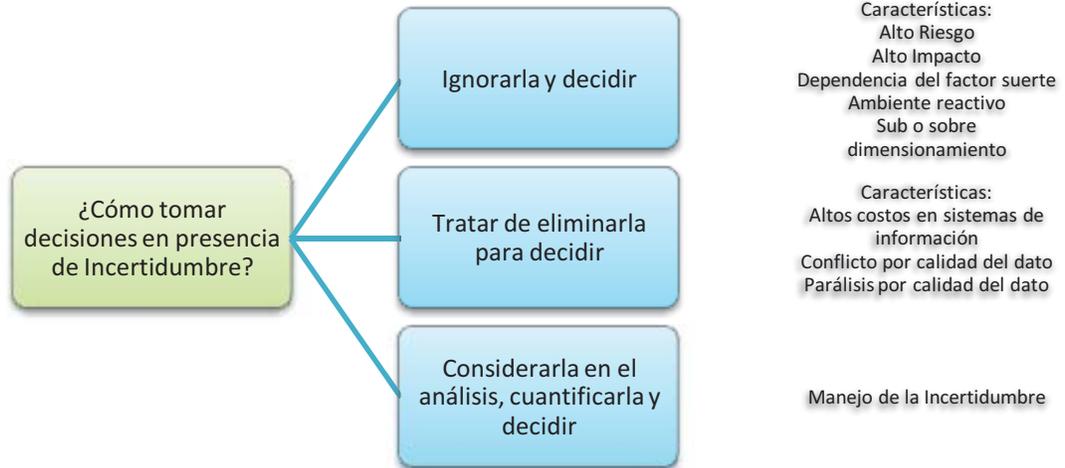


Figura 34. Alternativas para enfrentar la Incertidumbre. ⁸ (modificado)

Bajo esta concepción es importante mencionar que parte de la incertidumbre asociada a un proceso de toma de decisiones no es reducible a través de la adquisición de conocimiento, ya que depende fundamentalmente de la naturaleza aleatoria del proceso bajo estudio (incertidumbre aleatoria o variabilidad estocástica).

Por último estaría el camino de reconocer explícitamente que existe incertidumbre y considerarla en el análisis. Ésta es la opción que se desarrollará en la sección siguiente y que corresponde a la opción No. 3 “Manejo de la Incertidumbre” de la Figura 33.

3.3.10 Manejo de la Incertidumbre

El manejo de la Incertidumbre es un proceso que se inicia con la cuantificación de los niveles de incertidumbre de cada una de las variables que intervienen en el modelo de decisión utilizado, así como el de la incertidumbre propia de los modelos a utilizar, ver Figura 35.

La cuantificación del nivel de riesgo de cada una de las variables que intervienen en el modelo de decisión se realiza en forma práctica asignando al conjunto de valores disponibles de dicha variable, una distribución probabilística (paramétrica o no paramétrica) que en la medida de lo posible, represente la dinámica de la variable a modelar.

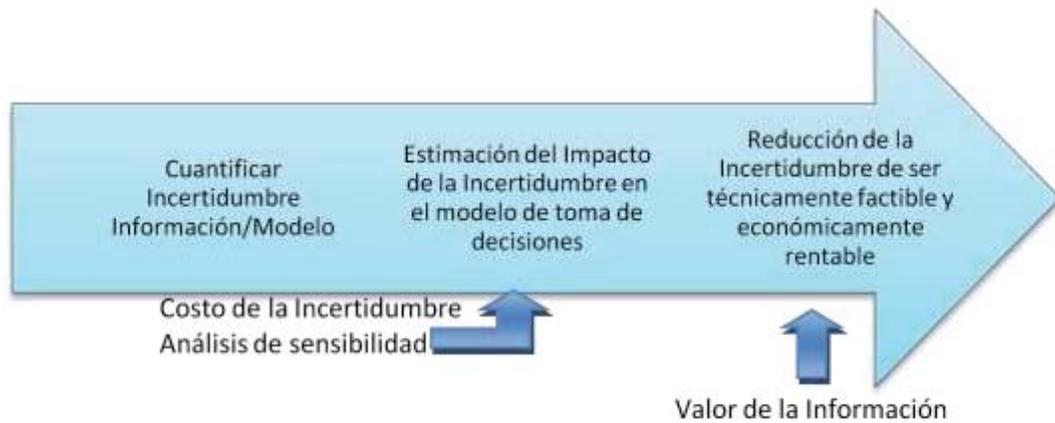


Figura 35 Manejo de la Incertidumbre. ⁸ (modificado)

En algunos casos, es factible que exista cierto nivel de incertidumbre acerca del modelo matemático (ecuación, inecuación o correlación) que debe utilizarse para representar un proceso o fenómeno, y eventualmente puede presentarse una situación donde se disponga de dos o más modelos para representarlo. Bajo estas condiciones, debe incorporarse en el modelo de toma de decisión esta incertidumbre, y considerarla en las etapas siguientes del análisis.

Posteriormente se determina el impacto del riesgo en el modelo de decisión considerado. Básicamente en esta fase, se propaga la incertidumbre de cada una de las variables de entrada a través del modelo escogido o grupo de modelos seleccionados para representar el proceso o fenómeno bajo estudio. De la misma manera, en esta fase se determina el costo de la incertidumbre y se realiza un análisis de sensibilidad para identificar las variables de mayor impacto sobre el modelo.

Por último se toman acciones para reducir la incertidumbre en caso de ser técnicamente factible y económicamente rentable. Es aquí donde debe compararse las consecuencias de una acción orientada a reducir la incertidumbre (y por consiguiente incrementar nuestra probabilidad de acierto), con las consecuencias de decidir sin reducir la incertidumbre. Como puede inferirse, el

objetivo en sí no es disminuir la incertidumbre simplemente por disminuirla, sino reducirla cuando ello se traduce en un beneficio neto dentro del proceso de toma de decisiones.

3.3.11 Reducción de la Incertidumbre

Una vez cuantificada la incertidumbre de las variables de entrada del modelo y determinado su impacto en el modelo de decisión, normalmente se plantea la necesidad o conveniencia de reducir los niveles de incertidumbre a fin de incrementar aún más la posibilidad de tomar la decisión más acertada.

En esta fase es donde debe evaluarse el costo de la incertidumbre y comparar dicho impacto económico con el costo asociado a la adquisición de cualquier información para reducir la misma. Tal como se aprecia en la Figura 36, el nivel de la incertidumbre dentro de un modelo de decisión se traduce en un costo que es mayor en la medida que el nivel de incertidumbre se incrementa. En la medida que este nivel de incertidumbre se reduce con la toma de información, el costo asociado a la incertidumbre se reduce.

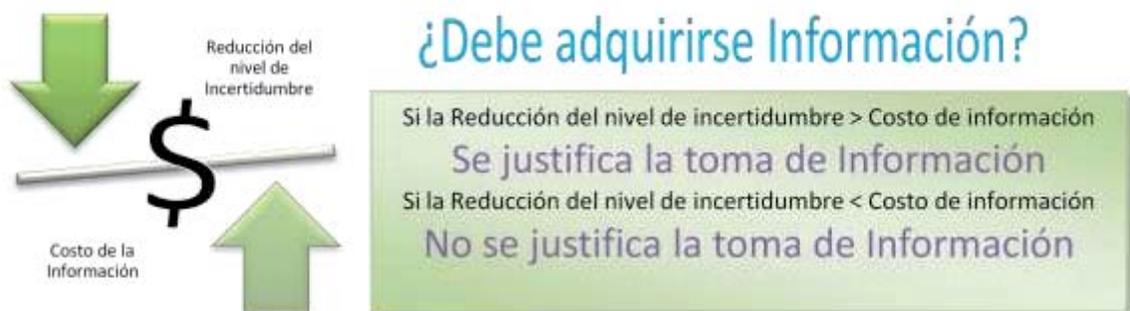


Figura 36 Costo de la Incertidumbre.

Ahora bien, toda acción orientada a reducir la incertidumbre presenta una inversión de recursos (monetarios, humanos, tiempo, etc.) que debe considerarse dentro del modelo de riesgo. En términos generales, la inversión de recursos en la reducción del costo de la incertidumbre debe justificarse como cualquier otra inversión de recursos, y en este caso solo debe procederse a invertir en reducir la incertidumbre sólo si la diferencia entre el costo de la incertidumbre sin

información y el costo de la incertidumbre con información es mayor que la inversión realizada en la reducción de dicha incertidumbre (Ver Figura 36).

Sólo si el beneficio neto alcanzado por la reducción de la incertidumbre a través de la compra de información, traducido en adquirir nuevas tecnologías, establecer nuevas estrategias de adiestramiento, pruebas adicionales, análisis de confiabilidad exhaustivos, etc., es superior al costo propiamente de la información, es cuando se justifica plenamente la reducción de la incertidumbre.

3.3.12 Análisis de Decisión

Howard (1988) describe la ciencia de *análisis de decisión* como un procedimiento sistemático para la transformación de problemas de decisión *opacos* a *transparentes* con base a una secuencia de pasos de transparencia⁴. Opaco se refiere a “difícil de entender”, resolver o explicar, complicado; transparente se refiere “fácil de entender”, claro u obvio. Además se define como una aproximación a la toma de decisiones bajo condiciones complejas, con incertidumbre inherente, objetivos múltiples y diferentes perspectivas hacia la decisión del problema. El análisis de decisión se usa para tomar decisiones eficaces coherentemente.

Se debe tener en mente que el análisis de decisión no aporta soluciones, sino más bien es una fuente de información en la comprensión de la situación, la incertidumbre, los objetivos y compromisos. Por tanto, el análisis de decisión no pretende reemplazar la intuición del encargado de tomar las decisiones, eximirlo de sus obligaciones en el problema, o ser un competidor en su estilo de análisis. La dirección del análisis puede ser en recomendar acciones, o puede ser usado en justificar una acción en particular.

Howard (1988) enfatiza en que una de las principales diferencias que debemos tener en cuenta en el análisis de decisión es la de la toma de decisión y las direcciones en ellas¹⁰. El describe que una buena dirección es un estado que nos aporta mayor valor con respecto a otras posibilidades, y una buena decisión es una acción lógicamente consistente con las alternativas que percibimos, la información que tenemos, y las preferencias que sentimos. Esta distinción es importante ya que en un mundo incierto buenas decisiones todavía tienen el potencial de conducirnos a una mala dirección.

3.3.13 Proceso del Análisis de Decisión

La Figura 36 muestra un diagrama de flujo de los diferentes pasos involucrados en el proceso del análisis de decisión descrito por Clemen (1996).

