



El Plan de Abastecimiento para la Industria Petrolera

Alumno: Gabriel Calandra Checco

Tutor: Ignacio Aguirre

Año: 2016

Lugar: Ciudad Autónoma de Buenos Aires



Agradecimientos

A mi novia María Laura, por su paciencia, apoyo y acompañamiento en todo este proceso.

A mis amigos, se han solidarizado conmigo todo este tiempo, a pesar de mi evidente distanciamiento.

A mis compañeros de trabajo, por compromiso y sus numerosos aportes profesionales.

A Vanessa Welsh, por la constante asistencia y celeridad en sus respuestas.

A mi tutor, por la intensidad con la que trabajamos.

Al cuerpo docente y autoridades de la Escuela de Negocios de Universidad Di Tella, por darme la oportunidad de formar parte.



Resumen

En un contexto de crisis internacional en el precio del petróleo, las empresas productoras buscan lograr mayor eficiencia operativa para evitar que se reduzcan sustancialmente los márgenes de rentabilidad. El abastecimiento de bienes y servicios considerados estratégicos puede constituir una actividad costosa y a la vez de un elevado valor agregado, por ello se necesita una herramienta para gestionarlo.

A fin de demostrar cuál es la mejor herramienta para gestionar el abastecimiento de las necesidades estratégicas de la cadena de valor del E&P en Argentina, se presenta un marco teórico que describe qué actividades se llevan a cabo en dicha cadena de valor y que tipo de bienes y servicios califican como estratégicos. También se analizan los enfoques que puede adoptar la cadena de suministro a fin de ofrecer una mejor alternativa de soporte a la cadena de valor y de qué manera se puede anticipar a dichas necesidades. Asimismo, se relevan las herramientas disponibles para gestionar la demanda, y por consiguiente, el abastecimiento. Posteriormente, se evalúa la performance de dichas herramientas en términos de un único indicador, que traduce la eficiencia de la cadena de suministro y su impacto en la rentabilidad del negocio.

El paso siguiente consiste en relevar una herramienta basada en este concepto que esté actualmente en funcionamiento y corroborar que, a partir de su implementación, el abastecimiento de bienes y servicios estratégicos en la industria petrolera en Argentina puede ser gestionado de manera más eficiente. De esta manera, se utiliza la herramienta Plan de Abastecimiento implementada en la empresa Pan American Energy, objeto de estudio del trabajo de campo. Se describen las fases de implementación, partes intervinientes en la elaboración y la información que provee el plan. El rol del planificador y las medidas de performance de la herramienta, agrupadas en un Balance Scorecard. Finalmente se establece la comparativa entre las herramientas descriptas en el marco teórico y se presenta la conclusión del caso.

Palabras Clave: Industria Petrolera (E&P), Cadena de Suministro, Logística y Abastecimiento, Enfoque de empuje, Plan de Abastecimiento, Pronósticos de Demanda, Gestión de Inventarios, Plan de Requerimiento de Materiales, Plan Maestro de Producción, Planificación Conjunta.



Índice

Introducción	1
Capítulo 1 – Diagnóstico de la Situación Actual	6
Capítulo 2 - Desarrollo del marco teórico	10
La cadena de Valor de la Industria – Impacto de la Cadena de Suministro	10
Exploración	11
La Perforación	13
La terminación, el equipamiento	17
Producción de petróleo	18
La logística y abastecimiento y la cadena de suministro	22
Diseño estratégico de la cadena de suministro	23
Planificación de la cadena de suministro	24
Operación de la cadena de suministro	25
Organización y Procesos de la cadena de suministro	26
La estrategia de la cadena de suministro	27
Selección de opciones de abastecimiento	36
Capítulo 3 - Trabajo de Campo	57
Estructura organizacional de la cadena de suministro de PAE	57
La herramienta de gestión: El plan de abastecimiento	59
Lanzamiento del plan de largo plazo	61
Definición del plan de necesidades	61
Programa de requerimiento de materiales y servicios	62
El rol del planificador de la demanda	63
La medida de performance del plan de abastecimiento	64
Conclusiones	66
Bibliografía	69
Anexos	I
Anexo 1 - Descomposición de series de tiempo	I
Anexo 2 – Sistemas de Inventarios	V



Gráficos, Ilustraciones y Tablas

Gráfico 1 - Evolución en los precios del petróleo	6
Gráfico 2 - Demanda y Oferta Mundial de Petróleo y Derivados	7
Gráfico 3 - Cadena de valor de la industria y principales actividades relacionadas	10
Gráfico 4 - Enfoque de ciclo	26
Gráfico 5 - Enfoque mixto de la cadena de suministro	28
Gráfico 6 - Matriz de Kraljic	30
Gráfico 7 - Clasificación de cartera de bienes y servicios según Matriz de Kraljic	34
Gráfico 8 – Análisis de las 5 Fuerzas de Porter	36
Gráfico 9 - Estructura del MRP	48
Gráfico 10 - MRP: árbol de producto	49
Gráfico 11 - Estructura organizacional de la cadena de suministro de PAE	58
Gráfico 12 - Diseño e implementación del Plan de Abastecimiento de PAE	60
Gráfico 13 – Información del Plan de Abastecimiento de PAE	63
Ilustración 1 - Diseño básico de un equipo de perforación	14
Ilustración 2 - Entubado del pozo	16
Ilustración 3 - MRP y el nivel de inventario	54
Ilustración 4 - Modelo EOQ	V
Ilustración 5 - Definición de inventario óptimo	VI
Ilustración 6 - Modelo de revisión periódica	VIII
Ilustración 7 - Inventarios de Seguridad	IX
Ilustración 8 - Modelos de precio descontado	XI
Tabla 1 - Criterios para elaboración de la Matriz de Porter	35
Tabla 2 - Flexibilidad del Plan Maestro	53
Tabla 3 – Comparativa entre las tres herramientas	56
Tabla 4 - Balance Scorecard Plan de abastecimiento de PAE	65



Introducción

Durante muchos años, y principalmente en nuestro país, la industria productora de petróleo, también conocida como E&P (Exploración y Producción), se había enfocado en aumentar tanto sus niveles de reservas, como los niveles de producción, sin prestar demasiada atención a la eficiencia de los procesos productivos ni en aquellos que brindan soporte a la producción. Los elevados precios y los programas de incentivos a la producción, a través de beneficios arancelarios a los excedentes exportables fueron los principales motivos para buscar incrementar el número de barriles.

Sin embargo, desde hace unos años, el contexto internacional ya no es tan favorable. Los precios de los *commodities*, han retrocedido sustancialmente y el petróleo no fue la excepción. En este marco, se evidencia la necesidad de las empresas productoras de ser más eficientes. Los gerentes, en consecuencia no solo se enfocan en las actividades centrales, como la exploración, la producción y las operaciones, sino también en las actividades estratégicas de soporte que puedan brindar ventajas competitivas, entre ellas, la logística y el abastecimiento.

“La selección de una adecuada estrategia logística y de la cadena de suministros requiere algo del mismo proceso creativo necesario para desarrollar una adecuada estrategia corporativa. Los enfoques innovadores en la estrategia logística y de la cadena de suministros pueden representar una ventaja competitiva.” (Ballou, 2004, pág. 35).

Los enfoques innovadores están ligados precisamente a adoptar un rol proactivo en la administración de la cadena de suministro, a partir de la gestión eficiente de las funciones de logística y abastecimiento, lo que representa beneficios a nivel operativo y que puede traducirse en importantes ahorros para la organización. En tal sentido, se plantea el interrogante sobre qué herramientas pueden implementarse a nivel gestión del abastecimiento para lograr un mayor beneficio en la administración de la cadena de suministros y cuáles son los principales problemas que se deberían abordar.

Hoy, los principales desafíos surgen como consecuencia de la dinámica de la industria petrolera argentina, como el gran número de compras inmediatas que reducen la capacidad de negociación ante proveedores de gran envergadura, el incumplimiento de



los tiempos estipulados de entrega y problemas vinculados a estándares de calidad en bienes o servicios complejos. Para mitigar estos problemas, es necesario contar con una herramienta que aporte mayor previsibilidad en el abastecimiento en las necesidades de bienes y servicios que son clave para la operación. Es decir, conocer con anticipación qué se va a necesitar, qué cantidad y para cuándo, con el objetivo de proporcionar mayor margen de maniobra a todos aquellos que se encuentren involucrados en el proceso de logística y abastecimiento. Esto se traduce en decisiones más estratégicas, como la negociación de contratos, licitaciones o subastas, así como la implementación de métricas de performance del proveedor.

El presente trabajo de investigación se enfoca en demostrar que el plan de abastecimiento es la herramienta que mejor se adapta a la gestión de abastecimiento de bienes y servicios estratégicos para la operación en la industria E&P, por sobre otras alternativas de la cadena de suministro, como los pronósticos de demanda y la gestión de inventarios. A fin de validar estos conceptos, previamente se debe atender a los siguientes interrogantes:

- 1) ¿Cómo puede ser más eficiente la función de la cadena de suministro en un contexto de crisis de la industria petrolera?
- 2) ¿Cuáles son los procesos de la cadena de valor del negocio se ven afectados por la cadena de suministro y en qué nivel?
- 3) ¿Qué herramienta se adapta mejor a la dinámica de la industria?
- 4) ¿Cuáles son los beneficios que puede generarle al negocio?
- 5) ¿Qué se necesita para que funcione correctamente?
- 6) ¿Cómo se puede medir el impacto de esos beneficios?

Dada la problemática expuesta y los interrogantes planteados, se desarrolla la siguiente hipótesis:

El plan de abastecimiento es la mejor herramienta para gestionar la compra y contratación de bienes y servicios estratégicos necesarios en la cadena de valor de la industria de exploración y producción de petróleo en Argentina. Su correcta implementación tiene un impacto directo en la gestión, recursos y resultados del negocio.



A efectos de demostrar la hipótesis, el presente trabajo de investigación plantea los siguientes objetivos:

Objetivo General

- Demostrar que el plan de abastecimiento es la herramienta indicada para gestionar compras y contrataciones estratégicas en la industria E&P en Argentina.
- Complementar el plan de abastecimiento con herramientas de control de gestión para determinar el impacto de las mejoras en los costos operativos y el resultado del negocio.

Objetivos Específicos

- Relevar las diferentes herramientas de gestión de la cadena de abastecimiento y compararlas.
- Identificar cuál puede adaptarse mejor a las necesidades de la industria por sus características.
- Clasificar los bienes y servicios en la cadena de valor para determinar cuáles tienen carácter de estratégico.
- Describir el funcionamiento de la herramienta en PAE, su alcance y cómo se mide: indicadores de gestión destinados a medir la performance del proceso.

La reciente crisis en el precio mundial del petróleo tiene en jaque a toda la industria, en especial a las empresas productoras. Si esta situación se prolonga, muchas empresas pequeñas e ineficientes, incapaces de lograr economías de escala, corren riesgo de caer en quiebra o ser absorbidas por jugadores de mayor envergadura. Esto obliga a las empresas a optimizar su estructura de costos, de tal forma que la contribución marginal total no se vea afectada proporcionalmente a la caída del precio del barril. Para ello, es imperativo lograr mayor eficiencia en actividades centrales, como exploración, producción y operaciones, así como también en aquellas que son de soporte, entre ellas: la logística y el abastecimiento. Para mejorar estas actividades se debe investigar cuáles son las potenciales mejoras, e implementar procesos, recursos y herramientas, que permitan trasladar la eficiencia lograda a los costos.