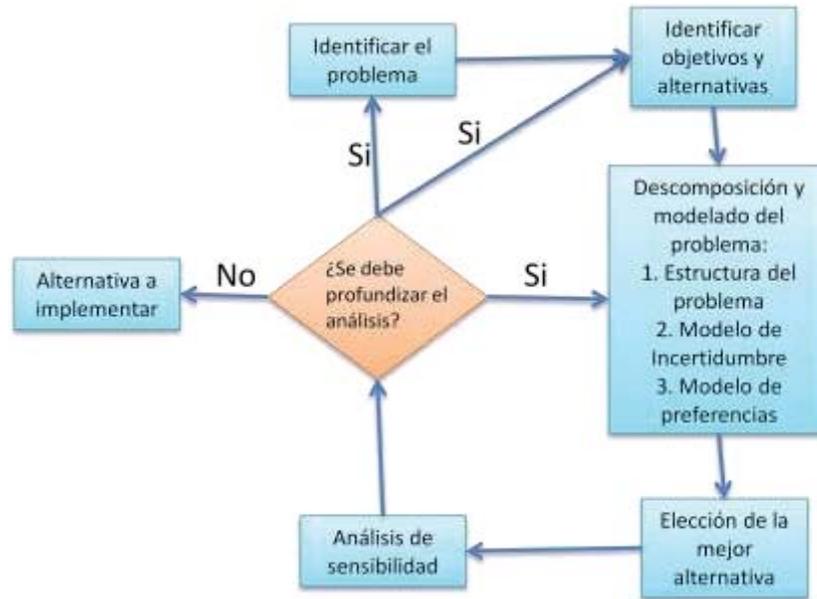


Figura 37 Diagrama de flujo del proceso del Análisis de decisión (Clemen 1996).¹⁰

El primer paso requiere que el encargado de toma de decisión identifique el problema. Esto puede ser en un inicio un proceso difícil, ya que es importante no enfrentar el problema equivocado (error de consecuencia trascendental). El segundo paso es lidiar cuidadosamente con él. ¿Es el objetivo el minimizar el costo, el riesgo o maximizar los beneficios, que se entiende por riesgo, hay pérdida monetaria o riesgo ambiental o humano? Durante esta fase es probable que algunos aspectos en la decisión del problema sean descubiertos mismos que el encargado de tomar las decisiones no tenía idea de ellos anteriormente. Los siguientes dos pasos involucran la descomposición del problema para identificar su estructura, estimar la incertidumbre y su valor. La descomposición es vista como un paso esencial en el análisis de decisión. Las técnicas de análisis de decisión son usadas para crear modelos de la estructura del problema de decisión (alternativas u opciones). Se utilizan procesos probabilísticos para la construcción de modelos de incertidumbre y funciones de utilidad, con el fin

de modelar los escenarios, con el fin de apoyar a los encargados de la toma de decisiones, evaluando las direcciones y eligiendo algún objetivo competitivo (preferencias). Durante el Análisis de sensibilidad algunos aspectos del modelo son modificados y el efecto en la dirección es evaluado. Esto puede resultar en reconsiderar completamente la decisión del problema o realizar algunos cambios en la estructura del modelo. El análisis de decisión es un proceso que normalmente se realiza a través de varias iteraciones antes de obtener una alternativa satisfactoria.

3.3.14 Elementos de Decisión

El primer paso en el análisis de decisión es identificar los elementos de un problema de decisión que incluye las decisiones a tomar, eventos de incertidumbre, dirección y valor, Figura 38. Un ejemplo sería la evaluación de reservas en un área de exploración donde algunos pozos exploratorios han sido perforados. Ahora, las decisiones a tomar conforme a adquirir más información para asegurar la fidelidad de los datos para la estimación de reservas es un problema de decisión. Sin embargo, en la decisión que se tome, existen eventos de incertidumbre como la seguridad de la fuente de información o la adquisición adicional de información. Los resultados y costos asociados estarán en función de las decisiones que se tomen con las opciones disponibles en un tiempo determinado, realizando los diferentes análisis para asegurar una fuente segura de información en la evaluación.



Figura 38 Elementos de decisión, Valor de la Información.¹⁰

En la estructura de los problemas de decisión existen dos enfoques principales que son usados para describir y estructurar los problemas de decisión: Los diagramas de influencia y los árboles de decisión. Los dos se complementan, de hecho los últimos avances en software permiten representar los problemas de decisión como diagramas de influencia que consecuentemente pueden ser convertidos en árboles de decisión.

3.3.15 Diagramas de Influencia

Un diagrama de Influencia es básicamente la representación gráfica de un problema de decisión. Los elementos del problema de decisión están representados de diferentes formas vinculadas por flechas indicando la relación entre los elementos. Los cuadros representan decisiones, los círculos representan eventos de cambio y los diamantes representan valores. Las formas son referidas como nodos (decisión, cambio y valor). Las flechas son además llamadas relaciones con el nodo en un principio siendo el predecesor y el siguiente como sucesor, Figura 38. Designados

apropiadamente los diagramas de influencia no deben tener ningún ciclo. La información detallada acerca de las direcciones, elecciones y pagos se presenta en tablas asociadas a cada nodo.



Figura 39 Diagrama de Influencia, Valor de la Información. ¹⁰

Los diagramas de influencia proveen una excelente aproximación a la representación estructural del problema de decisión, pero puede esconder algunos detalles. Son herramientas descriptivas que explican de manera sencilla los objetivos del tema a todo tipo de audiencia a diferencia de un árbol de decisión, ya que las relaciones entre varios elementos del problema de decisión son fácilmente representadas usando un diagrama de influencia en comparación con los árboles de decisión. Howard (1988) considera que el diagrama de influencia es el mayor avance en comunicación, descripción y representación del conocimiento humano. El agrega que es la mejor herramienta en la transformación de una situación opaca en la mente de una persona a una decisión clara.

Frecuentemente los diagramas de influencia son erróneamente reconocidos como diagramas de flujo. Los diagramas de flujo representa la secuencia de los eventos y actividades en un sistema de decisión. Los diagramas de influencia son representaciones estructuradas de decisión, eventos de incertidumbre y direcciones, que proveen una visión instantánea del ambiente de decisión en un punto dado en el tiempo.

3.3.16 Análisis de Árboles de Decisión

Un árbol de decisión es una aproximación que usualmente representa el problema más a detalle que el diagrama de influencia. Los pasos básicos en los árboles de decisión incluyen en primera instancia especificar el contexto de decisión, siguiendo con el desarrollo del modelo de decisión, incluyendo las opciones para su manejo, las consecuencias de cada opción, la probabilidad y la conveniencia de cada dirección. El modelo de decisión es representado por el árbol de decisión.

La estructura de los árboles de decisión desarrolla de forma secuencial de una base a un término representado por componentes como: nodos, ramas y direcciones. Existen tres tipos de nodos: decisión u oportunidad (elección), cambio (probabilidad) y terminales. Las ramas indican las diferentes opciones que se pueden tomar en un nodo de decisión y sus diferentes direcciones si se refiere a un nodo de cambio. Cada una de las ramas que provienen de un nodo de cambio está asociada a probabilidades y cada uno de los nodos terminales está asociado a utilidades o valores.

Es importante que las ramas representen las diferentes opciones que son mutuamente exclusivas, es decir que solo una rama puede elegirse. En el caso de los nodos de cambio, las ramas deben corresponder mutuamente exclusivas y representa todos los casos posibles y sus direcciones. Es decir solo una puede ocurrir y las diferentes ramas representan todas las opciones posibles. Los eventos de cambio siguientes a los nodos de decisión indican que la decisión se condicione en el cambio de la dirección, Figura 40.

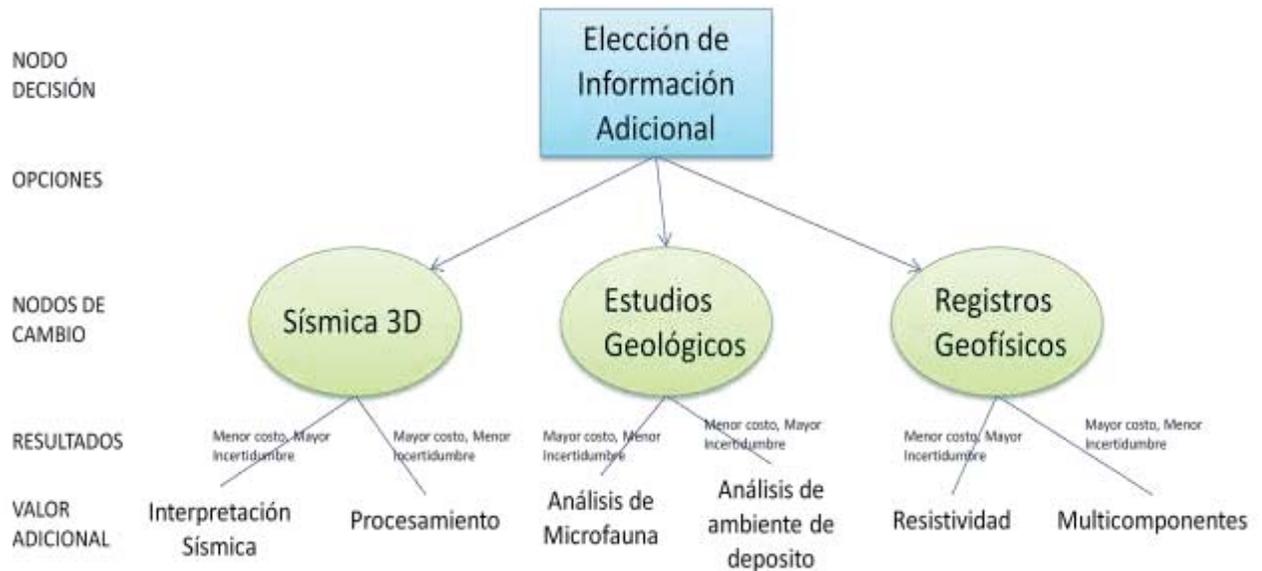


Figura 40 Árbol de decisión, Valor de la Información

Entre las desventajas de los árboles de decisión es que se vuelven complejos más rápido que los diagramas de influencia. Por tanto, para explicar un problema a una audiencia general es más usado el diagrama de influencia. Por otra parte, el análisis de los problemas de decisión son mejor conducidos por árboles de decisión.

La solución de los árboles de decisión es obtenida típicamente a través de la elección de la alternativa con el mayor valor monetario esperado. Esto se hace respaldando el árbol. Comenzando por los nodos terminales y retrocediendo a la raíz del árbol, los valores esperados son calculados en cada nodo de cambio como una media ponderada de posibles direcciones donde la ponderación radica en la probabilidad de ocurrencia de la dirección. En cada nodo de decisión, se elige la rama con el mayor valor esperado, estableciendo la alternativa preferencial.