A pesar que esta búsqueda de eficiencia en los procesos tiende a producirse en épocas de contracción de la industria, la implementación de una herramienta de planificación de abastecimiento y su correcto uso constituye la mejor opción a la hora de gestionar la cadena de suministro. Cuando la industria supere la crisis actual y se recuperen los niveles de precio del petróleo, el contar con esta herramienta podrá optimizar los márgenes de rentabilidad en forma exponencial. El presente trabajo se estructura de la siguiente manera:

Capítulo 1 – Diagnóstico de la situación actual

En este capítulo se describe el presente de la industria, desde un enfoque macroeconómico: precios, demanda y oferta mundial de crudo y derivados. Se analizan brevemente los principales motivos que desencadenaron la caída de precios a nivel internacional. Además se describe el programa que incentivó a las industrias en Argentina a incrementar los volúmenes, sin hacer foco en la eficiencia en las compras y contrataciones.

Capítulo 2 – Desarrollo del marco teórico

El marco teórico comienza con el análisis de la cadena de valor de la industria productora de hidrocarburos. Se describen sus actividades centrales y la incidencia de la cadena de suministro, supliendo cada necesidad surgente de cada actividad.

Luego se definen conceptos básicos como que es la logística y el abastecimiento, que es una cadena de suministro, que función cumple y como se estructuran sus etapas. También se desarrollan la organización y los procesos de la cadena de suministro. La necesidad de elevar la eficiencia en el abastecimiento requiere que la cadena de suministro adopte un rol más estratégico. Por lo que se explica qué funciones debe realizar la cadena de suministro para adquirir este rol: el enfoque de las actividades de empuje.

Se explica en que consiste un enfoque *empuje y tirón y de ciclo* y como se llega a un mix que permita optimizar el funcionamiento de muchas de las funciones de la cadena



de suministro. Dentro de las actividades de empuje se describen las actividades de segmentación, a partir del uso de la matriz de clasificación de Kraljic, el análisis de mercado, con el desarrollo de la matriz de Porter y la definición de las alternativas de abastecimiento para cada necesidad.

Por último, dentro de las alternativas de abastecimiento se describen:

- Las técnicas de pronóstico de demanda aplicables a la industria, estadísticas y determinísticas.
- Los sistemas de inventarios.
- El MRP, Plan de requerimiento de materiales.

Cuál de ellas se adapta de mejor manera a la matriz de necesidades de la industria petrolera en argentina. Finalmente se introduce un indicador único de eficiencia de la cadena de suministros que mide el impacto de las tres herramientas en la eficiencia y la rentabilidad, junto con una tabla comparativa para comparar las herramientas desde múltiples dimensiones.

Capítulo 3 – Trabajo de campo

El trabajo de campo explica el funcionamiento de la herramienta de planificación del abastecimiento en la empresa Pan American Energy (PAE).

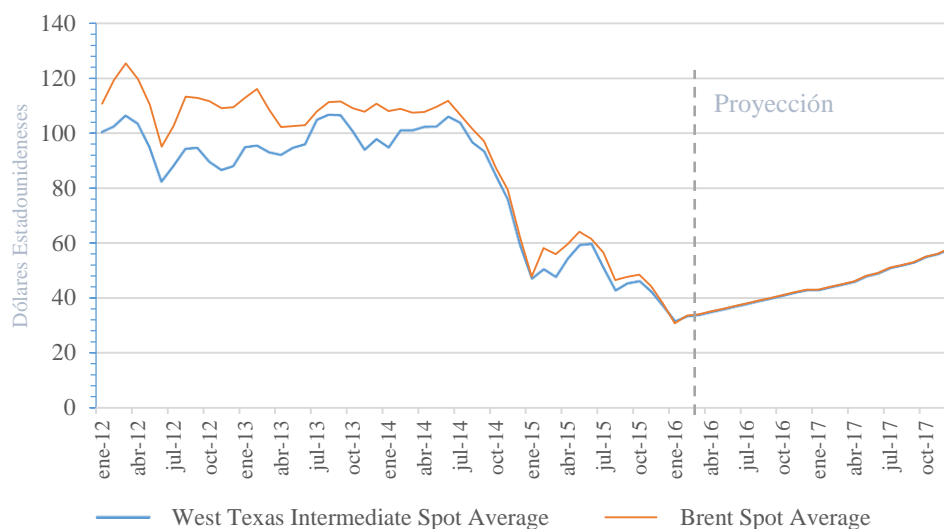
Primeramente se describe como se estructura la cadena de suministro de PAE para dar soporte a las necesidades resultantes de las decisiones operativas y de la definición del nivel de actividad. Luego se explica cómo se complementa con la planificación estratégica y operativa de la empresa y la información que necesita para trabajar. Cómo se articula para responder a cada eslabón de la cadena de valor del negocio, al cual debe darle soporte. Qué estrategias de abastecimiento se definen a partir de su uso y. finalmente, se desarrolla el set de indicadores de gestión que permiten medir la performance de la herramienta y su impacto en el negocio y en los costos logísticos. Se presenta un Balance Scorecard con un conjunto de métricas.



Capítulo 1 – Diagnóstico de la Situación Actual

El presente diagnóstico permitirá conocer desde un punto de vista macroeconómico, las características y condiciones en las que se encuentra la industria en la actualidad, en lo que respecta a la evolución de precios y la producción y demanda mundial de petróleo.

Gráfico 1 - Evolución en los precios del petróleo



Fuente: US Energy Information Administration – www.eia.gov

Por tratarse de una materia prima, el precio del petróleo está generalmente influenciado por los niveles de oferta y demanda a nivel global. Durante años, la escalada de precios estuvo ligada a los conflictos geopolíticos en oriente y por el crecimiento económico de China. Sin embargo, en los últimos dos años la industria ha sufrido una fuerte caída en los precios del crudo, por una serie de factores que han tenido influencia directa sobre la demanda y oferta. . A continuación se enumeran los más relevantes.

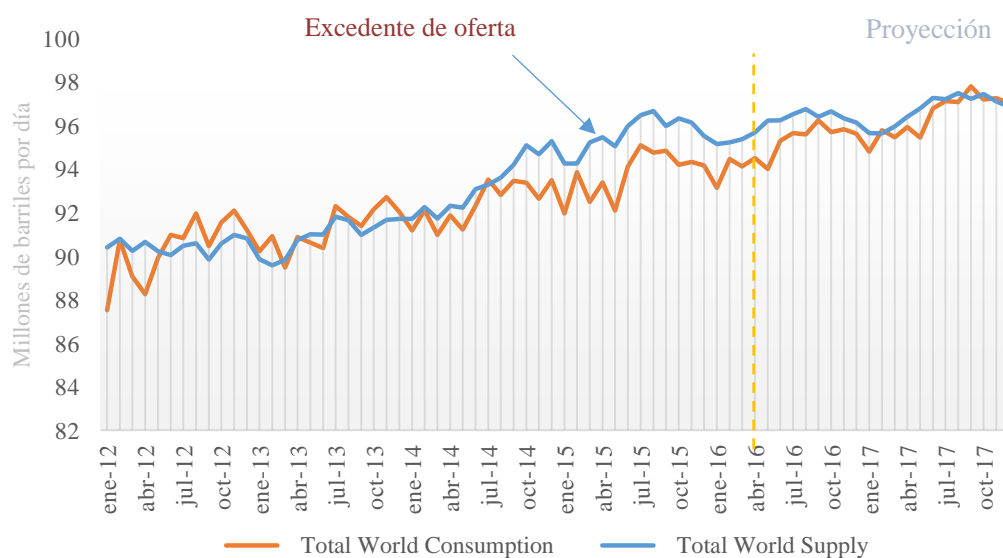
1. El rol de Estados Unidos en el aumento de la producción. A partir de la implementación de técnicas de extracción no convencionales, como la fracturación hidráulica, que permite el acceso a yacimientos anteriormente imposibles de explotar. Al principio, estas técnicas no estaban muy perfeccionadas y su uso era sustancialmente más costoso que los métodos convencionales. Pero estas técnicas se han ido perfeccionando, logrando una disminución del costo de extracción a la



mitad. Como consecuencia de estos aumentos en la producción, Estados Unidos ha disminuido sus importaciones de petróleo a un ritmo significativo.

2. Los productores árabes, en consecuencia pusieron el foco en el mercado asiático para ubicar su producto. Sin embargo, China ha frenado su vertiginoso crecimiento económico, y ya no demanda los mismos volúmenes de materias primas, razón por la cual la gran mayoría de los precios de materias primas alrededor del mundo han caído significativamente.
3. Los países de la OPEP no disminuyen los niveles de producción, para no perder cuota de mercado. Paralelamente muchas empresas perforan y mantienen los pozos no productivos, expectantes a la suba de la cotización. Como esto es de público conocimiento, se estima que esa disponibilidad puede ser inyectada en la oferta de un momento a otro. A continuación, se puede ver como en los últimos dos años la oferta ha superado los niveles de demanda, provocando evidentes excedentes.

Gráfico 2 - Demanda y Oferta Mundial de Petróleo y Derivados



Fuente: US Energy Information Administration – www.eia.gov

4. Otro factor a destacar es la baja incidencia de los conflictos geopolíticos, principalmente en Irak y Libia. Más allá de los enfrentamientos y crisis humanitarias



que se viven en estos Estados, el flujo de producción no se ha visto comprometido por la situación. Por lo tanto, lo que antes se consideraba una potencial amenaza para la oferta de crudo por parte de estas naciones, ya ha quedado descartada del mercado.

5. Mientras el petróleo superaba los USD 100.- por barril, muchos productores se vieron tentados a explorar zonas que anteriormente habían resultado poco atractivas, como las aguas profundas en las afueras de la costa de Brasil y África Occidental, que contaban con la ventaja de ubicarse lejos de potenciales conflictos geopolíticos. De esta forma, se lograron importantes descubrimientos que permitieron a países en vías de desarrollo aumentar sustancialmente sus niveles de producción de petróleo.
6. La caída de la demanda por parte de países industrializados, especialmente los europeos, cada vez más orientados a lograr la eficiencia energética, con el objetivo de disminuir los niveles de importación de hidrocarburos. De esta forma, se han implementado nuevas tecnologías para aprovechar de mejor manera el consumo de petróleo y gas, y su vez la generación de energías renovables. Adicionalmente, muchas naciones están comenzando a condicionar a industrias de capital intensivo a comprometer parte de su abastecimiento al uso de estas energías, por lo que en los próximos años, la demanda de hidrocarburos seguirá descendiendo, al menos para usos industriales.
7. La apreciación del Dólar, moneda en la cual se fija el precio de las materias primas a nivel mundial respecto del resto de las monedas del mundo. Esto se traduce en un precio del barril más caro en las monedas de origen del resto del mundo. Al aumentar el precio de referencia, la demanda baja y con ella, el precio.
8. El pacto nuclear entre Irán y el G6 puede reinsertar a este país en el mercado transaccional de materias primas, dejándolo en condiciones de inyectar unos 500 mil barriles de petróleo en Europa, número que puede alcanzar el millón en un lapso de un año, aumentando aún más la oferta disponible.

Existen dos motivos más pero por el momento son simples especulaciones, aunque no deben dejar de mencionarse:



9. Los permisos extendidos para perforar en el Ártico emitidos por Estados Unidos para que la petrolera Shell inicie labores de exploración y explotación en estas zonas. Si se comprueba la existencia de reservas de hidrocarburos muchos países que sostienen soberanía sobre esta zona aplicarán a permisos para comenzar a explotar. Eso incrementaría los niveles de oferta.
10. El levantamiento de la prohibición en Estados Unidos de exportar petróleo. Desde los años 70 el único Estado autorizado a exportar petróleo era Alaska. El incremento en la producción del último tiempo ha logrado eliminar esta restricción y la potencia americana ya comienza a intercambiar tipos de crudo con México para comenzar a enviar al mercado asiático.

En nuestro país, la pronunciada caída de los niveles de reservas y la caída en las inversiones que se reflejaba en la baja en el número de pozos exploratorios llevó al gobierno nacional a poner en vigencia en 2008 el plan “*Petroleó Plus*” y “*Refino Plus*”, que significaba beneficios que se otorgaban en certificados de crédito fiscal que podían utilizarse para el pago de derechos de exportación, llegando a significar un incremento hasta del 30% en el margen de rentabilidad de la producción exportable. Esto llevó a las empresas productoras con producción exportable a invertir en incrementar los volúmenes de producción, que acompañado por un barril a más de USD 100, hicieron que las productoras perdieran el foco en la productividad. Sin embargo, hoy el contexto es completamente diferente.