3.3.17 Ejemplo de Análisis de Árbol de Decisión

Partiendo de un estudio geológico se presenta una oportunidad exploratoria con posibilidad de encontrar una estructura importante en la provincia de Palizada en el Estado de Campeche. La inversión para la compra del terreno y el pago del aseguramiento del área es de tres millones de

dólares. El costo por la adquisición y procesamiento de datos sísmicos es cerca de los dos millones de dólares. Se parte de encontrar diferentes niveles de reservas, definiendo el estudio a dos tamaños de la estructura productora: una estructura grande con un Valor Presente Neto (VPN), de 40 millones de dólares, y una estructura pequeña de un VPN de 15 millones de dólares. Estos VP's incluyen los ingresos netos de la producción, todos los gastos operativos, impuestos, regalías y costos de perforación subsecuentes. Esto no incluye los costos de los pozos exploratorios.

De un análisis preliminar del prospecto nuestra área de exploración sugiere dos estrategias exploratorias si se aprueba la oportunidad:

- A. Perforar pozos exploratorios con base al estudio geológico. Esta estrategia es fundada en la correlación, extrapolación e interpretaciones geológicas.
- B. Adquisición de información sísmica. Para tener mayor certidumbre en que exista una estructura importante debajo del área de compra, se puede gastar dos millones de dólares en sísmica y aplazar los planes de perforación hasta recibir la información. Se tiene en cuenta que la sísmica resulta ser más confiable en esta área, donde la única incertidumbre es si existe o no una estructura y una posible trampa de hidrocarburos.

En el área de exploración se evalúan probabilidades obteniendo un 50:50 de que el análisis geológico en si presente la evidencia de una estructura. Como una complicación adicional se tiene que el área de exploración indica la posibilidad de perforar un segundo pozo exploratorio si el primero encontrará la estructura pero en pruebas resultara seco.

En el área de evaluación de proyectos se llama a una reunión para evaluar esta oportunidad exploratoria, en donde se acepta la inversión de 3 millones de dólares para la compra y aseguramiento del terreno.

Con lo anterior, podemos estar de acuerdo que este análisis cae dentro de la categoría general de problemas de decisión secuencial, ya que involucra puntos de decisión (opciones). En donde utilizaremos un análisis de árbol de decisión para calcular el valor esperado. Presentado en la siguiente figura.

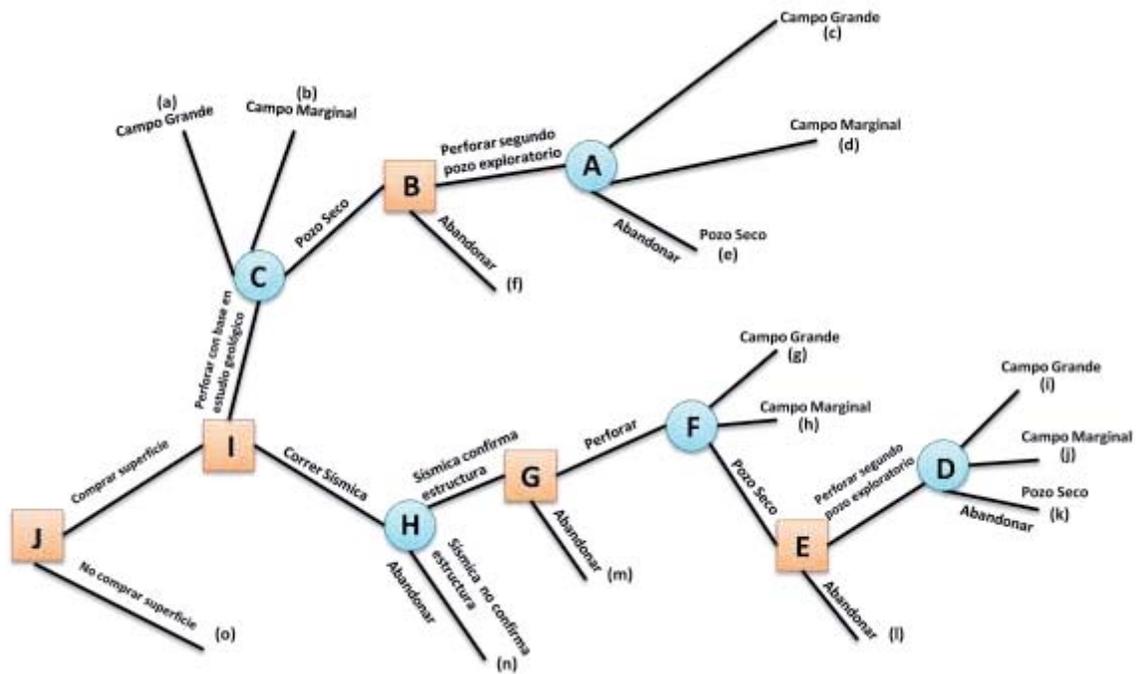


Figura 41 Árbol parcial de decisión de una Oportunidad Exploratoria.

En la figura anterior se presentan nodos de oportunidad marcados con color y letras mayúsculas (A, B, C...), y nodos terminales designados con letras minúsculas (a, b, c...). En donde existen 15 nodos terminales mutuamente exclusivos en este árbol de decisión.

La figura anterior está incompleta, ya que faltarían las probabilidades estimadas en los **nodos de oportunidad** y los valores de los 15 **nodos terminales**. En el caso del nodo “n”, debería existir la posibilidad de elegir entre perforar pozo exploratorio o abandonar. El árbol se construyó sin esta opción, solo con abandonar, ya que si la sísmica no muestra estructura se asume que la estructura no existe.

Ahora, debemos agregar los costos o ingresos monetarios asociados a cada nodo terminal, estimando la inversión que puede ocurrir en cada caso y asumir un ingreso en los diferentes casos de descubrir un campo. Por ejemplo evaluemos el nodo terminal k. Comenzando de la raíz hacia el nodo terminal k, están son las situaciones que podemos tener:

- (Nodo J): Comprar superficie con un costo de 3 millones de dólares.
- (Nodo I): Correr sísmica con un costo de 2 millones de dólares.
- (Nodo H): Sísmica confirma estructura.
- (Nodo G): Perforar pozo exploratorio con un costo de 1 millón de dólares.
- (Nodo F): Pozo seco.
- (Nodo E): Perforar segundo pozo exploratorio con un costo de 1 millón de dólares.
- (Nodo D): Pozo seco, abandonar el proyecto. Esta situación nos genera un costo total de 7 millones de dólares.

Con el procedimiento anterior, se puede obtener aproximaciones para los demás nodos terminales. La tabla 12, enlista los VPN de los nodos terminales, y la figura 41 muestra sus valores. Las probabilidades asociadas para cada nodo de oportunidad son determinadas con base en análisis de riesgo. Estas probabilidades están expresadas en la tabla 13 y podemos visualizarlas en las ramas de la figura 42. Estos valores de probabilidad incluyen la posibilidad de que la estructura posea hidrocarburos y de descubrir un yacimiento.

Tabla 12 Cálculo del VME's de los nodos terminales.

Nodos terminales	VPN [millones de dólares]
(a) Descubrimiento de un campo grande sin adquisición sísmica y solo un pozo exploratorio: 40 – 1 – 3	36
(b) Descubrimiento de un campo marginal sin adquisición sísmica y solo un pozo exploratorio: 15 – 1 – 3	11
(c) Descubrimiento de un campo grande con dos pozos exploratorios y sin adquisición sísmica: 40 – 1 – 1 – 3	35
(d) Descubrimiento de un campo marginal con dos pozos exploratorios y sin adquisición sísmica: 15 – 1 – 1 – 3	10
(e) Dos pozos exploratorios secos sin adquisición sísmica: - 1 – 1 – 3	-5
(f) Un pozo exploratorio seco sin adquisición sísmica: - 1 – 3	-4
(g) Descubrimiento de un campo grande con adquisición sísmica y solo un pozo exploratorio: 40 – 1 – 2 – 3	34
(h) Descubrimiento de un campo marginal con adquisición sísmica y solo un pozo exploratorio: 15 – 1 – 2 – 3	9

(i)	Descubrimiento de un campo grande con adquisición sísmica y dos pozos exploratorio: 40 – 2 – 2 – 3	33
(j)	Descubrimiento de un campo marginal con adquisición sísmica y dos pozos exploratorio: 15 – 2 – 2 – 3	8
(k)	Dos pozos exploratorios secos con adquisición sísmica: - 2 – 2 – 3	-7
(l)	Un pozo exploratorio seco con adquisición sísmica: - 1 – 2 – 3	-6
(m)	Correr sísmica con identificación de estructura y abandonar: - 2 – 3	-5
(n)	Correr sísmica sin identificación de estructura y abandonar: - 2 – 3	-5
(o)	No comprar superficie	0

Tabla 13 Probabilidades estimadas de prospectos.

Resultado	Perforación de un pozo exploratorio sin sísmica	Perforación de dos pozos exploratorios sin adquisición sísmica	Perforación de un pozo exploratorio con sísmica	Perforación de dos pozos exploratorios con sísmica
Descubrimiento de un campo largo	0.050	0.075	0.150	0.200
Descubrimiento de un campo marginal	0.050	0.075	0.150	0.200
Pozo seco	0.900	0.850	0.700	0.600

Con lo anterior ya tenemos lo necesario para resolver por completo el árbol de decisión de la figura 41. Como se indico anteriormente, la metodología de solución empieza en los nodos terminales y se trabaja hacia la izquierda del árbol. En este ejemplo, solo podemos trabajar en dos ramas, en los nodos terminales c, d y e; o en los nodos terminales i, j y k.

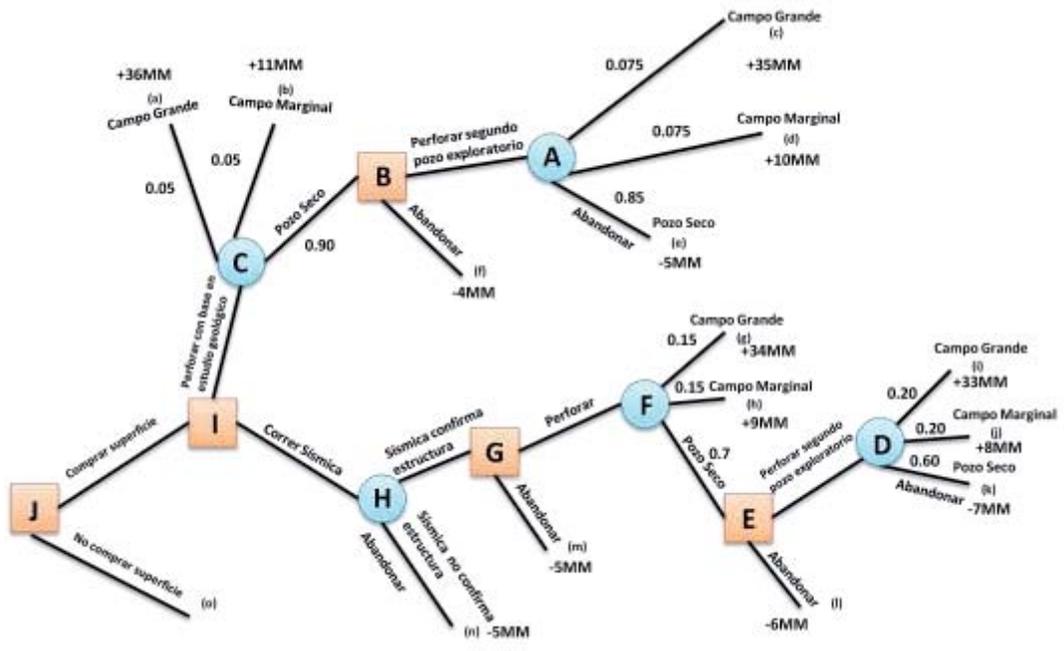


Figura 42 Árbol de decisión completo.

Por orden comencemos en los nodos c, d y e. El primer nodo de oportunidad en donde desembocan los nodos terminales es el nodo A. Como A es un nodo de oportunidad, esto significa que vamos a calcular el valor monetario esperado (VME) en este punto. Se realiza de la siguiente manera:

$$VME_A = (0.075)(+35 \text{ MM}) + (0.075)(+10 \text{ MM}) + (0.85)(-5 \text{ MM}) = -0.875 \text{ MM}$$

Moviéndose hacia atrás, es decir a la izquierda, el siguiente nodo a evaluar es el nodo de oportunidad B. Aquí evaluaremos la oportunidad que nos ha dejado los acontecimientos anteriores como si el nodo A fuera un nodo terminal, esto es, que las opciones mostradas en la figura 43, indican que si se perfora un segundo pozo la expectativa de pérdida es de -0.875 millones de dólares; pero si se decide abandonar la pérdida es de -4 millones de dólares. La decisión a tomar basados en la regla es que la mejor opción es perforar un segundo pozo, ya que el abandonar significa una mayor pérdida (menos negativa). Por lo tanto se corta la opción de abandonar, y se agrega el VME_A de -0.875 MM como un nuevo nodo terminal B en lugar del nodo de oportunidad B.

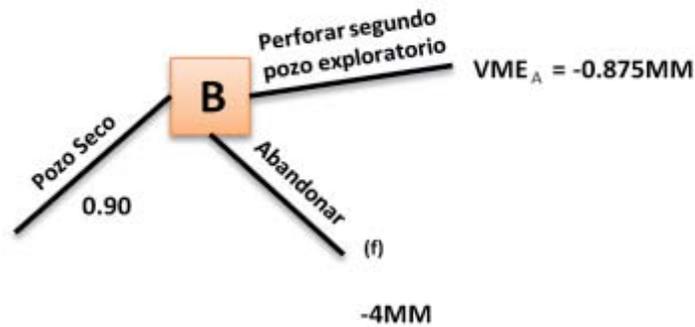


Figura 43 Opciones de decisión del nodo B.

Siguiendo con el procedimiento de resolución hacia la izquierda, realizamos el cálculo en el nodo C.

$$VME_C = (0.05)(+36 \text{ MM}) + (0.05)(+11 \text{ MM}) + (0.90)(-0.875 \text{ MM}) = +1.5625 \text{ MM}$$

Cabe destacar que en otras situaciones los nodos que presenta pozo seco, no presenta ni pérdida ni ingreso, pero con las situaciones subsecuentes y eventos posteriores el valor de este nuevo nodo terminal cambia. Continuando con nuestro análisis tenemos que el VME_C presenta un valor de +1.5625MM. Para continuar con el análisis evaluaríamos el nodo de oportunidad I, teniendo como alternativas perforar sin sísmica y realizar la adquisición. Pero como podemos observar, es imposible realizar esta evaluación ya que tenemos que resolver antes la ramificación que inicia en el nodo H.

Comenzando con el análisis de los nodos terminales i, j y k; como en la rama anterior podemos ilustrar esta evaluación con la siguiente figura.

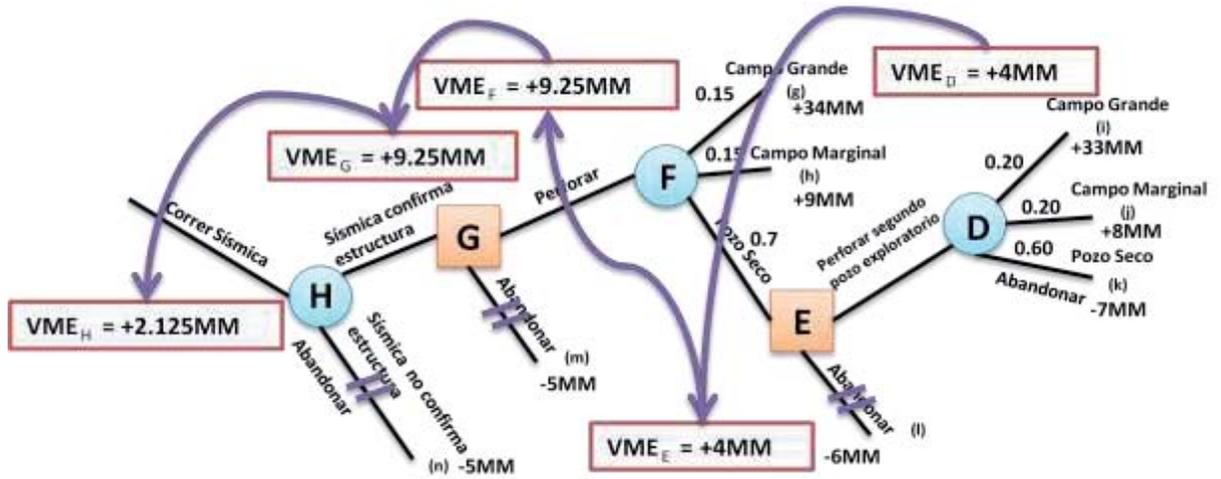


Figura 44 Solución de la rama iniciada en el nodo de oportunidad H.

Con el resultado de VME_H , podemos tomar la decisión en el nodo de oportunidad en I basado en dos opciones: Perforar sin sísmica con un ingreso de +1.5625MM o correr sísmica con una expectativa de +2.125MM expresado en la figura 45. Teniendo la conclusión de “podar” la alternativa de perforar sin sísmica, y seguir con el análisis del nodo de oportunidad J.

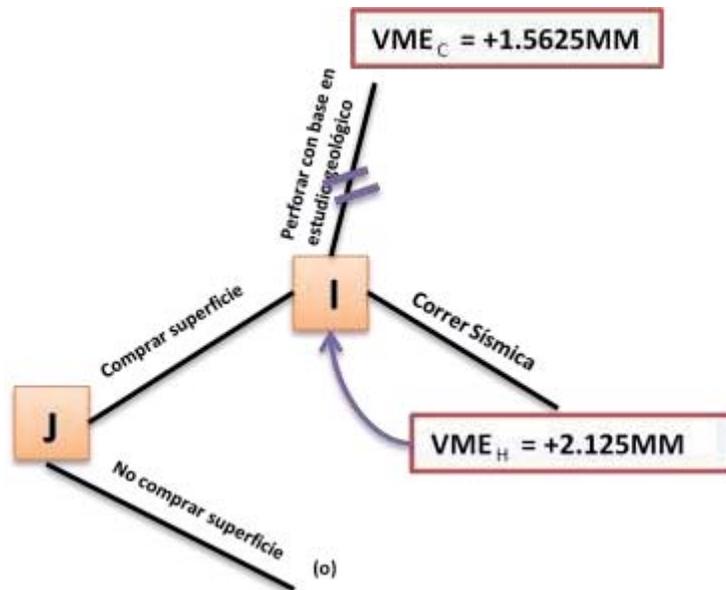


Figura 45 Solución final de alternativas.

Con esto hemos reducido el árbol de decisión a las opciones expresadas en la figura 44, en donde podemos observar que la mejor alternativa es comprar la superficie. Como resultado de este

análisis podemos tener una estrategia específica para obtener el mejor desempeño de esta inversión:

1. Adquirir y asegurar la superficie corriendo sísmica inmediatamente.
2. Si la sísmica confirma una estructura, perforar un pozo exploratorio.
3. Si el pozo inicial resulta seco, se debe perforar un segundo pozo exploratorio antes de decidir abandonar.

3.3.18 Análisis de Decisión de Problemas

En los párrafos anteriores el énfasis radica en la estructuración del problema de decisión, mismo que represente clara y exactamente todos los elementos del problema de decisión. Por tanto, el siguiente paso sería la solución del árbol de decisión o del diagrama de influencia para encontrar la opción preferencial. De esta forma, la siguiente sección se enfoca en el análisis de los árboles de decisión.

La información cuantitativa necesaria para analizar un árbol de decisión incluye las utilidades/valores asociados con los nodos terminales y las probabilidades relacionadas en cada rama de los nodos de cambio. La utilidad o valor, es expresado usualmente a una escala común a todos los nodos terminales en el árbol de decisión, es decir en una denominación consistente en cada uno de ellos. Las utilidades pueden representar preferencias subjetivas, así como el beneficio neto y los valores generados para representarlos en función de utilidad y valores monetarios. En el caso de un valor monetario se puede utilizar el beneficio neto en una decisión particular dada a una dirección particular, después de restar los costos incurridos. Los parámetros cuantitativos pueden ser expresados como variables que pueden ser usadas durante el análisis de sensibilidad subsecuente.

3.3.19 Matriz de Decisión

Otro formato parecido a los árboles de decisión, que nos muestra de manera clara las diferentes alternativas para tomar una decisión, con respecto a diferentes escenarios y recursos son las

matrices de decisión. Utilizada mayormente para expresar diferentes opciones para cada proceso o actividad, como tecnologías disponibles, métodos, tipos de factores, entre otros.