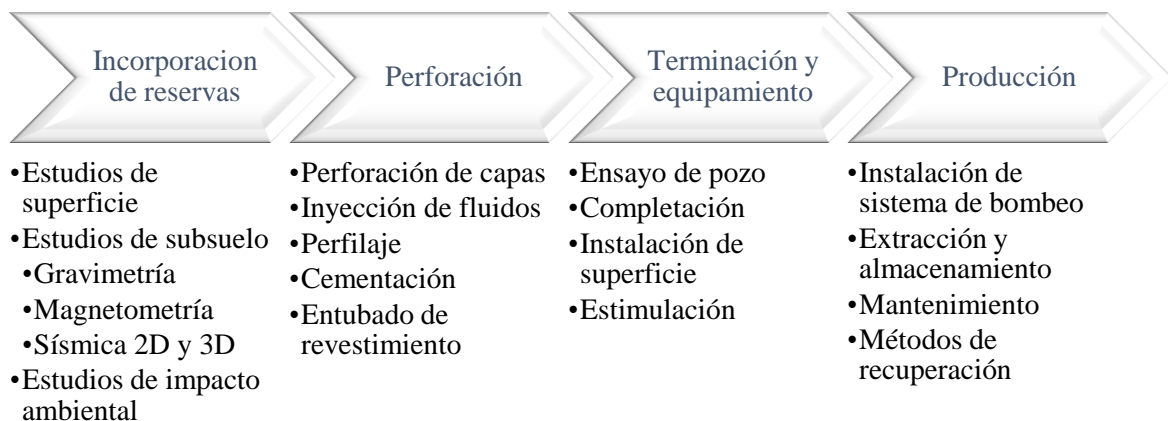
La reciente crisis en el precio mundial del petróleo tiene en jaque a toda la industria, en especial a las empresas productoras. Si esta situación se prolonga, como aseguran los pronósticos, las empresas pequeñas e ineficientes, incapaces de lograr economías de escala, corren riesgo de caer en quiebra o ser absorbidas por jugadores de mayor envergadura. Esto obliga a las empresas a optimizar su estructura de costos, de tal forma que la contribución marginal total no se vea afectada proporcionalmente a la caída del precio del barril. Para ello, es imperativo lograr mayor eficiencia en actividades centrales, como exploración, producción y operaciones, así como también en aquellas que son de soporte, entre ellas: la logística y el abastecimiento. Para mejorar estas actividades se debe investigar cuales son las potenciales mejoras e implementar a nivel procesos, recursos y herramientas, que permitan trasladar la eficiencia lograda a los costos.

Capítulo 2 - Desarrollo del marco teórico

La cadena de Valor de la Industria – Impacto de la Cadena de Suministro

La cadena de valor del E&P está dividida en 4 etapas: Primeramente, la incorporación de reservas, que consiste en la investigación del suelo para determinar la existencia de *yacimientos de hidrocarburos*¹. Luego se lleva a cabo la perforación de las diversas capas del suelo e instalación de la tubería de revestimiento y cementado, a fin de conectar la superficie con el yacimiento. Una vez realizado el pozo se procede a la terminación y equipamiento, que consiste en la instalación de un conjunto de cañerías y válvulas para garantizar la seguridad del pozo, junto con la definición de diferentes métodos de estimulación, para mejorar la productividad del mismo. Finalmente la producción, a partir de la instalación de diferentes mecanismos de bombeo según las características geográficas del mismo. Según el ciclo de vida del pozo y su historial productivo, en esta etapa se podrá también implementar algún método de recuperación artificial de producto.

Gráfico 3 - Cadena de valor de la industria y principales actividades relacionadas



Fuente: Elaboración propia

¹ Acumulación de hidrocarburos en una cuenca sedimentaria. “Una cuenca sedimentaria es una depresión de la corteza terrestre con tendencia a hundirse y donde se depositan las rocas sedimentarias. Las rocas sedimentarias son las únicas en las cuales se generan los hidrocarburos y también donde mayormente éstos se acumulan (existen algunos casos excepcionales, cuando las acumulaciones de petróleo y gas ocurren en rocas graníticas, volcánicas o metamórficas).” (IAPG, 2009, pág. 64)



La particularidad de la industria petrolera es que cada eslabón en la cadena de valor es fundamental para su desarrollo. Si una de las etapas no funcionare correctamente, todo el abastecimiento energético podría verse comprometido. Es por esta razón que la gestión logística y abastecimiento juega un rol crucial estratégico en toda la cadena de valor. A continuación se describen más en detalle las actividades principales que se desarrollan en E&P y dónde participa la administración de la cadena de suministro proveyendo bienes y servicios estratégicos para cada actividad.

Exploración

“Exploración es el término usado en la industria petrolera para designar la búsqueda o prospección de petróleo y/o gas”. Es una etapa que, de ser exitosa, concluye con el descubrimiento de un yacimiento de hidrocarburos” (IAPG, 2009, pág. 70).

La exploración petrolera consiste en una primera instancia en estudios del suelo, tanto el análisis de la superficie como los análisis de subsuelo, donde participan los especialistas en ciencias de la tierra. Los geólogos estudian aquellas formaciones rocosas que afloran en la superficie e infieren que por la arquitectura de estas rocas pudiere llegar a existir yacimientos de hidrocarburos, mientras que los geofísicos se concentran en el análisis de estudios más complejos, realizados a nivel subsuelo. Uno de los más conocidos, aunque no el único, es la sísmica de reflexión.

Este método permite obtener información del subsuelo mediante el control de llegada de pulsos generados por una estimulación energética, que puede realizarse mediante detonaciones de explosivos, impactos mecánicos o vibraciones de la superficie. Estas ondas, denominadas elásticas, son registradas en sismómetros. Estos sensores se disponen en línea recta sobre una determinada superficie para que registren las variaciones producidas por el contraste del tiempo que tardan en llegar las ondas desde el estímulo energético y la velocidad de las capas, permitiendo conocer la geometría de las capas afectadas por la emisión de ondas.

Se obtiene así una imagen en forma de grillado que puede ser en 2 o 3 dimensiones, dependiendo de la tecnología que se utilice, que revela la formación de las distintas



capas del subsuelo: cambios en las estructuras rocosas y a la profundidad que se encuentran. A partir de este estudio, los especialistas pueden inferir sobre la posibilidad de formación de “trampas” que puedan significar un yacimiento de hidrocarburos.

Existen otras técnicas geofísicas que se utilizan en la etapa de exploración:

La Gravimetría. Si bien esta técnica se utiliza para la búsqueda de minerales, puede también ser aprovechada para el análisis de probabilidad de existencia de yacimientos. Este método aprovecha las diferencias de la gravedad en distintos sectores. La gravitación normal promedio en la tierra es $9,80665 \text{ m/s}^2$. La existencia de grandes cuerpos mineralizados puede llegar a aumentar la gravitación en una región determinada porque rocas de mayor densidad aumentan la aceleración.

El método Gravimétrico consiste en la medición de la aceleración de gravedad sobre un terreno con el fin de detectar las variaciones de densidades en las unidades geológicas presentes en el subsuelo.

La magnetometría consiste en medir anomalías magnéticas en la superficie terrestre, que podrían ser producto de un yacimiento. Los yacimientos que contienen magnetita producen un campo magnético inducido, que con un magnetómetro se pueden detectar. Este instrumento mide las variaciones en el campo magnético terrestre, obteniendo ya sea medidas del valor total del campo magnético o del gradiente de dicho campo. Esas variaciones se pueden producir por la existencia de cuerpos susceptibles de ser magnetizados, contribuyendo a modificar el campo magnético terrestre en su entorno.

“La complejidad de los servicios de alta tecnología y la capacitación y especialización de un verdadero equipo multidisciplinario de exploración convierten a este primer escalón en la búsqueda de hidrocarburos en un área industrial extremadamente cara”. (IAPG, 2009, pág. 73).

Podemos asemejar a los estudios de superficie y subsuelo a una investigación de mercado. El mero hecho de realizarlos ya constituye un costo hundido. Es por esta razón que la cadena de suministro cumple un rol esencial en la contratación y coordinación de todos los elementos que constituyen el servicio de exploración del suelo. Una sísmica mal realizada o de baja calidad puede arrojar resultados erróneos, que se traducen en pérdidas de tiempo y dinero.



Por el contrario, si la exploración es exitosa, comienza la etapa de desarrollo de un yacimiento y evaluación de reservas, que puede involucrar varios años de trabajo y la inversión de importantes sumas de dinero. Por ende, la elaboración de la estrategia operativa de desarrollo coincide con la búsqueda de fuentes de financiación, generalmente a través de fuentes de gran envergadura, como la emisión de bonos, la obtención de préstamos sindicados o de instituciones internacionales.

Los estudios del suelo previamente descritos, son acompañados por la realización de pozos exploratorios. La mecánica es la misma que para un pozo productivo, solo que durante su realización, se toman muestras de varios tipos para su posterior estudio que determinarán ciertas condiciones de formación natural que permitirán a los ingenieros definir el tipo de tratamiento productivo que se le dará al pozo. Existen varias empresas que se dedican a este tipo de investigación. La contratación de un servicio de este tipo es muy importante, ya que los datos obtenidos pueden resultar en el ahorro de mucho dinero al definir la mejor estrategia de perforación y producción.

La exploración genera una relación estrecha entre el hombre y la naturaleza: tierra y ambiente. El equilibrio que existe entre el abastecimiento y el cuidado del medioambiente es muy difícil de lograr. Es por ello, que en todas las etapas de la cadena de valor del E&P, habrá especialistas dedicados a realizar estudios de impacto ambiental y cuidado de la naturaleza, con el objetivo de preservar el ambiente donde se realicen las actividades o mitigar los riesgos que estas provocan.

La Perforación

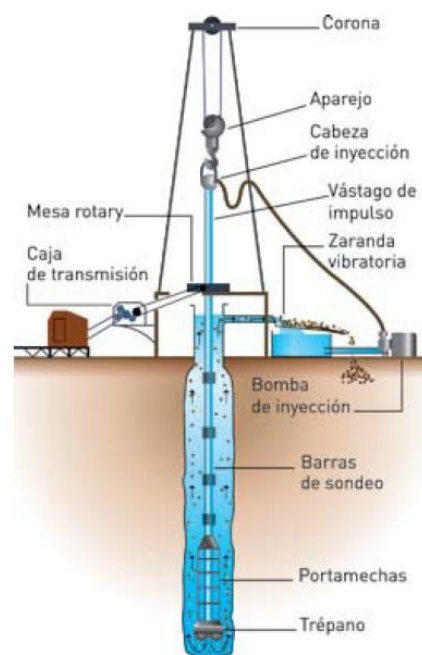
“La única forma de verificar la existencia de petróleo en el subsuelo, aún después de haber hecho todos los estudios para determinar su probable existencia, es realizar una perforación hasta el objetivo.” (IAPG, 2009, pág. 82).

La perforación es la actividad más costosa y significativa de la cadena de valor de la industria de hidrocarburos. Cada proyecto de perforación tiene un efecto cascada sobre muchas industrias complementarias: metalurgia, químicos, construcción y obras, servicios petroleros, logística y transporte, entre otros.

Hoy en día la perforación de pozos para petróleo y/o gas puede ser realizada en cualquier superficie: tierra o agua, como pantanos, lagos o mar. Cada una opera con diferentes tipos de equipos, apoyo y tecnologías.

Las empresas productoras, en su gran mayoría, contratan el servicio a empresas especializadas que proveen el equipamiento de perforación y los servicios esenciales asociados a la actividad principal, que son la terminación e instalación de superficie.