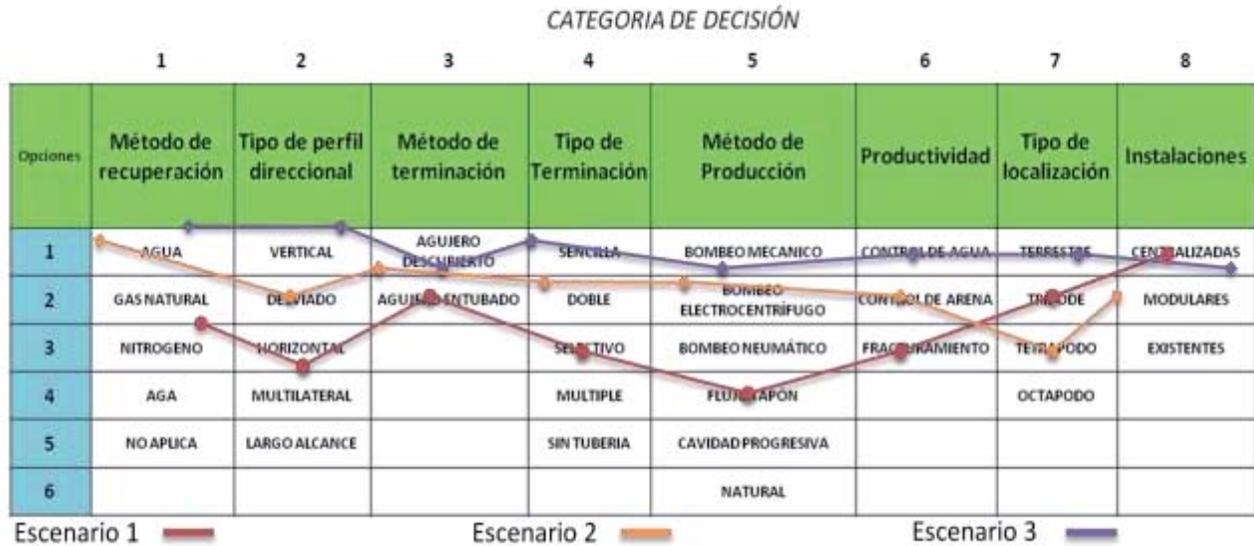


Figura 46 Matriz de decisión

3.3.20 Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad es un modelo aproximado que permite la identificación de los parámetros que son importantes en el árbol de decisión. Como consecuencia de los resultados de un análisis de sensibilidad el encargado de la toma de decisión debe reconsiderar la estructura de decisión del problema u obtener mayor información precisa acerca de estos parámetros individuales.

La base del análisis de sensibilidad radica en que uno o más parámetros varíen, para efecto de que la solución del árbol de decisión sea examinada. Una de los resultados del análisis de sensibilidad sería que un conjunto de valores varíen para analizar su respuesta, mismos que representarían un cambio en la decisión óptima. En la Figura 47, muestra un análisis de sensibilidad entre las diferentes propuestas de sistemas artificiales de producción, donde se muestra la variación entre el valor esperado (ordenadas) y la probabilidad de éxito de los sistemas a emplear en la propuesta en un pozo de baja productividad. Demuestra que en este caso mientras la probabilidad de éxito del BN sea menor a 0.68, el BEC se convierte en la mejor opción de sistema.

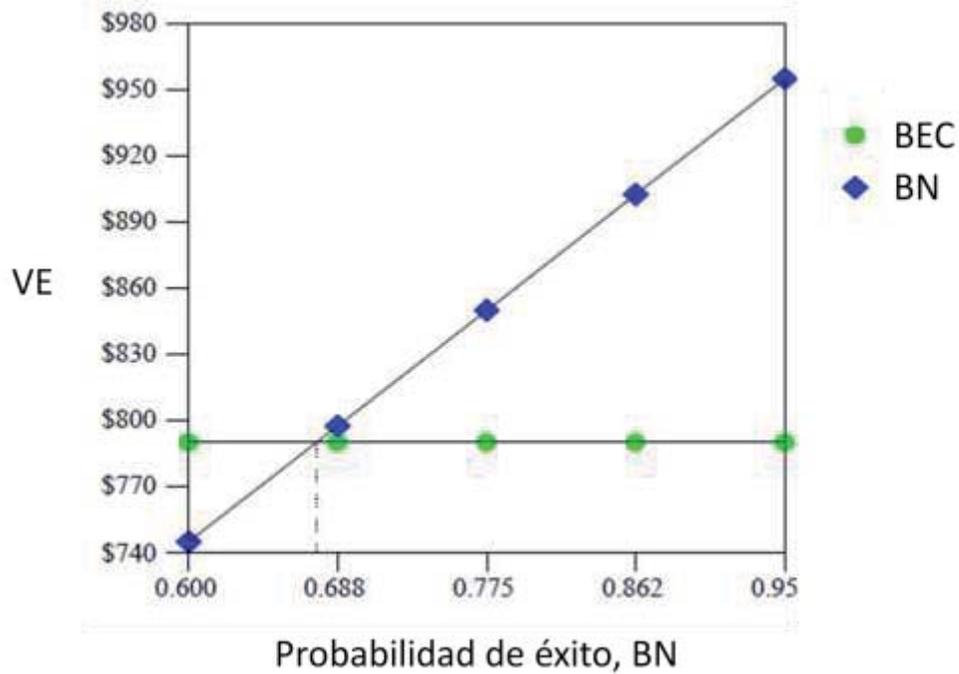


Figura 47 Análisis de sensibilidad de la probabilidad de éxito del BN

Otro enfoque que permite una rápida revisión de la sensibilidad en el problema de decisión para evaluar varios parámetros es el diagrama de tornado, Figura 48. El eje horizontal muestra el valor esperado y cada barra representa el rango esperado de valores en respuesta al cambio de esta variable en particular dentro de un rango determinado. La variable con la barra más amplia se coloca en la parte superior. Cuanto mayor sea la amplitud de la barra más incierta es el efecto de este parámetro suponiendo que puede variar en el rango indicado.

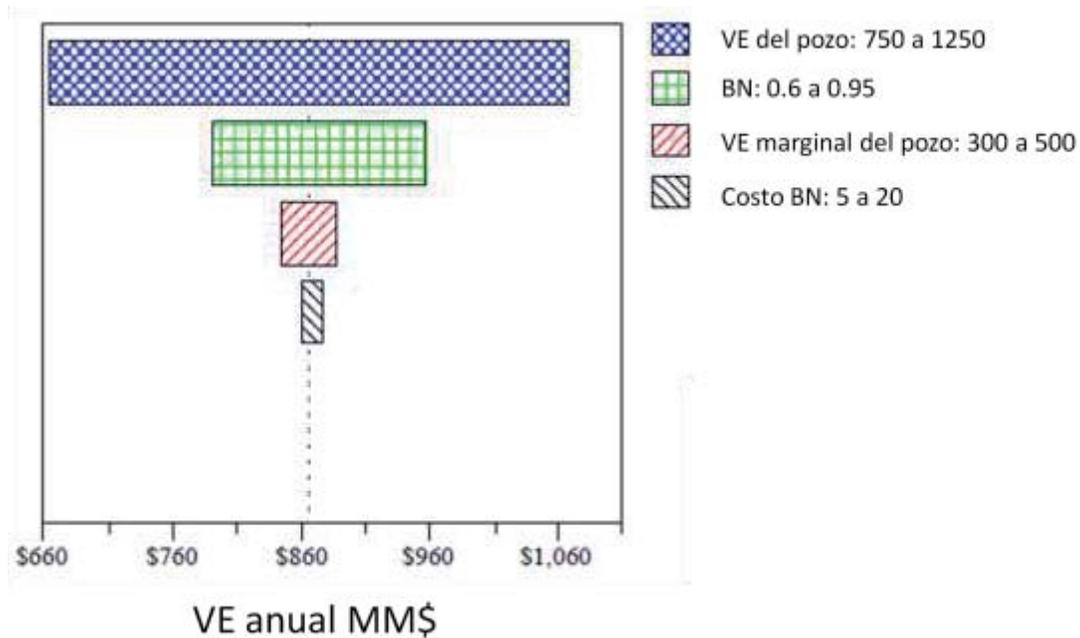


Figura 48 Diagrama de Tornado

3.3.21 Perfiles de Riesgo

Mientras que el valor esperado proporciona un estimado del valor medio de una decisión en particular, no provee la información individual de los resultados. Un perfil de riesgo muestra la probabilidad de ocurrencia de cada resultado, Figura 49. Esto permite la selección de las decisiones asociadas un resultado de bajo riesgo. Un perfil de riesgo es elaborado colapsando el árbol de decisión a través de la multiplicación de las posibilidades de cada rama y puede ser expresado gráficamente. Es útil cuando el problema de decisión contiene nodos de oportunidad sucesivamente.

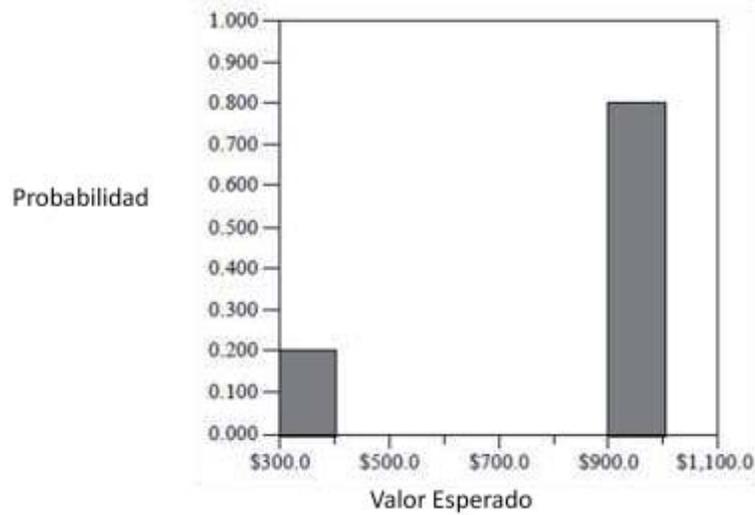


Figura 49 Perfil de Riesgo

3.3.22 Técnicas Avanzadas de Análisis de Decisión

Una de las principales críticas del análisis de árbol de decisión en particular ha sido el énfasis en la toma de decisiones con base en una media ponderada que es una medida estadística no necesariamente apropiada para este tipo de información. Los análisis de decisión tratan de describir el patrón de pensamiento del encargado de la toma de decisión que frecuentemente es difuso. De hecho, es difícil definir patrones solamente con base a una media ponderada. Además, el objetivo de el análisis debe ser optimizar múltiples objetivos que compiten entre si, uno de ellos puede maximizar el valor monetario y otro a su vez minimizar el daño al ambiente. Un análisis de costo-efectividad es la técnica apropiada para este tipo de problemas.

El modelo de Markov y la simulación de Montecarlo son dos técnicas accesibles actualmente a través de software de computadora para realizar el análisis de decisión.

3.3.23 Modelado de Markov

Los modelos de Markov pueden ser usados para reemplazar los árboles de decisión en situaciones donde los árboles contienen eventos que se repiten o periodos prolongados de tiempo. Los componentes básicos del proceso de Markov son llamados “estados” que por ejemplo pueden

representar distintos estados de producción que un pozo puede tener. La transición entre los estados puede efectuarse a través del tiempo en función de una “probabilidad de transición”. Una suposición del proceso de Markov puede ser que las probabilidades de transición son constantes, de otra manera debe usarse un proceso más general.

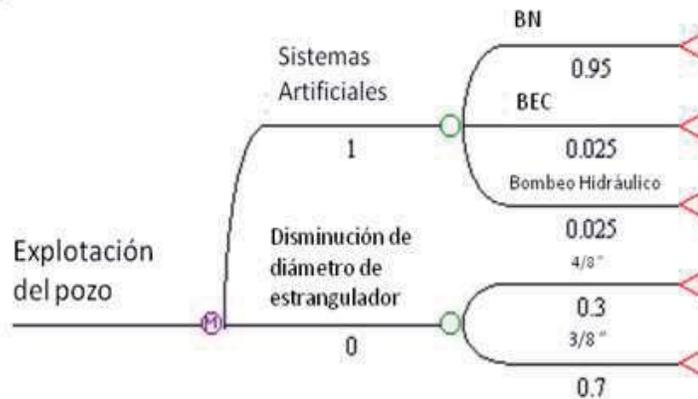


Figura 50 Ejemplo, modelado de Markov

4 Propuesta Académica

4.1 Plan de Estudios Actual

Al hablar del Plan de estudios de Actual en nuestra Universidad, podemos resaltar la calidad de nuestras materias y desempeño de profesores. Debemos tener en cuenta que la calidad de los egresados no sólo depende del conocimiento proporcionado por la Universidad, sino además de la entrega, esfuerzo y cultura competitiva del alumno; además, una vocación de los docentes de iniciar o incrementar esta cultura competitiva a cada grupo de alumnos que desarrollen la materia en sus clases. En mi experiencia propia, me siento satisfecho de la calidad de los profesores, su entrega y su experiencia ya que son pautas en mi persona para seguir adelante y siempre buscar un mejor conocimiento.

Al inicio del plan de estudios se tiene un excelente estudio de bases matemáticas y físicas, que aseguran un conocimiento previo que impulsará las materias consecuentes, además presenta materias que crearan en el alumno una mejor perspectiva de su vida profesional.

En la parte media del plan, se introduce a las materias propias de la carrera, complementadas con física y matemáticas aplicadas en la comprensión de fenómenos y condiciones que serán las bases de los procesos y actividades en la Industria Petrolera.

En la última parte del plan de estudios se presenta un pleno conocimiento de la Industria Petrolera, con los requerimientos teóricos y técnicos para ejecutar de manera efectiva y con éxito las diferentes actividades en la explotación de hidrocarburos, involucrando conocimientos de cultura profesional, estado actual y optimización de la industria.

Partiendo de las iniciativas en ¹⁴, El Perfil del Egresado es el conjunto de conocimientos y otras características, que debe poseer la persona que termina un nivel educativo, como licenciatura, el cual representa la Formación Integral que demanda ese nivel educativo. Partiendo de esto, se debe construir una iniciativa que fortalezca la Formación Integral de los alumnos en Ingeniería Petrolera, que complete las exigencias de la industria y plantee un panorama de desarrollo laboral óptimo

para los egresados de la carrera. En un plan de estudios se debe reflejar o plasmar de manera fiel, explícita, completa, concreta y sistemática el Perfil del Egresado que se haya determinado. Lograr la anterior requiere de un esfuerzo muy intenso, prolongado y minucioso, de un equipo de especialistas en la elaboración y modificación de Planes de Estudios que, por supuesto, tengan además los Conocimientos del área o áreas de la Carrera o Nivel Educativo considerado¹⁴. Por lo tanto, el equipo de especialistas debe de tener pleno conocimientos de las materias involucradas en la Ingeniería Petrolera; se debe hacer un análisis de si se cumplen los objetivos y compararlos con otras universidades y sobre todo la importancia de identificar los requerimientos de la industria para así crear un mejor plan de estudios que abarque los puntos anteriores, asegurando un progreso tanto para la Universidad como para el estudiante y futuro Ingeniero.

Se presenta un prototipo de plan de estudios diseñado por el autor de la tesis, en donde se incluye la materia de “Gestión del Riesgo en la Industria Petrolera” en el plan de estudios actual de Ingeniería Petrolera; además se propone una modificación en el orden de las materias.

El plan de estudios propuesto, plantea una iniciativa real en el fortalecimiento del plan de estudios de nuestra carrera con el fin de impulsar el área de Evaluación de Proyectos y Gestión del Riesgo que es de gran importancia en la educación del Ingeniero Petrolero actual¹¹. Esta iniciativa se realiza con base en los retos actuales de la industria y la necesidad de que sus profesionales presenten un mejor manejo de las herramientas y conocimientos necesarios en la evaluación de oportunidades e iniciativas de mejora.

Los conocimientos en el manejo e implementación de las herramientas en la estimación-evaluación-administración del riesgo, son clave en la educación moderna en Ingeniería Petrolera. Los crecientes retos tecnológicos y económicos, la optimización de recursos y capacidad de decisión encaminada a la creación de activos para la industria, representan necesidades primordiales en la educación moderna y competitiva en Ingeniería Petrolera¹¹.

La propuesta que se presenta en esta tesis es resultado de un análisis de planes de estudio y evaluación de los nuevos retos; es con el fin de mejorar el plan de estudios actual de Ingeniería Petrolera, que permita ser el punto de partida para lograr la calidad requerida¹⁵ de sus egresados.

La propuesta presenta dos cambios de orden importantes: El primero es la eliminación de la materia de Dibujo presente en el segundo semestre de la Carrera. La conclusión que sustenta esta decisión es la investigación de planes de estudios del primer capítulo del presenta trabajo, en donde esta materia no forma parte de ningún plan de estudios, y presenta poca aplicación e influencia; esto abre la oportunidad de incluir una materia con mayor proyección e impacto en la preparación de los futuros Ingenieros Petroleros.

El segundo cambio de orden se presenta en la inclusión de “Literatura Hispano-americana Contemporánea” en el lugar vacante con la eliminación de Dibujo. Esto nos ayuda a reacomodar materias con el fin de generar un espacio a la iniciativa de materia “Gestión del Riesgo en la Industria Petrolera”, en el 6to semestre de la carrera, siendo este semestre más adecuado para su inclusión, teniendo una mejor influencia e implementación en las materias consecuentes. El incluir esta iniciativa en el 6to semestre, provee un reacomodo de la primera fila (de izquierda a derecha) de las materias de evaluación de proyectos hasta “Administración de la Seguridad y Protección Ambiental”, recorriendo “Ética Profesional” al lugar en donde se encontraba “Literatura Hispano-americana Contemporánea”, con la sugerencia de establecer un mejor orden cíclico para establecer las condiciones previas en la Legislación de la Industria Petrolera. La Figura 51 presenta la iniciativa de materia y el acomodo final.



Figura 51 Iniciativa de cambio de Plan de Estudios.

Para complementar esta iniciativa, en el capítulo último de la presente tesis, se analiza a detalle la propuesta académica y su proyección en la educación mejorada de Ingeniería Petrolera.

4.2 Encuesta y Resultados

En esta sección, el objetivo es tener una evaluación interna del estado académico de los estudiantes de Ingeniería Petrolera en nuestra Facultad. La idea es poder estimar directamente con la participación de los estudiantes, **el nivel de aprendizaje de las materias del área de evaluación de proyectos**. Además de esta evaluación se busca conocer e interpretar las opiniones de los alumnos, inquietudes y objetivos futuros, con el fin de comprender mejor su desempeño en el área de administración y evaluación de proyectos y, como parte fundamental de este análisis, otorgarles opinión y voz a los alumnos.

Esta etapa se sustenta en los resultados obtenidos a partir de una encuesta aplicada a los alumnos de las materias de Evaluación de Proyectos y Administración Integral de Yacimientos, ya que en referencia al plan de estudios de la carrera, los conocimientos previos a estas dos importantes materias deben proporcionar las bases sobre las herramientas que se utilizan en la Gestión del Riesgo. Estas herramientas, y refiriéndome a los primeros temas de la presente tesis, son parte fundamental en la educación en la Ingeniería Petrolera actual.

La encuesta aplicada en este proceso de evaluación del plan de estudios es la siguiente:

Encuesta de conocimientos básicos para le Gestión del Riesgo en Ingeniería Petrolera.

Pregunta 1

¿Sabes cómo se elabora un flujo de caja o de efectivo? (Obtención del VPN de un proyecto o inversión)

SI ()

NO ()

Pregunta 2

¿Conoces los diagramas de Markov?

SI ()

NO ()

Pregunta 3

¿Conoces las matrices de decisión?

SI ()

NO ()

Pregunta 4

¿Conoces los arboles de decisión?

SI ()

NO ()

Pregunta 5

¿Conoces el significado de una frontera de eficiencia, en la evaluación de un proyecto?

SI ()

NO ()

Pregunta 6

¿Conoces el significado de ANALISIS DE RIESGO?

SI ()

NO ()

Pregunta 7

¿Conoces la Simulación Montecarlo?

SI ()

NO ()

Pregunta 8

¿Conoces alguna de las siguientes teorías?: De las opciones, de la cartera de inversiones y de preferencias.

SI ()

NO ()

Pregunta 9

En la Figura 1 de la Sección Anexa, se presentan los módulos de optativas en la Carrera de Ingeniería Petrolera, ¿Qué modulo te interesa más o elegiste, y por qué? (indícalo colocando la letra del modulo)

()

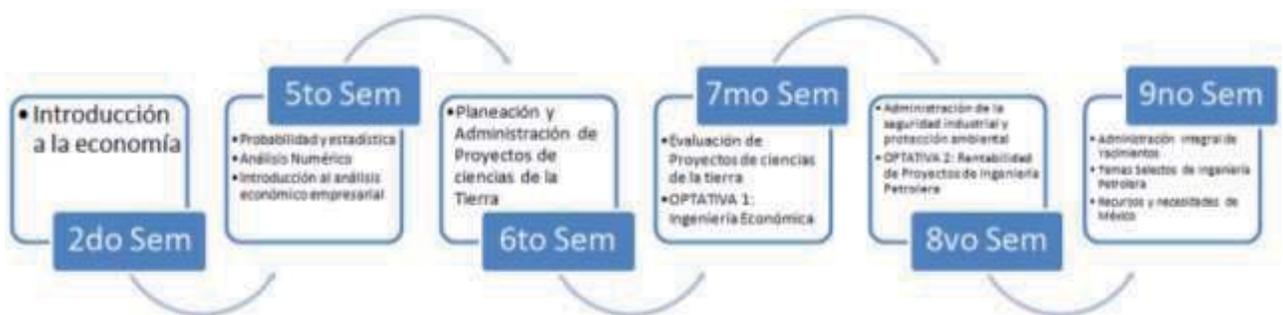


Pregunta 10

En la Figura 2 de la Sección Anexa, se presenta una ruta con materias disponibles en la Carrera, dirigida a la evaluación de proyectos en la Industria Petrolera. ¿Te interesaría que estas materias fueran parte del programa de forma curricular, por qué?