Ilustración 1 - Diseño básico de un equipo de perforación



Fuente: "El ABC de la Industria del Petróleo y Gas" del IAPG, 2009

El equipo de perforación está compuesto por una torre, un aparejo electromecánico y lo que se conoce como mesa rotativa que opera como transmisor de giro a la tubería, que viene dotada de un cable operado por un guinche que permite el bajado de la columna perforadora con sus respectivos tubos. Al final del cable de la columna se encuentra el portamechas con el elemento por excelencia para realizar la perforación: el trépano. Existen diversos formatos de trépano, desarrollados en función de características del suelo y propias del equipo.

Conjuntamente, se requiere el abastecimiento de materiales que complementan la operación del equipo, como bombas de lodo, dispositivos inyectoros, válvulas de



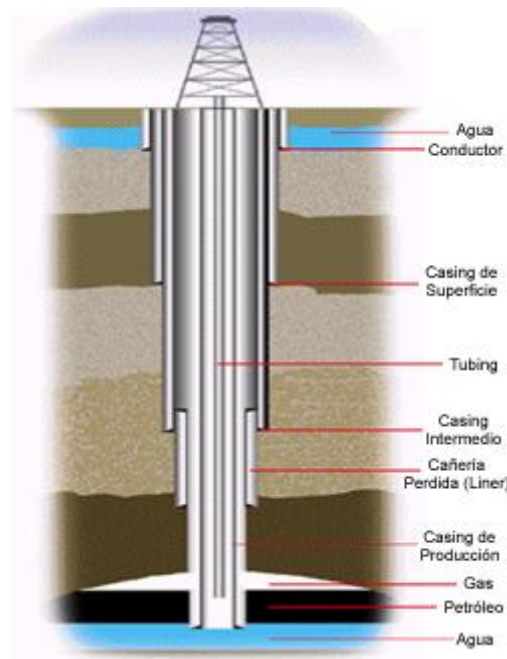
seguridad, generadores eléctricos y motores para el sistema de elevación. A todo el componente operacional se le suman equipos de transmisión satelital de los parámetros y las maniobras de perforación durante las 24 horas. Finalmente, cuando la operación exige varios días de trabajo, junto a la torre se montan las casillas de alojamiento para el personal técnico, depósito, laboratorio, etc., formando así una unidad operativa autosuficiente.

Otro elemento clave en el proceso de perforación son los fluidos, conocidos también como inyección o lodo. “La selección del fluido a utilizar y sus aditivos está condicionada a las características del terreno a perforar, profundidad final, disponibilidad, costos, cuidado del medio, etc.” (IAPG, 2009, pág. 86).

Su función es la de mantener frío y limpio el trépano, liberar la zona de los recortes producidos por éste, manteniéndolos en suspensión y evitando que estos decanten dentro del pozo si por algún motivo se detuviera la inyección. Además, por su composición, viscosidad, densidad y contenido de material *obturante*, el fluido sirve para mantener la estabilidad de las paredes del pozo, evitar el filtrado del agua y prevenir la contaminación. Para la preparación del fluido se necesita el abastecimiento de elementos pulverulentos, líquidos y gaseosos, pasando por agua, dulce o salada; *gelificantes, fluidificantes, tensoactivos y antiespumantes*. Los hidrocarburos (petróleo, gasoil, diésel) se utilizan en distintas proporciones con agua o 100% hidrocarburo; aire, gas o aireada.

La mayoría de los pozos requieren una forma de prevenir el colapso de la formación de manera que pueda continuar la perforación. La inyección de fluido funciona hasta cierto punto, luego debe bajarse la tubería de revestimiento y cementarse para estabilizar la pared del pozo. Existen varias etapas de revestimiento con tuberías, la primera y más cercana al diámetro del pozo es el revestimiento de seguridad, que se realiza para evitar el desmoronamiento de las primeras capas del suelo. El segundo revestimiento se conoce como el de superficie, es más profundo y se realiza para proteger las zonas de agua dulce. El siguiente revestimiento es el intermedio, su función es aislar formaciones que podrían fracturarse y producir pérdidas de circulación. El último revestimiento que se realiza se denomina de producción. Es el más profundo de todos y su función es impedir que los hidrocarburos migren desde las zonas productivas hacia otras formaciones.

Ilustración 2 - Entubado del pozo



Fuente: "El ABC de la Industria del Petróleo y Gas" del IAPG, 2009.

Cada revestimiento hace que el diámetro del pozo sea cada vez más pequeño, generando así un perfil telescópico. Para llevar a cabo el revestimiento y entubado se utilizan tubos de diferente largo y diámetro, por lo que es de vital importancia contar con todas las medidas necesarias para operar en el pozo, evitando demoras o paradas de obra.

Existen dos grandes grupos diferentes de equipos de perforación: aquellos que son para operar en tierra y los que se utilizan para costa afuera. Dentro del primer grupo, están los que se transportan íntegramente mediante camiones (convencionales) y los que están diseñados en estructura y peso especialmente para ser transportados vía helicóptero.

Respecto de los equipos marinos, hay mucha más variedad que se adapta al tipo de superficie y profundidades donde van a operar. Para pantanos, lagunas o lagos se utilizan barcasas o plataformas flotantes mientras que para operar en el mar existen plataformas autoelevadoras, semisumergibles, plataformas fijas, prefabricadas y barcos de perforación.



Los equipos diseñados para operar costa afuera requieren herramientas especiales para ser instalados y requieren una logística mucho más compleja, por su ubicación y por lo tanto mucho más costosa.

La participación de la cadena de suministro es crítica en las actividades de perforación, mucho más que en cualquier otro eslabón de toda la industria. Muchos de los elementos utilizados en la perforación son auxiliares al montaje del equipo que generalmente las empresas petroleras subcontratan como servicio de perforación. La falta de un mero componente puede resultar en un altísimo costo de ociosidad, por la pérdida de operatividad de la torre completa.

La terminación, el equipamiento

Una vez que concluye la perforación, se desmonta el equipo y se realizan las tareas conocidas como terminación y reequipamiento del pozo. Primeramente se produce el ensayo del pozo y posteriormente se realiza la puesta en marcha del mismo. Para ello se utiliza una unidad especial similar al equipo de perforación pero con menor potencia, ya que opera sobre el pozo ya entubado. Dicha unidad contiene un mecanismo de pistoneo que permite extraer el fluido que contiene el pozo.

Las tareas que implica la terminación aumentarán en complejidad según las características del yacimiento: profundidad, presión, temperatura, complejidad geológica, etc. Además de requerimientos propios de la ingeniería de producción. Las actividades de terminación iniciales consisten en:

- Montaje del equipo de terminación
- Limpieza del pozo
- Acondicionamiento del fluido de terminación
- Localización de estratos productivos mediante perfiles a pozo entubado
- Posicionamiento de las cuplas de la cañería de entubación
- Comprobación de la calidad del cementado de la cañería y formación
- Punzamiento y perforación de la tubería de revestimiento mediante el uso de cañones con cargas moldeadas



- Determinación de los volúmenes de fluido que aporta cada estrato y calidad de los mismos, mediante el pistoneo por el interior de la cañería de producción.
- Determinación de la presión del estrato para definir si se deben instalar sistemas artificiales de extracción.
- Verificación de existencia de capas sin aislación suficiente. Corrección por cementación complementaria.

En caso de verificarse capas con diferentes propiedades se puede definir a una terminación de tipo múltiple, con dos cañerías de producción, siempre que se haya definido en la programación de la geometría del pozo. En caso de realizarse este tipo de terminación, no solo harán falta empaquetadores especiales, sino también cabezales de boca de pozo.

La última etapa de la terminación del pozo es la estimulación del mismo. Muchas veces por naturaleza del pozo o por daño producido por la inyección de fluidos o la cementación, el pozo pierde productividad y necesita ser sometido a un procedimiento que la eleve. Los más comúnmente utilizados son *la acidificación* y *la fracturación física*².

Para esta actividad se utilizan diferentes tipos de agentes. El más común es la arena de fractura, una arena de determinada granulometría mejorada para lograr cierta permeabilidad, necesaria para facilitar el flujo desde la formación del pozo a través de la fractura producida.

Producción de petróleo

Una vez finalizada la terminación del pozo, éste ya está listo para comenzar a producir. Existen muy pocos pozos en nuestro país con surgencia natural, es decir, que por

² “*La acidificación consiste en la inyección o presión de soluciones ácidas que penetran en la formación a través de los punzados, disolviendo los elementos sólidos que perturban el flujo de los fluidos. La fracturación hidráulica consiste en inducir la fracturación de la formación mediante el bombeo a gran caudal y presión de un fluido que penetra profundamente en la formación, provocando su ruptura y llenando simultáneamente la fractura producida con un sólido que actúa como agente de sostén*”. (IAPG, 2009, pág. 100).



características propias el pozo tenga la presión suficiente como para que el hidrocarburo ascienda por sí solo, sin asistencia de ningún otro mecanismo. Por esta razón es necesario recurrir a procedimientos de extracción artificial.

La primera etapa de la explotación del yacimiento consiste en el tendido de caños que va por dentro de la tubería de revestimiento. Ya sea para pozos con surgencia propia o asistida el tendido es el mismo. La tubería de producción se conoce comúnmente como “*tubing*” y está formado por caños de alrededor de 10 metros de largo que se unen por una rosca y cupla y con diámetros variables dependiendo el volumen de producción y el tamaño propio del pozo. Cuando no exista presión suficiente y deba recurrirse a los mecanismos artificiales, podrá optarse entre varias alternativas, como el bombeo mecánico el bombeo hidráulico, extracción con gas, Bomba centrífuga y motor eléctrico sumergible y bomba de cavidad progresiva.

El método más utilizado en nuestro país y en todo el mundo es el bombeo mecánico, que consiste en la instalación de una bomba en el fondo de la tubería de producción que se acciona mediante un set de varillas conectadas a un sistema de bombeo. Estas bombas consisten esencialmente de un pistón dentro de un barril con válvulas de entrada y salida de fluido, y pueden ser de acción simple o de acción doble, ya sea para bombeo mecánico o hidráulico, respectivamente. Por otra parte, el sistema de bombeo se compone de un balancín que es impulsado por un sistema de biela – manivela, conectado a una caja reductora y un motor, que puede ser eléctrico o de combustión interna. Producto del accionar del motor el balancín realiza el movimiento de vaivén haciendo que las varillas se muevan y activen el pistón dentro de la bomba de subsuelo, generando así la succión del hidrocarburo.

El bombeo hidráulico no es tan común en Argentina, si bien el sistema es similar al anterior, la única diferencia que presenta es el tipo de bomba que se utiliza en el fondo, que es accionada mediante un sistema hidráulico, accionado desde una estación satélite.

La extracción mediante la inyección de gas es otro método artificial, la presión que este ejerce sobre varios sitios de la tubería hace que el petróleo se aliviane y suba. Se utilizan válvulas reguladoras que abren cierran el gas automáticamente, según la presión registrada.



El sistema de extracción mediante el pistón accionado a gas se utiliza generalmente en pozos de poca productividad. El pistón funciona con el gas que produce el propio pozo, trayendo a la superficie el petróleo que carga entre viaje y viaje.

Para pozos con buena productividad, un sistema que permite el bombeo de grandes cantidades de fluido es el de bomba centrífuga y motor eléctrico sumergible. Este sistema se baja en el pozo por una tubería especial, que lleva el cable que permite alimentar al motor. La bomba tiene varias paletas montadas axialmente en un eje vertical.

Finalmente, el otro sistema usado es el BCP, es una bomba de desplazamiento positivo compuesta por un rotor metálico móvil y una fase estacionaria (estator) que está recubierto internamente por elastómero de forma de doble hélice. Al accionarse la bomba, el movimiento entre el rotor y el estator crea cavidades progresivas donde se desplaza el fluido. Este tipo de bombas se caracteriza por operar a baja velocidades y permitir manejar volúmenes de gas, sólidos en suspensión y cortes de agua.