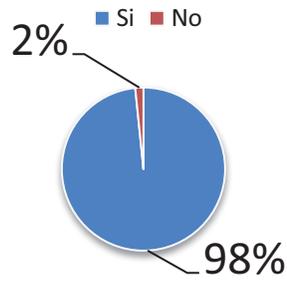
SI ()

NO ()

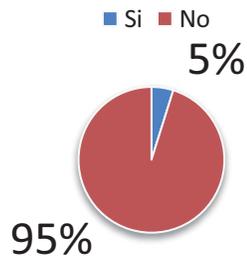


En la encuesta, se obtuvieron los siguientes resultados:

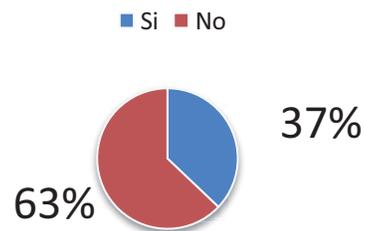
Pregunta 1 - Flujo de efectivo



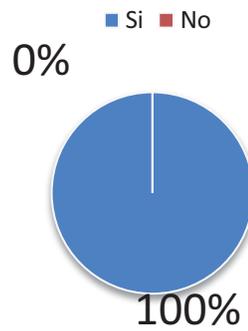
Pregunta 2 - Diagramas de Markov



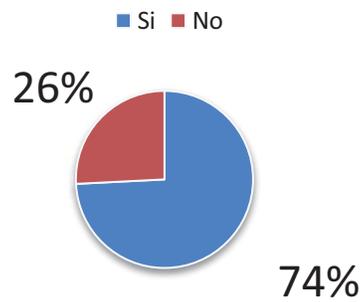
Pregunta 3 - Matrices de decisión



Pregunta 4 - Árboles de decisión

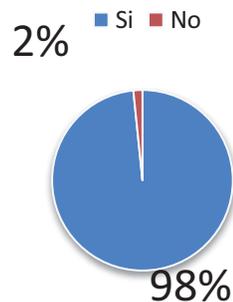


Pregunta 5 - Frontera de eficiencia

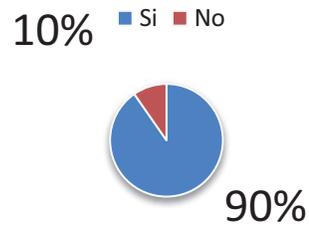


Siendo, la siguiente pregunta, uno de los tópicos más importantes en el conocimiento y manejo de las diferentes herramientas para la Gestión del Riesgo, se tuvo un resultado satisfactorio.

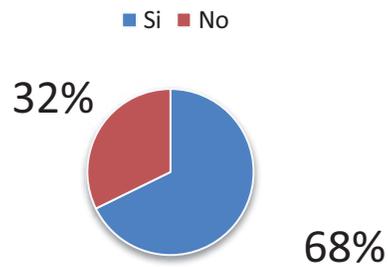
Pregunta 6 - Análisis de Riesgo



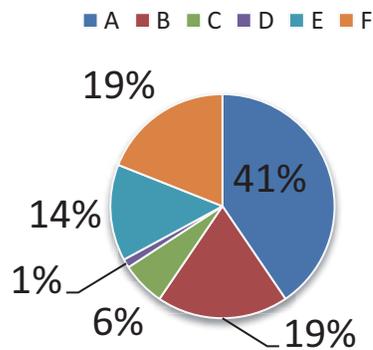
Pregunta 7 - Simulación Montecarlo



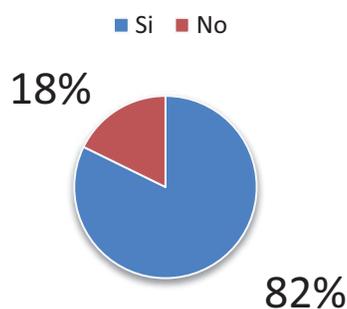
Pregunta 8 - Teoría de Opciones y Preferencias, Cartera de Inversiones



Pregunta 9 - Preferencias de Módulo



Pregunta 10 - Interés en Evaluación de Proyectos



Con la evaluación de las diferentes encuestas, e incluyendo la opinión y las inquietudes de los compañeros de la Carrera, se obtuvieron las conclusiones siguientes.

- Existe un gran interés por la incorporación curricular de las materias de Evaluación de Proyectos, contenidas en el Módulo B: Comercialización de Crudo y Gas.
- La necesidad de cubrir adecuadamente las materias optativas es una preocupación general de los alumnos. El 35% de los alumnos encuestados menciona la elección de algún módulo por falta de la disponibilidad de maestros o poca demanda en las asignaturas.
- El Módulo A es el más atractivo a los alumnos; se menciona entre sus opiniones que es el futuro de México, dando a conocer una idea crítica, ya que con el estudio de los diferentes planes académicos de las universidades más importantes y la matriz planteada en el Capítulo 1 de la presente tesis, **muestran poco interés en la impartición de clases en el área de aguas profundas**, teniendo solo como universidades interesadas el área Europea, que como ya hemos mencionado, la complejidad y riesgos en sus escenarios de producción, **hacen la necesidad de conocimientos en el ámbito de aguas profundas algo necesario**.
- En general el interés de ampliar los conocimientos en evaluación de proyectos y Gestión del Riesgo, como herramientas necesarias para asegurar un mejor desempeño laboral.
- Existe un creciente interés por la optimización de procesos de las actividades de la Industria Petrolera.

Esta información muestral obtenida, es de gran valor para los diferentes análisis que se pueden aplicar. La situación de cómo aprecian los alumnos la carrera que están cursando, es básica en la generación de propuestas académicas y planificación de nuevas estrategias educativas; la evaluación de esta será detallada más adelante en el tema “Propuesta de Modificación del Plan de Estudios”.

Esta investigación es primordial en el conocimiento de la **preparación académica** del alumno; sus inquietudes y opiniones sobre la Carrera y su plan de estudios forman parte del análisis de recursos académicos necesarios para asegurar una preparación adecuada en la Gestión del Riesgo.

4.3 Propuesta de Modificación del Plan de Estudios

Con todo lo antes visto, se incluye como recurso académico necesario, la impartición de una materia de Gestión del Riesgo, que dé al alumno una mayor capacidad crítica de decisión y cultura de la Gestión del Riesgo. La modificación del plan de estudios, es un requerimiento necesario a nivel académico; sabemos que la Facultad con el Comité de Carrera evalúa constantemente; el motivo de este cambio no solo es ingresar una nueva materia en el plan de estudios, sino con base en los retos actuales, la opinión del cuerpo estudiantil y el estudio Benchmarking, dar al egresado mejores herramientas para formar parte del desarrollo de la industria tanto en México, como en el mundo.

La materia de “Gestión del Riesgo en la Industria Petrolera”, sería el paso inicial en la educación del alumno en materia de evaluación de proyectos; el iniciar con un panorama general de las diferentes formas del riesgo, su impacto, su valoración y manejo, representa una base intelectual, que será muy importante en las siguientes materias, para que con un mejor criterio y expectativas, el alumno aproveche al máximo los conocimientos de planeación, administración, evaluación y rentabilidad de proyectos en la industria petrolera, formando las bases de un mejor Ingeniero Petrolero, con criterio y apego a los constantes riesgos de la industria, implementando este conocimiento en una mejor toma de decisión y análisis de oportunidades.

A continuación se presenta un programa de estudios de la materia de “Gestión del Riesgo en la Industria Petrolera”; es un formato preliminar, con cierto apego a una definición como materia, con los principales objetivos y fundamentos.

4.3.1 Programa de Estudios de “Gestión del Riesgo en la Industria Petrolera”

Asignatura: Gestión del Riesgo en la Industria Petrolera.

Semestre: 6to.

Créditos: 6

División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Departamento: Explotación del Petróleo

Carrera(s) en que se imparte: Ingeniería Petrolera

Asignatura: Obligatoria

Horas: Teóricas [4.5]

Total (horas): Semana [4.5], 16 semanas [72]

Modalidad: Curso

Seriación obligatoria antecedente: *Probabilidad y Estadística, Análisis Numérico.*

Seriación obligatoria consecuente: *Planeación y Administración de Proyectos de Ciencias de la Tierra.*

Objetivo(s) del curso: El alumno tendrá los conocimientos, y aplicará las técnicas y herramientas necesarias para la identificación, evaluación y Gestión del Riesgo implicado en la planeación y ejecución de los proyectos en las actividades propias de la industria petrolera.

Temario:

1. Introducción a la Gestión del Riesgo.

-
-
2. Planeación de la Gestión del Riesgo.
 3. Identificación del riesgo en proyectos.
 4. Análisis cualitativo del riesgo.
 5. Análisis cuantitativo del riesgo.
 6. Planeación de respuesta al riesgo.
 7. Control y monitoreo del riesgo.
 8. Análisis de decisión.
 9. Fundamentos en la gestión del riesgo.
 10. Simulación.
 11. Modelos de decisión multicriterio.
 12. Gestión del Riesgo en la industria petrolera.

Bibliografía Básica:

- Risk Analysis for Petroleum Exploration. Newendorp Paul, Schuyler John. 1era y 2da. Ediciones Planning Press.
- Risk Analysis and Management of Petroleum Exploration Ventures. Peter R. Rose. Ed. PennWell
- Economic Risk in Hydrocarbon Exploration. Ian Lerche and John A. MacKay. Ed. Academic Press (Elsevier).
- Computing Risk for Oil Prospects: Principles and Programs. J.W. Harbaugh, J.C. Davis, Chief and J. Wendebourg. Ed. Elsevier.

Bibliografía Complementaria:

- A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Project Management Institute. 3era. Edición.
- Quantitative Methods for Business. Anderson David, Sweeney, Williams.

Sugerencias Didácticas:

- Exposición oral.
- Exposición audiovisual.
- Ejercicios fuera del aula.
- Trabajos de investigación.
- Lecturas obligatorias.

Forma de Evaluar:

-
- Exámenes Parciales.
 - Exámenes Finales.
 - Trabajos y tareas fuera del aula.
 - Participación en clases.

El objetivo fundamental de la materia es que el alumno adquiera el conocimiento necesario para identificar y manejar los diferentes riesgos en la Industria Petrolera. El constante incremento en la complejidad de los procesos productivos y actividades en la explotación de hidrocarburos hace indispensable formar mejores profesionistas que tendrán los conocimientos y habilidades necesarias, además de la motivación profesional de seguir preparándose.