Instalaciones de superficie

La instalación de superficie involucra la conexión de la extremidad ubicada en la superficie, comúnmente llamada “boca de pozo” con las tuberías de subsuelo. Los componentes principales de la instalación de superficie son el colgador de cañerías y el puente de producción. Todas las cañerías utilizadas en el pozo deben estar equipadas con el colgador, que se enrosca en el extremo superior de la cañería y se adapta para soportar las caños de menor diámetro.

También se hace un tendido de cañerías enterrado, que se utilizan como conducción de los fluidos producidos por el pozo hacia las estaciones colectoras. Estas cañerías pueden ser de acero o de PVC reforzado con fibra de vidrio, ya que resisten la corrosión. Una vez en la batería los fluidos se dividen en tres y se transfieren a las distintas plantas de tratamiento, donde gas y petróleo son tratados para su comercialización, mientras que el agua es reacondicionada para su reinyección en el subsuelo. En la batería también se realizan las mediciones sobre la producción de cada pozo en determinados períodos.



Sistemas de recuperación

Cuando la surgencia de un pozo activo no fuere lo suficientemente eficaz, se puede recurrir a mecanismos de recuperación de hidrocarburos y su movimiento mientras estos permanecen en el reservorio. A tal efecto, se puede hablar de tres métodos de recuperación de petróleo.

- La recuperación primaria se basa en el empuje natural del hidrocarburo, impulsado por la presión que ejercen el gas y el agua que existe en el propio yacimiento, también se clasifican dentro de este método a la extracción mediante el uso de una bomba succionadora.
- La recuperación secundaria se logra a partir de la inyección artificial de gas o agua para lograr los niveles óptimos de presión que permitan al yacimiento producir las cantidades pretendidas de hidrocarburos. El agua y el gas utilizado puede ser obtenido del propio yacimiento o de reservas cercanas.
- La recuperación terciaria está ligada al uso de otros componentes, la inyección de dióxido de carbono, solventes o polímeros. Además puede aplicarse el método de inyección de vapor (cíclica o continua) o la combustión in situ. Estas técnicas solo aplican cuando el precio del petróleo está lo suficientemente alto como para asegurar rentabilidad a pesar de su uso, dado que son costosas y requieren inversiones considerables.

Hasta aquí se han analizado las principales actividades de la cadena de valor de la industria E&P, junto con las necesidades que surgen producto de su realización. Es de vital importancia que la cadena de suministro esté involucrada en cada uno de estos eslabones, a fin de dar el soporte que la operación requiere. Es por este motivo, que la cadena de suministro debe adoptar un rol lo suficientemente proactivo como para lograr la eficiencia que la industria requiere en un presente de contracción de márgenes de rentabilidad. A continuación se explicará en detalle las funciones de la cadena de suministro y el enfoque que debe adoptar para mejorar su capacidad de respuesta, a la vez que reduce los costos operativos.



La logística y abastecimiento y la cadena de suministro

“La logística es la parte del proceso de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficientes y efectivos de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes.” (Ballou, 2004, pág. 4).

Generalmente se suele pensar al cliente como un tercero, ajeno a la empresa, que lo único que desea es adquirir un bien o servicio que esta produce. Sin embargo, el cliente puede provenir desde dentro de la organización. Un integrante de áreas productivas que debe adquirir un bien o servicio necesario para llevar a cabo una actividad vinculada al desarrollo del negocio, constituye un cliente interno. En este sentido, la misión de la cadena de suministro es precisamente proveer los bienes y servicios necesarios para satisfacer las necesidades, en este caso, de las áreas productivas de la organización.

“Una cadena de suministro está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente. La cadena de suministro incluye no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a los transportistas, almacenistas, vendedores al detalle e incluso a los mismos clientes.” (Chopra & Meindl, 2008, pág. 3)

El éxito de una compañía reside en maximizar el valor para el accionista, es decir, generar mayor rentabilidad a la inversión que realizan sus dueños. Si cada sector de una organización, a partir de las actividades que realiza, contribuye a generar valor para el accionista, ya sea generando mayores ingresos o reduciendo costos, estará contribuyendo al éxito de la organización.

La cadena de suministro, en consecuencia, maximiza el valor para el accionista desde la eficiencia en sus actividades. Es decir, realizando la planificación, gestión y control de flujo de materiales y servicios con el objetivo de satisfacer las necesidades del cliente, al menor costo que sea posible. Por lo tanto, una exitosa administración de la cadena de



suministro requiere la tomar de muchas decisiones respecto del flujo de información, materiales, contrataciones y fuentes de financiación.

Dependiendo del momento en que se toman, el nivel de incertidumbre que manejan y el impacto que generan en la organización, la estructura de la cadena de suministro de puede clasificar en tres fases diferentes: Diseño estratégico, Planificación y Operación.

Diseño estratégico de la cadena de suministro

Durante esta fase la compañía define como será la estructura de su cadena de suministro por los próximos años. Es decir, que esta etapa es la que más se alinea con la planificación estratégica de largo plazo. En lo que respecta al negocio del E&P, dadas las condiciones actuales de mercado y los pronósticos en términos de precios para los próximos años, las empresas productoras comienzan a definir cómo serán distribuidos los recursos actuales y los procesos que se llevarán a cabo en cada eslabón de la cadena de valor del negocio. Las decisiones estratégicas de negocio están vinculadas a las locaciones en las que se desarrollarán en la incorporación de reservas, la cantidad de pozos que se van a perforar por locación, la cantidad de equipos de perforación que se subirán en consecuencia y cuantas cabezas de pozo se van a instalar, Una vez realizados los pozos, los estudios de los mismos revelarán las estrategias operativas en función de que producirá cada uno y de qué forma. Es decir, si solo gas, o gas y petróleo y cómo será el sistema de bombeo, por ejemplo si lo harán mediante sistema mecánico o electro sumergible.

En esta etapa de diseño, las empresas generalmente definen estrategias de ubicación de planta. En lo que refiere al E&P, la elección de la ubicación de una planta no es decisión exclusiva del top management, sino que resulta como consecuencia de las condiciones de un yacimiento de hidrocarburos y del análisis de la inversión que significará ponerlo a producir. En este tipo de negocios extractivos “la fábrica siempre cambia de lugar” y tanto los gerentes de producción y desarrollo como los encargados de la cadena de suministro deberán elaborar sus estrategias con este condicionamiento.



La etapa de diseño define de esta forma, la estrategia de compra y almacenaje de materiales, contrataciones de servicios y los medios de transporte y rutas disponibles, así como los sistemas de flujo de información que harán falta para cumplir con las necesidades surgentes de cada actividad.

Planificación de la cadena de suministro

Esta fase tiene un horizonte de tiempo más corto, generalmente de tres meses a un año, y se encuentra condicionada por los lineamientos definidos en la etapa de diseño. Eso quiere decir que las decisiones que se toman en esta etapa tienen menos incertidumbre que la anterior pero requieren mayor capacidad de reacción ante la dinámica del negocio. Con esta configuración, la cadena de suministro buscará generar valor para la empresa desde la perspectiva de sus propias funciones. A partir de los recursos con los que cuenta: instalaciones, red de transporte, fuerza laboral y poder de negociación frente al mercado, buscará satisfacer la demanda de sus clientes de la manera más eficiente posible.

Como se mencionó anteriormente, las necesidades que cubre la cadena de suministro en la industria del E&P son las del cliente interno. Principalmente la de aquellos clientes vinculados a la operación en sus diferentes etapas. Eso significa que existen muchas variables posteriores a la decisión de perforar un determinado número de pozos en una determinada locación que hacen a la incertidumbre de la demanda, en lo que respecta a la contratación de servicios y a las compras de materiales específicos para las diferentes actividades. Por esta razón, cuanto más certera sea la información que reciba la cadena de suministro respecto de las decisiones operativas, mayor capacidad de reacción podrá aportar a las necesidades de sus clientes.

Es normal que en la etapa de planeación la cadena de suministro defina un grupo de políticas y procedimientos que gobernarán las operaciones de corto plazo. Sin embargo, los precios actuales del crudo obligan a las empresas productoras a rever sus estrategias operativas, agregando más niveles de incertidumbre a la cadena de suministro, posponiendo en algunos casos ciertas operaciones o simplemente acortando la brecha de tiempo entre planificación y operación.



Operación de la cadena de suministro

Esta fase tiene un horizonte de tiempo semanal o diario y evidencia la capacidad de respuesta de la cadena de suministro ante necesidades no planificadas por parte de los sectores operativos. Aquí es donde se ve que tan eficiente y creativo fue el desarrollo de las etapas de diseño y planificación, a fin de cumplir con la demanda del cliente.

En la etapa de operación se gestiona principalmente la distribución del inventario y las decisiones en cuanto a transporte, junto con la determinación de los costos asociados a aumentar la capacidad de respuesta ante urgencias. Si en las etapas de diseño y planificación se contemplaron las posibles contingencias que pudieren surgir en la operatoria diaria, la cadena de suministro podrá responder con más eficiencia ante eventuales cambios bruscos en la demanda. Caso contrario, se podrían generar elevados costos de adquisición y transporte por tratarse de compras inmediatas.

En la industria del E&P, muchas las decisiones operativas que se toman son sin previa planificación, y muchas organizaciones tienen poca capacidad de reacción debido a procesos burocráticos. Además, las necesidades surgentes implican la compra de materiales de alta especificación técnica y elevados precios. Contar con un stock de estos elementos eleva en gran medida los costos de mantenimiento de inventario. A eso se le suma que muchas veces se adoptan determinadas prácticas en la operación que deciden el curso de la actividad hacia otro rumbo, haciendo que determinados materiales no se necesiten más y en cambio haga falta comprar otra cosa. Contar con información de antemano sobre eventuales cambios en la etapa de planificación, puede dar a la cadena de suministro más de capacidad de maniobra ante estos imprevistos. Como por ejemplo, suscribir un contrato de abastecimiento con un proveedor que prevea eventuales cambios de piezas por otras que quedarán en desuso a un menor costo.

Organización y Procesos de la cadena de suministro

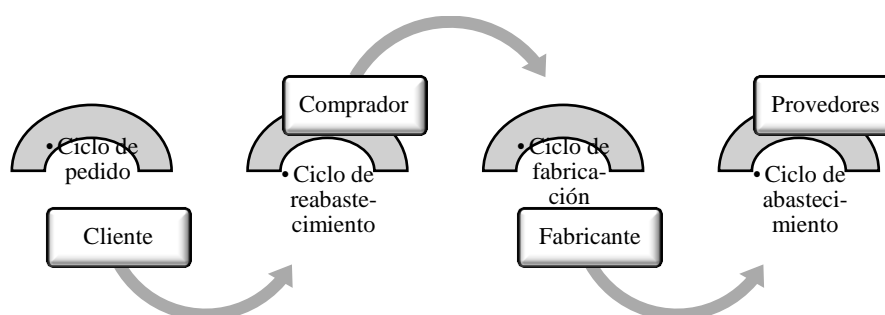
“Una cadena de suministro es una secuencia de procesos y flujos que tienen lugar dentro y entre diferentes etapas y se combinan para satisfacer la necesidad que tiene el cliente de un producto” (Chopra & Meindl, 2008, pág. 10)

La cadena de suministro se organiza en sus actividades para dar respuesta a la estrategia de la compañía. Los procesos que se llevan a cabo dentro de la cadena de suministro pueden tener dos enfoques: los de ciclo o los de empuje y tirón.

El enfoque de ciclo: consiste en dividir y clasificar los procesos por etapas: pedido del cliente, reabastecimiento, fabricación y abasto. Cada una de ellas sucede entre dos eslabones de la cadena de suministro. En el caso del E&P, podemos clasificar en ciclos a toda la evolución de un pozo: desde su confección, hasta su producción. Visto desde un punto de vista productivo más acotado, el enfoque puede ilustrar el ciclo de fabricación de una máquina de altas especificaciones técnicas, como por ejemplo un turbogenerador eléctrico.