El estudio y capacitación en el área de Gestión del Riesgo se vuelve cada vez más importante en la mayoría de las actividades en la Industria Petrolera. Esta cultura de evaluación, en conjunción con la preparación académica profesional y un sentido de compromiso y responsabilidad son las herramientas ideales en el Ingeniero Petrolero actual. Este perfil profesional debe alcanzarse lo antes posible; la necesidad de la industria en obtener un mejor recurso y los retos futuros, debe formar parte de los objetivos fundamentales de cada carrera en la evaluación e implementación de iniciativas que puedan alcanzar estos objetivos. La capacidad de alcanzarlos, es el trabajo conjunto entre la Universidad, la Industria y mejores aspirantes, que formen un equipo competitivo, adaptado y profesional, teniendo por seguro un mejor desarrollo del país.

Además de la iniciativa de incluir esta importante materia en nuestro plan de estudios, existen diferentes estrategias de crecimiento intelectual y mejor educación en la carrera de Ingeniería Petrolera¹.

Con base en el estudio realizado en el Capítulo de Educación en Ingeniería Petrolera, existen alternativas importantes en la mejora de la Carrera de Ingeniería Petrolera. En el ámbito académico, se puede optar no solo por incluir la materia de Gestión del Riesgo en la Industria Petrolera, sino por construir un perfil con mayor profesionalismo y valor intelectual aplicable a toda la Carrera. En el Benchmarking de evaluación de planes de estudio, explicado en el primer tema, se menciona que se incluyen en la matriz de comparación, materias que no forman parte de nuestro plan de estudio,

pero por su importancia e impacto en la mayoría de los planes de estudio evaluados, nos genera un interés en adaptar y valorar su influencia en nuestro plan. Las materias de Investigación de Operaciones y Comunicación Técnica, representan dos excelentes propuestas que darán una mejor preparación y capacidad a los alumnos de la carrera. En primera instancia, Investigación de Operaciones incluye los conocimientos previos de técnicas, procesos y valoraciones de las actividades involucradas en la Gestión del Riesgo, y en consecuencia la Evaluación de Proyectos. La idea de incluirla en la carrera debe ser valorada en función de sus pros al perfil del egresado, otorgando una herramienta más a nuestra carpeta intelectual, creando así un mejor Ingeniero, con mayor capacidad de análisis. Y en segundo lugar, la materia de Comunicación Técnica, representa una mejor preparación profesional, ayudando a los estudiantes a adaptarse mejor al mundo real, impartiendo las bases en el desarrollo de habilidades de comunicación, trabajo en equipo y análisis crítico en la expresión de ideas técnicas y científicas, realizando una expresión más clara, concisa y directa, como debe ser la información técnica.

Los nuevos Ingenieros se sorprenden al descubrir la importancia de la escritura, lectura y presentación de trabajos técnicos-científicos. Esto permite mayor capacidad de resolución de problemas técnicos complejos, generando en el alumno el sentido de la investigación y con esfuerzo probablemente una vocación. Esta práctica desarrollará en el alumno la ética inherente en la Ingeniería Petrolera.

El incremento en la relación Universidad-Industria es necesario para generar mejores resultados entre las dos partes. La capacidad de apoyo de la industria con la universidad debe ser valorada en conjunto, con iniciativas, acuerdos y un mayor apoyo tanto académico como humano. La importancia de la aplicación tangible de las diferentes materias de Ingeniería Petrolera es evidente en la generación de mejores profesionistas que evaluarán en su futuro formar parte de la empresa que les dio la oportunidad de aprender más. Esta situación debe entenderse como una inversión a largo plazo que asegurará el relevo profesional necesario para la industria, y a la universidad, le dará mayor calidad y capacidad técnica en la educación de la carrera.

La importancia de generar programas académicos más competitivos en el mundo, presenta la necesidad de impulsar a los alumnos a buscar una mayor capacitación con el estudio de posgrados.

Esto además permite a la universidad crear lazos de investigación y preparación académica, ya que la mejor manera de conocer la calidad y efectividad de una universidad es con sus egresados. El impulsar a los alumnos de seguir su preparación académica con un posgrado, representa una oportunidad de establecer una relación más estrecha con las universidades, obteniendo un beneficio mutuo y a la larga, los vínculos necesarios para establecer las bases de un mejor cuerpo de investigación, mayor calidad y capacidad educativa, mejorando su posición y prestigio.

Las iniciativas anteriores forman parte de una estrategia educativa que ha funcionado en las principales universidades en el área de Ingeniería Petrolera en el mundo; la implementación de estos programas e iniciativas, representan una carrera más competitiva y de calidad, asegurando una mejor proyección tanto para la industria como para el país.

Conclusión

Como una recopilación del contenido de este trabajo, puedo expresar que el principal objetivo de esta investigación y trabajo de tesis es de establecer las bases necesarias, para invertir recursos educativos en la generación de mejores Ingenieros Petroleros en el Área de Evaluación de proyectos en Ingeniería Petrolera, debido a la creciente complejidad y retos de la Industria de Explotación de Hidrocarburos. La constante evaluación del plan de estudios es una importante herramienta en la actualización y la adaptación de los programas educativos de la facultad. Esta evaluación debe estar fundamentada en los nuevos retos de la industria y la capacitación necesaria en los egresados para afrontarlos.

Estos retos son parte de una nueva época en la Industria Petrolera, en donde la complejidad y riesgo implicado en los nuevos proyectos no se deben presentar como barreras o problemas, si no oportunidades de crecer y generar mejores estrategias de ejecución para con ello, desarrollar una industria más confiable, segura y con las bases para asegurar su desarrollo y de nuestro país.

Las bases planteadas, son las pautas necesarias que pueden asegurar una mejor preparación y aplicación de conocimientos dirigidos a una mejor ejecución de las actividades productivas de la Industria Petrolera. El factor fundamental es el fortalecimiento de recursos educativos para la identificación, evaluación y manejo del riesgo, que de una manera simple se puede definir como Gestión del Riesgo.

Los esfuerzos se deben concentrar en generar estudiantes con mejor preparación en Ingeniería Petrolera. Tanto la Industria como las universidades deben esforzarse en optimizar los recursos educativos, impartiendo los conocimientos necesarios para formar Ingenieros capaces de afrontar con éxito el constante riesgo de la industria.

Una mejor relación entre la Universidad y la Industria, traducido en la contribución de información de campo, experiencia y capacitación por parte de las compañías a los estudiantes de ingeniería petrolera, es un importante recurso para la educación en ingeniería petrolera, proporcionando una mejor perspectiva en los estudiantes y el conocimiento del negocio. El establecimiento de canales

de comunicación y relación entre la Universidad y la Industria, debe ser una prioridad en el orden de mejorar y optimizar los cursos de Ingeniería Petrolera. La importancia en la cooperación de las empresas con las universidades, es un factor fundamental en el futuro de la Industria.

Sin comprometer las ciencias exactas impartidas, siendo la base en la educación en ingeniería, se debe enfatizar de manera general, la impartición de cátedras con referencia a la parte económica global en la Industria Petrolera. Un Ingeniero Petrolero debe tener la capacidad y aptitud de analizar los proyectos en la industria, no solo desde un punto de vista técnico, si no de la perspectiva del riesgo y la evaluación económica. Además, las nociones de ética, salud, seguridad y protección ambiental, son esenciales en el criterio de un Ingeniero Petrolero.

El desarrollo de las capacidades, habilidades y aptitudes antes vistas, están basadas en la creciente necesidad tanto de la industria como las universidades en desempeñar con calidad, conciencia y éxito los propósitos y proyectos planteados. A pesar de lo complicado y difícil que puede ser la formación de estos profesionales, la cooperación e impulso que se le otorgue a este objetivo será el primer paso en la creación de un mejor desarrollo, asegurando el futuro de la Industria Petrolera en el mundo.

Referencias

- 1 CUNHA J C (2005). "Looking Ahead: Challenges for the Petroleum Engineering Education". Oil and Gas Business. University of Alberta, Edmonton, AB, Canada.
- 2 RASCÓN CHAVEZ O (2009). "Estado actual y perspectiva de la educación en Ingeniería en México". Coloquio de Especialidades de la Academia de Ingeniería de México. Guadalajara, México.
- 3 LLOYD P M (2003). "Petroleum Engineering Education and Training Initiatives across Asia Pacific". Artículo 84351. United Arabs Emirates and B.F. Ronalds. Society of Petroleum Engineers.
- 4 CAMACHO VELÁZQUEZ R, VÁSQUEZ CRUZ M, FUENTES CRUZ G (2009). "Espectativas de la Industria Petrolera con relación a los nuevos ingenieros". Jornadas Técnicas XXVI, AIPM.
- 5 NEWENDORP P, SCHUYLER J (2000). "Decision Analysis for Petroleum Exploration", Second Edition. Planning Press, USA.
- 6 BAILEY et al (2001). "Riesgos Medidos". Oilfield Review No. 4 pp 20-35.
- 7 CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE (1997). "CII Construction Industry Institute Research Summary Pre Project Planning Tools: PDRI and Alignment". The University of Texas at Austin.
CLAUDIA FLORES ALONSO (2006). "Definición inicial del proyecto (FEL), una mejor práctica para incrementar el desempeño en los proyectos". Facultad de Ingeniería UNAM. Tesis.
CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE (2011). "Data Analysis in Support of Front End Planning Implementation. The University of Texas at Austin.
- ICI INVESTMENT COMPANY INSTITUTE (2011). Investment Company Fact Book (Capítulo 5). www.icifactbook.org
- 8 YAÑEZ Y GÓMEZ (2006). "Análisis Probabilístico de Riesgo y Gerencia de la Incertidumbre en la Industria del Gas y del Petróleo. Capítulo III Gerencia de la Incertidumbre". R2M Reliability and Risk Management.

9 BRATVOLD (2002). "Would you Know a Good Decision if you Saw One?". Artículo 77509. San Antonio, Texas. Society of Petroleum Engineers.

10 PFEIFFER (1997). "Decision Analysis and Risk Analysis". Risk Analysis and Animal Health, International Training Course. Dübendorf, Switzerland, pp 861-877.

11 BRATVOLD (2006). "Education for the Real World: Equipping Petroleum Engineers To Manage Uncertainty". Artículo 84351. Society of Petroleum Engineers.

12 CUNHA J C (2007). "Importance of Economic and Risk Analysis on Today's Petroleum Engineering Education". Artículo 109638. University of Alberta. Society of Petroleum Engineers.

13 WALLS M (1998). "Corporate Risk Taking and Performance: A15-Year Look at the Oil Industry". Artículo 49181. Luisiana, EUA. Society of Petroleum Engineers.

14 RODRÍGUEZ NIETO RAFAEL, RODRÍGUEZ DE LA T M (2008). "Un Nuevo Modelo Educativo Basado en el Aprendizaje". México. Libro de 320 pp publicado a través del Proyecto PAPIME PE 101707 de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

15 RODRÍGUEZ NIETO RAFAEL, RODRÍGUEZ DE LA T M (2010). "La Calidad de los Egresados de una Carrera". Ponencia presentada en el Cuarto Foro Nacional de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, UNAM.