El cliente coloca la orden de pedido al departamento de compras y se activa el ciclo de abastecimiento del producto en el cual el comprador envía las especificaciones a los proveedores con el objetivo de licitar la construcción de un determinado producto. Una vez ganada la licitación comienza el ciclo de fabricación por parte del proveedor, quien a su vez activa el ciclo de abasto cuando conecta a sus propios proveedores.

Gráfico 4 - Enfoque de ciclo



Fuente “Administración de la cadena de suministros” Chopra y Miendl, 2008



Conforme avanza el pedido por todos los ciclos, la incertidumbre sobre la demanda se reduce, pero se incrementa la incertidumbre sobre los tiempos de respuesta, que quedan suscriptos a la capacidad del proveedor. La particularidad de los enfoques de ciclo es que no pueden saltarse las etapas del abastecimiento, aunque incrementar el flujo de información entre las partes intervinientes sí puede contribuir a agilizar el proceso de abastecimiento.

El enfoque de empuje / tirón: tiene que ver con el momento en que empiezan a llevarse a cabo los procesos de abastecimiento. Los procesos de tirón suceden en línea con los procesos mencionados en el enfoque de ciclo, es decir, se activan a partir de que se produce el pedido por parte del cliente. Este esquema cuenta con certidumbre respecto de la demanda, constituyendo así un proceso reactivo.

Por otra parte, los procesos de empuje comienzan antes de que llegue el pedido del cliente, por lo que se desconoce que se va a demandar y debe realizarse un pronóstico, o articular una estrategia. El hecho de anticiparse a partir de una acción especulativa como un pronóstico le da al proceso de empuje la condición de proactivo.

En la industria del E&P en nuestro país, históricamente los enfoques de organización de la cadena de suministro se han caracterizado por ser de tirón. Los departamentos de logística y contrataciones reaccionan ante la carga de un pedido por parte de las áreas operativas y comienzan con sus actividades, alineadas a los procedimientos de compras y contrataciones. Esto da a la cadena de suministro un carácter de sector meramente de soporte. Realizar actividades en forma proactiva, tal cual se llevan a cabo con el enfoque de empuje, le dan a la cadena de suministro un carácter de estratégico, ya que contar con capacidad anticipada de respuesta permite mejorar los plazos de planificación y gestión, y así agregar mayor valor a la cadena de suministro.

La estrategia de la cadena de suministro

Anteriormente se mencionó que para que la cadena de suministro pudiera cumplir un rol estratégico debería alinear su estrategia con la estrategia competitiva de la empresa.

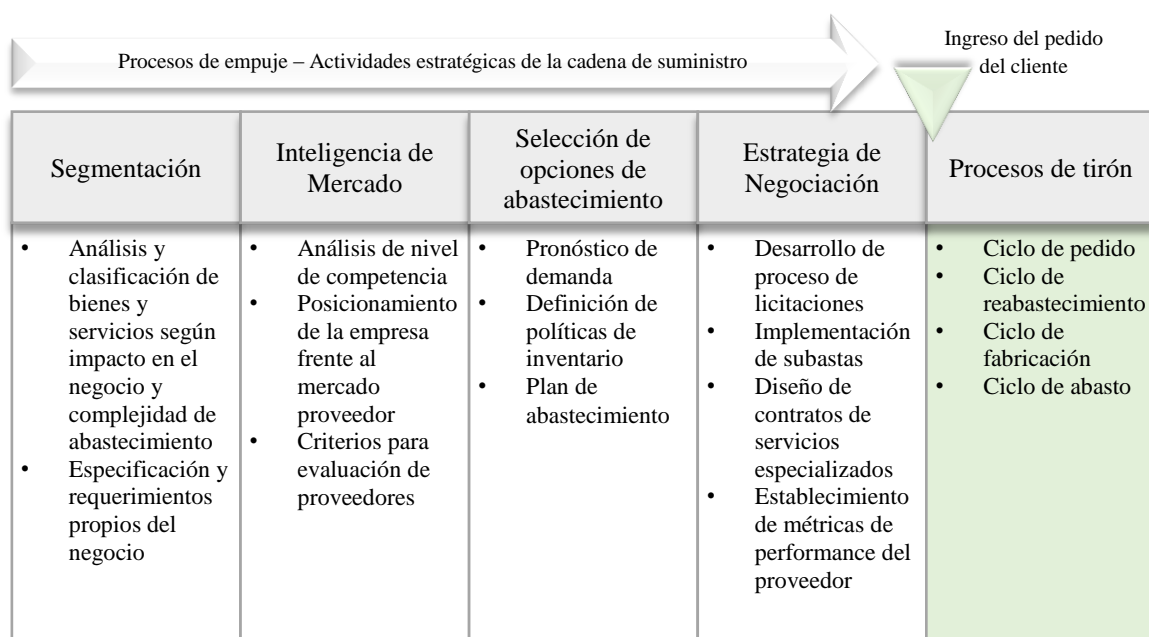


“La cadena de valor enfatiza la estrecha relación entre las estrategias funcionales dentro de la compañía. Cada función es crucial para que la compañía satisfaga las necesidades del cliente de manera rentable. Por tanto, las diversas estrategias funcionales no pueden formularse en forma aislada, ya que están estrechamente entrelazadas y deben ajustarse y apoyarse la una a la otra para que la compañía tenga éxito”. (Chopra & Meindl, 2008, pág. 24)

La estrategia de la cadena de suministro de la industria del E&P se enfoca en la obtención de los materiales necesarios para la operación, contratación de servicios específicos, transporte de cargas y definición de rutas, instalaciones y servicios de soporte, mantenimientos, subcontrataciones, etc.

Las compañías no están completamente integradas de forma vertical, y la industria del E&P no es una excepción. Todas las actividades que dan origen a la cadena de valor en su gran parte componen servicios que se contratan a otras empresas que se dedican a cumplir estas tareas específicas. Mientras que los materiales se compran o mandan a fabricar a proveedores de elevadas capacidades técnicas, a fin de garantizar la calidad de prestación en el yacimiento. Dentro de las funciones estratégicas de la cadena de suministro, existen un grupo de actividades que se pueden ordenar de la siguiente manera.

Gráfico 5 - Enfoque mixto de la cadena de suministro



Fuente: Andrew Cox “Excellence in Strategic Procurement” IIAPS www.sourcematix.com



Segmentación

Primeramente, análisis y segmentación, consiste en clasificar el universo de materiales y servicios necesarios en la cadena de valor, que forman parte del mapa de costos de la empresa, a los cuales se los analiza en base al impacto que generan en el negocio y a la complejidad asociada a su abastecimiento para cada uno de ellos³.

Análisis y clasificación de bienes y servicios

Para determinar el Impacto en el Negocio del grupo de bienes y servicios se deben contemplar los siguientes criterios:

- Relevancia del Costo total de compra respecto al costo total
 - Representa un alto impacto en los costos en forma directa: costo de adquisición.
 - Representa un alto impacto en los costos en forma indirecta: transporte, resguardo, seguros, etc.
- Valor Agregado o Aporte para el Negocio
 - El tipo de tarea asociada al producto tiene un impacto relevante en la coordinación y ejecución del plan, afectando a las metas de las áreas requirentes.
 - Fuerte impacto tecnológico, conocimiento / expertise / aporte del proveedor en el negocio.
 - Impacto en aspectos clave del Negocio: por ejemplo Seguridad & Medio Ambiente.
- Importancia en el Desarrollo de Proveedores desde lo Institucional
 - El segmento tiene un impacto relevante para el desarrollo en la zona geográfica y por lo tanto está atado a un fuerte compromiso institucional.

Para determinar Complejidad de Abastecimiento se contemplan los siguientes criterios:

- Características propias del producto
 - Nivel de especificación técnica

³ Esta metodología se basa en el concepto de compra inteligente, introducido por primera vez por Peter Kraljic, en 1983, en su artículo “*Purchasing must become supply management*”, publicado en el *Harvard Business Review*. Junto con este concepto, Kraljic desarrolló una matriz de posicionamiento que define la estrategia de abastecimiento que se adoptará para cada grupo de artículos.



- Requerimientos de certificaciones de calidad
- Situación del Segmento de mercado
 - Madurez del mercado
 - Escasez de oferta
 - Existencia de sustitutos
 - Nivel de competitividad
 - Elevadas barreras de entrada que dificulten el aprovisionamiento
- Fortaleza de la empresa frente al Proveedor
 - Capacidad de Negociación de la empresa
 - Atractividad de la empresa para el Proveedor (relevancia estratégica, económica, técnica)
 - Capacidad de la empresa de reaccionar frente a cualquier dificultad durante el proceso de adquisición y ejecución
- Dificultad o Restricciones Internas
 - Dificultad de la cadena de suministro en poder dar una visibilidad de la demanda
 - Dificultad en cuanto a la especificación por baja previsibilidad o bien bajo conocimiento técnico del área requirente
 - Fuerte vocación del área requirente a direccionar proveedores

Gráfico 6 - Matriz de Kraljic

	Alta	Apalancados	Estratégicos
Impacto en el Negocio	Baja	Rutinarios	Cuello de Botella
		Baja	Alta
		Complejidad en el Abastecimiento	

Fuente: *The Harvard Business Review*. 1983



Cabe aclarar que esta matriz es dinámica, eso significa que los grupos de artículos serán analizados en forma constante para conocer su condición respecto a los patrones utilizados para el armado de la presente matriz. A partir del posicionamiento en la Matriz de los Grupos de Artículos, se determina la Criticidad del Grupo y se clasifica de la siguiente forma:

Productos Apalancados

Son aquellos artículos con un elevado nivel de significancia para la actividad principal de la empresa, lo que les da un carácter de indispensable. Su costo total de adquisición resulta elevado en relación al costo total de la operación, ya sea porque representan una importante erogación por parte de la empresa para su adquisición o contratación, o por los servicios asociados a la misma. Asimismo, este tipo de artículos son fáciles de adquirir y los tiempos asociados a su entrega son cortos o previsibles. El mercado tiene varios proveedores que lo suministran y los costos de cambiar son bajos, por lo que el riesgo de abastecimiento es bajo. La situación entre comprador y vendedor inclina el poder hacia el comprador, debido al elevado número de alternativas de suministro.

Respecto de las posibles estrategias de compra, se recomienda utilizar la ventaja competitiva para lograr una reducción en los costos de abastecimiento. En determinadas ocasiones, se puede utilizar el volumen como herramienta de negociación, para conseguir descuentos u optimizar los costos asociados al abastecimiento, como el transporte. Las negociaciones y acciones de abastecimiento se pueden articular a partir de la utilización de acuerdos de precios y tarifas por períodos de tiempo, contratos de corto plazo, procesos de selección con invitación abierta o licitación, subasta inversa electrónica, contratos marco o consignación.

Productos Cuello de Botella

Estos productos son considerados críticos desde la dificultad asociada a su abastecimiento. Si bien estos materiales o servicios no representan un elevado costo económico y pueden no ser esenciales para el negocio, sí son necesarios para operar; y existen variables como la existencia de elevadas especificaciones técnicas, pocos proveedores en el mercado, inexistencia de sustitutos, largos tiempos de entrega o



dificultad en el transporte, que se deben tener en cuenta para elaborar una estrategia de compra o contratación. Es por ello que a fin de no complejizar más el abastecimiento, se deben tomar medidas que permitan mantener la capacidad de respuesta de la cadena de suministro, como establecer una política de inventario con stock de seguridad. Para reducir o eliminar la exposición a los aumentos de precios y la interrupción del suministro se pueden celebrar acuerdos de consignación, acuerdos con los proveedores, contratos con garantía de suministro / prestación, asegurando un volumen al proveedor (garantía de precios).

Productos rutinarios

Este tipo de productos son los menos críticos de todos los grupos de artículos. Son fáciles de adquirir, ya sea por la cantidad de proveedores disponibles, la estandarización o bajo nivel de especificaciones, rapidez en la entrega o baja dificultad en el transporte. Los costos de adquisición son bajos y su nivel en la operación no es muy significativo. Lo más apropiado para este tipo de artículos es agilizar el proceso de compras y contrataciones para mayor eficiencia, a partir de la reducción de proveedores y simplificación de los procesos de pedidos y reposición. Lo más importante en este cuadrante es la reducción de costos, ya sea de compra o de gestión de compra. Es por ello que lo mejor es contar con contratos marco u órdenes de compra abiertas con precios negociados con anticipación, disponibles a través de catálogos electrónicos.

Productos Estratégicos⁴

Estos son los productos cruciales para el proceso o negocio principal de la empresa y los más importantes a la hora de diseñar la estrategia de abastecimiento. Tienen un elevado costo total de adquisición, ya sea por el valor propio de compra o por los costos asociados a su abastecimiento. En cuanto a los servicios, aquí se engloban los de alto impacto en la operación. En el caso de la industria del E&P, son aquellos asociados a la

⁴ Nota: A efectos de la presente investigación, el foco de análisis estará puesto en la eficiencia de las herramientas de administración de la cadena de suministro para este último grupo de artículos, dado el elevado nivel de significancia que poseen para la cadena de valor de la industria y para cualquier empresa productora de hidrocarburos.



perforación, como contratación de equipos de perforación y terminación, inyección de lodos, cementado, perfilaje, transportes de cargas pesadas o los servicios de Supervisión de Perforaciones (*Company man*). En cuanto a materiales, los más significativos son los tubulares, arenas de fractura, lodos, cabezales de pozo, entre otros. La gran mayoría de estos materiales poseen altas especificaciones técnicas, existen pocos proveedores disponibles, con mucho poder de negociación y los costos de cambiar son muy elevados.

Para este tipo de bienes y servicios, la misión de la cadena de suministro es asegurar la disponibilidad a largo plazo. Por ello es imperativo hacer foco en la construcción de relaciones e integración de procesos. Como acciones inmediatas, las más efectivas son el desarrollo de alianzas estratégicas con el proveedor, desarrollo de proveedores, integración vertical, enfoque de valor a largo plazo a partir de procesos de contratación directa con invitación cerrada, a fin de reducir el riesgo de aprovisionamiento.

Especificaciones y requerimientos propios del negocio

En base a la Matriz de Kraljic se posicionan los distintos Grupos de Artículos para obtener los siguientes datos:

- **Modalidad de Abastecimiento:** En base a la criticidad e impacto en el negocio se ubica cada Sector con su Subsector o Grupo de artículos correspondientes. De esta forma quedan ubicados en los distintos cuadrantes para identificar la estrategia de abastecimiento propuesta, que mejor se adapta al grupo al que la necesidad pertenece.
- **Monto por Modalidad de Abastecimiento:** Una vez ubicados en la Matriz se realiza una suma de montos totales por cuadrante, para poder reconocer que monto tiene comprometido cada Modalidad de Abastecimiento.
- **Momento del Año relacionado:** Finalmente se confecciona la Matriz por Grupos de Compras, pero ubicándolos por fecha de consumo. De esta forma se divide la Matriz en los 4 trimestres para poder cruzar la información entre Modalidad de



Abastecimiento, Monto por Modalidad de Abastecimiento y Momento del Año relacionado.

Una vez realizada la categorización de los grupos de artículos se concluye que para la industria del E&P los bienes y servicios necesarios para el cumplimiento del negocio se clasifican de la siguiente manera:

Gráfico 7 - Clasificación de cartera de bienes y servicios según Matriz de Kraljic

Apalancado	Cuello de Botella	Rutinarios	Estratégicos
<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento SCADA • Mantenimiento Telecomunicaciones • Mantenimiento de mecanismos de bombeo 	<ul style="list-style-type: none"> • Servicios de Catering • Equipamiento para SSA • Instrumentación y Electrificación • Equipo pesado • Telecomunicaciones • Válvulas de control manual 	<ul style="list-style-type: none"> • Amoblamiento y equipos de almacenes • Mantenimiento de vehículos • Análisis de zona y DDR • Servicios de consultoría • Servicios médicos • Servicios de operación • Alojamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres de perforación • Plataformas petroleras • Servicios de perforación • Servicios de terminación de pozos • Tubulares y Accesorios • Lodos y control de sólidos • Obras: Ingeniería y construcción • BOP y Accesorios de perforación • Repuestos: vehículos y motores, lubricantes. • Equipos de bombeo y accesorios • Logística y transporte • Mantenimiento IT

Fuente: Elaboración propia

Análisis de sectores por grupo de artículos

Para los grupo de artículos estratégicos resulta necesario tener un entendimiento de los proveedores existentes en el sector, la evolución del sector, etc. de forma tal de elaborar una estrategia de abastecimiento alineada con la realidad del mercado.

Como medio para elaborar esta tarea se podrá utilizar el análisis del sector a partir de las 5 fuerzas de Porter: A modo de resumen sintetizamos los aspectos que se pueden revisar en cada uno de los componentes del modelo de análisis:

**Tabla 1 - Criterios para elaboración de la Matriz de Porter**

Ejes	Descripción
Nuevos Participantes	Determinar barreras de entrada al mercado considerando: <ul style="list-style-type: none"> • Economías de escala • Requerimientos de capital • Distribución / logística • Legislación aplicable • Patentes y permisos
Compradores	Determinar las fortalezas del comprador considerando: <ul style="list-style-type: none"> • Números de compradores que compiten • Volumen de compra en relación con las ventas del proveedor • Costos de cambio de proveedor • Costos producto / material / servicio alternativo Capacidad de integración
Sustitutos	Determinar la viabilidad de adquisición de productos sustitutos considerando: <ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de productos sustitutos • Costo total de sustitución • Compromiso del usuario al cambio
Proveedores	Determinar las fortalezas del/los proveedor/es considerando: <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de proveedores disponibles • Volumen proveedor en relación con la industria • Existencia de sustitutos • Impacto de inputs en el costo de sustitución • Costo por cambio de proveedor • Riesgo integración descendente
Competencia del Mercado	Determinar qué tan competitivos son los proveedores actuales en este mercado considerando: <ul style="list-style-type: none"> • Abundancia de competidores • Concentración de la industria / share • Crecimiento del rubro • Capacidad disponible / instalada • Costos fijos / variables • Costos asociados cambio proveedor • Diferenciación productos / marcas • Barreras de salida • Proveedores por Sector

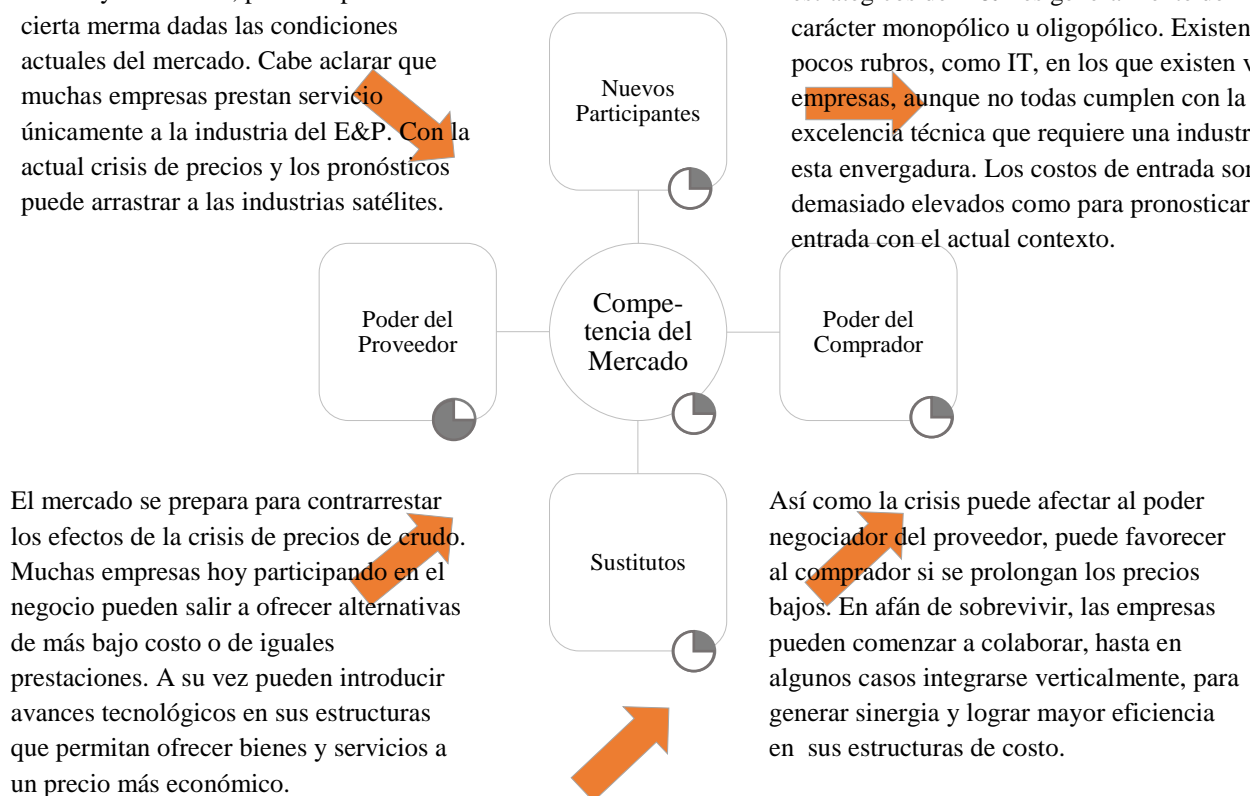
Fuente: Elaboración propia

A partir de las variables relevadas para la confección de la matriz, podemos resumir que para bienes y servicios estratégicos necesarios en el E&P la situación actual y tendencias para los próximos años es la siguiente:

Gráfico 8 – Análisis de las 5 Fuerzas de Porter

El poder de negociación del proveedor, si bien hoy es elevado, puede experimentar cierta merma dadas las condiciones actuales del mercado. Cabe aclarar que muchas empresas prestan servicio únicamente a la industria del E&P. Con la actual crisis de precios y los pronósticos puede arrastrar a las industrias satélites.

El mercado de los bienes y servicios estratégicos del E&P es generalmente de carácter monopolístico u oligopólico. Existen pocos rubros, como IT, en los que existen varias empresas, aunque no todas cumplen con la excelencia técnica que requiere una industria de esta envergadura. Los costos de entrada son demasiado elevados como para pronosticar una entrada con el actual contexto.



La rivalidad competitiva hoy no es muy elevada por el carácter oligopólico del mercado. Aunque la presente crisis de precios del crudo puede llevar a muchas industrias a ingresar en una guerra de precios que puede resultar tan caótica para su rubro

Fuente: Elaboración propia

Selección de opciones de abastecimiento

La siguiente etapa de la logística y el abastecimiento consiste en seleccionar el mejor método para gestionar la demanda y el consecuente abastecimiento de bienes y servicios resultantes de cada actividad que se realiza en la cadena de valor del negocio. De



acuerdo a características propias de cada industria en existen factores que permiten determinar los niveles de demanda.

En el E&P la demanda puede resultar difícil de estimar, siempre y cuando hablemos de materiales o componentes específicos. Sin embargo, existen varios factores que pueden influenciar la probabilidad de demanda del cliente. El encargado de la planificación de la cadena de suministro deberá determinar la relación entre esos factores y la demanda futura. Para ello, antes debe conocer cuáles son:

Por ejemplo, es más difícil de acertar el tipo y cantidad de piezas que necesitará un pozo que se está haciendo en una zona donde hasta ahora no se ha perforado. Más allá de los datos recolectados en los estudios del suelo, se desconocen características propias del yacimiento que determinarán la necesidad de componentes específicos. Por ello, los primeros pozos que se realizan son los exploratorios.

Cuando se posee información acerca de qué canasta de materiales se utilizó para un pozo exploratorio, que revela ciertas características del mismo, es más cómodo luego inferir la demanda para un pozo en la misma locación. Es por esta razón que la demanda pasada puede ser un factor determinante a la hora de pronosticar la demanda futura.

Otros factores determinantes de la demanda pueden estar vinculados tanto a la actualidad de la industria, como así la influencia de variables de mercado o macroeconómicas. En tal sentido, podemos mencionar como factores determinantes:

- El descubrimiento de un nuevo yacimiento
- La disponibilidad de equipos de perforación
- El contexto gremial
- Cambios en la composición de la matriz energética de un país
- El precio internacional del petróleo
- La demanda mundial de hidrocarburos
- La fluctuación cambiaria
- El contexto inflacionario
- La apertura de las importaciones



Dicho esto, a continuación se desarrollan las siguientes técnicas de gestión de la demanda y abastecimiento: Los métodos de pronóstico de la demanda, los sistemas de gestión de inventarios y el plan de requerimiento de materiales. Una vez analizados estos métodos, se establecerá una comparativa que permita determinar cuál de ellos es el más eficiente para gestionar la demanda de bienes y servicios estratégicos en la industria petrolera en Argentina.

Métodos de pronóstico

“...El estudio de datos históricos para descubrir sus patrones y tendencias fundamentales. Este conocimiento se utiliza para proyectar los datos a períodos futuros como pronósticos. La modificación de resultados numéricos, mediante un juicio acertado también representa un componente clave de pronóstico efectivo.” (Hanke & Reitsch, 1996)

A partir de la interpretación de datos históricos sobre demanda de productos o servicios de la operación, junto con el análisis de los factores previamente mencionados, la cadena de suministro procede a realizar el pronóstico correspondiente. Si bien se pueden utilizar varias técnicas, siempre que haya disponibilidad de datos históricos suficientes y se juzgue que estos pueden resultar representativos del futuro, se estará hablando de técnicas cuantitativas.

Toda técnica cuantitativa se basa en la premisa que todo dato del pasado puede extenderse hacia el futuro para proporcionar pronósticos precisos. Se clasifican en dos categorías:

- Estadísticas: se enfocan en el análisis de patrones. A partir del relevamiento de una serie de tiempos con datos sobre la demanda, se efectúa el análisis de los cambios en dichos patrones y perturbaciones producidas por influencias aleatorias. A partir de diversos métodos estadísticos, las técnicas descomponen las series de datos en varios componentes: nivel, tendencia, estacionalidad y ciclo, y realizan el pronóstico a partir de proyecciones de cada uno de estos.



- Determinísticas: se basan en la identificación y determinación de relaciones causales, entre variables dependientes, como la demanda a pronosticar; y variables de influencia independientes. Las técnicas utilizadas generalmente son el análisis de regresión y modelos econométricos.

Técnicas estadísticas

La elección del modelo depende principalmente del horizonte de tiempo que se va a pronosticar, la disponibilidad de datos, la precisión requerida y el presupuesto disponible. A continuación se describen los métodos de pronóstico basados en técnicas estadísticas, que se basan principalmente en el análisis de series de tiempo.

“Con frecuencia se realizan observaciones de datos a través del tiempo. Cualquier variable que conste de datos reunidos, registrados u observados sobre incrementos sucesivos de tiempo se denomina serie de tiempo.” (Hanke & Reitsch, 1996, pág. 98)

Los datos relevados en este caso corresponden a la demanda de bienes y servicios necesarios para la operación, durante un período considerable de tiempo, suficiente como para realizar inferencias sobre el futuro. La elección de la técnica estadística más apropiada estará dada por las características evidenciadas en el conjunto de datos históricos relevados. Entre ellos el período de tiempo que abarca el relevamiento que se realiza, el tipo de patrón que se deduce en la serie y el horizonte de pronóstico. Generalmente, por convención se habla de corto plazo cuando el período es inferior a 3 meses, de mediano plazo, cuando el período abarca de 3 meses a 2 años y finalmente de largo plazo, cuando el período es superior a los 2 años.

La demanda observada contiene una parte sistemática, cuyo valor esperado es susceptible de ser medido, y una parte aleatoria, que se desvía de la parte sistemática. Cualquiera sea el método de pronóstico a utilizar, siempre existe un componente aleatorio que no podrá ser explicado a partir del relevamiento de datos históricos, aunque si puede medirse su tamaño y variabilidad, a fin de determinar una medida de error de pronóstico. De esta forma, podemos afirmar que un método acertado de



pronóstico tiene un error cuyo tamaño es comparable al componente aleatorio de la demanda.

Los análisis de series de tiempo pueden realizarse utilizando varias metodologías, a efectos de la siguiente investigación se describe la técnica de descomposición clásica de series de tiempo, debido a su simplicidad matemática y su nivel de precisión.

Descomposición clásica de series de tiempo

Este método se construye sobre la filosofía de que un patrón de demanda histórica puede Descomponerse en cuatro categorías:

La tendencia: representa el movimiento a largo plazo de la demanda, ocasionado por factores como incremento de equipos de perforación, cantidad de metros perforados, metodología de perforación, necesidad de mayor potencia eléctrica, construcción de caminos, entre otras.

La variación estacional: son las fluctuaciones evidenciables en un período determinado de tiempo que se evidencian al relevar varios ciclos. Generalmente vinculada a cambios climáticos, cronogramas de mantenimiento preventivo o calendarios de construcción de determinados proveedores.

La variación cíclica⁵: oscilaciones alrededor de la tendencia solamente evidenciables en series temporales de varios períodos y únicamente utilizadas para pronosticar a largo plazo.

La variación residual: corresponde al componente aleatorio de la demanda, que está por fuera de las técnicas estadísticas de pronóstico.

El pronóstico se construye sobre la base del siguiente análisis:

⁵ Nota: a efectos de la siguiente investigación, las series de tiempo utilizadas para ejemplificar contienen un elevado nivel de variación aleatoria, lo que dificulta la descomposición y análisis del componente cíclico. En tal sentido, solo se utilizarán la tendencia y estacionalidad a fin de realizar los pronósticos.



Lo primero que conviene hacer es un gráfico que permita tener un impacto visual sobre el comportamiento de la serie de datos. Se observa el movimiento que realiza la demanda al finalizar un ciclo y comenzar el siguiente. Si se puede evidenciar que el patrón de comportamiento de la demanda es similar al del ciclo anterior, eso significa que la serie de datos contiene un componente estacional. Por otra parte, si los niveles de demanda registran un incremento y decremento sostenido en cada uno de los períodos, estaremos en presencia de cierta tendencia, también susceptible de ser medida.

La técnica de pronóstico, en consecuencia, recolecta los datos en cuanto al nivel de demanda, la tendencia y el componente estacional y se extrapola mediante el uso de técnicas estadísticas para estimar los períodos del próximo ciclo. (Ver Anexo 1).

Para construir un pronóstico sólido a partir del uso de esta técnica se necesitan datos históricos de al menos tres períodos. En caso de poseer más, se puede construir un pronóstico de mediano plazo.

Este tipo de pronósticos se puede utilizar en aquellos bienes y servicios de tipo rutinario, que poseen bajo nivel de incertidumbre en la demanda, como los servicios de inspección y mantenimiento de ductos, ya que son servicios que se realizan con la misma asiduidad, y por lo tanto siguen un patrón tanto estacional y de tendencia en horas hombre, por el incremento de la cantidad de ductos.

Para bienes y servicios estratégicos, que poseen cierta especificidad y cronogramas más aleatorios, este método de pronóstico no es el más apropiado. La definición de los niveles de demanda de estas necesidades está dada por el nivel de actividad y no por registros de demanda histórica.

Técnicas Determinísticas

Las técnicas determinísticas se basan en el establecimiento de relaciones causales entre una variable o múltiples variables independientes y una variable dependiente, que reaccionará en función del movimiento de las anteriores.

“La premisa básica sobre la que se construyen los métodos causales para pronósticos es que el nivel de la variable pronosticada se deriva del nivel de otras variables relacionadas” (Ballou, 2004, pág. 296).



Si se logra establecer mediante el uso de métodos estadísticos, una fuerte relación causa y efecto, estos modelos causales pueden ser buenos predictores a mediano y largo plazo. Existen varios modelos de relaciones causales, a efectos de la siguiente investigación se desarrollarán el modelo de regresión lineal.

“La regresión lineal se refiere a la clase de regresión especial en la que la relación entre las variables forma una recta” (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009, pág. 483).

La regresión es una relación funcional entre dos o más variables correlacionadas, que se establece a partir de datos observados. Lo primero que se debe hacer es graficar dichos datos para evidenciar la existencia de un comportamiento lineal, al menos en parte de ellos.

Para establecer rápida y fácilmente la relación entre la variable dependiente y las variables independientes se puede utilizar la herramienta “Análisis de datos” de MS Excel. Simplemente se eligen la variable dependiente a pronosticar como Y; mientras que como valores de X se pueden seleccionar una o varias variables. El resultado establecerá mediante una recta la relación causal entre las variables.

En la industria del E&P, este tipo de análisis puede resultar útil a la hora de pronosticar la demanda de familias de componentes, que participan en la fabricación de un componente mayor, o bien forman parte de un servicio de soporte a la perforación o producción. Si bien la demanda de un producto individual dentro de una de estas familias pudiere variar en gran medida durante un período, por motivos propios de la operación, la demanda de todos los productos en su conjunto resultaría suavizada.

Es conveniente remarcar, sin embargo, que si bien esta alternativa de pronóstico podría adaptarse de mejor forma a las necesidades de la industria, existen ciertos limitantes a la hora de su uso, especialmente a la hora de gestionar el abastecimiento de bienes y servicios estratégicos. El método de regresión lineal implica que los datos pasados y los pronósticos futuros se mueven en línea recta, lo que puede generar distorsiones si por algún motivo una cierta cantidad de bienes no serán considerados en determinada proporción tal cual se hizo en el pasado, eso podría resultar en un costo de oportunidad por la falta de un componente, o bien sobre costo de inventario por una compra no necesaria.



De esta manera, el resultado de este pronóstico no implica que la cadena de abastecimiento deba realizar un pedido al proveedor por las cantidades pronosticadas. En la industria petrolera solo un grupo muy finito de materiales puede presentar las características necesarias para aplicar a este método, y no son precisamente los que describimos como estratégicos, dado que su condición está dada generalmente por su elevado valor económico. A tal efecto, las cantidades pronosticadas pueden dar al comprador un marco para elaborar un pedido de cotización, estudiar mercados u ofrecer alternativas de abastecimiento en la evaluación de nuevos proyectos.

El rol del inventario en el abastecimiento

Se define Inventario como *“las existencias de una pieza o recurso utilizado en una organización. Un sistema de inventario es el conjunto de políticas y controles que vigilan los niveles del inventario y determinan aquellos a mantener, el momento en que es necesario reabastecerlo y qué tan grandes deben ser los pedidos.”* (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009, pág. 547).

El inventario existe en la cadena de suministro para contrarrestar el desajuste que existe entre oferta y demanda, la disponibilidad de inventarios generalmente incrementa la cantidad de demanda que puede satisfacerse, aumentando así la capacidad de respuesta. Además, puede reducir los costos de adquisición mediante el logro de economías de escala que pudieren existir en la cadena de valor. El inventario se puede mantener en varios estados: como materia prima, como producto en proceso o como producto terminado. En la industria E&P, los bienes pueden ser conservados en inventario como insumos o bienes productivos o no productivos.

Sistemas de Inventarios

“Un sistema de inventarios proporciona la estructura organizacional y las políticas operativas para mantener y controlar los bienes en existencia. El sistema es responsable de pedir y recibir los bienes: establecer el momento de hacer los pedidos y



llevar un registro de lo que se pidió, la cantidad ordenada y a quien". (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009, pág. 550)

Los sistemas de inventario se clasifican en sistemas de un período y de períodos múltiples. El primero se basa en una única decisión sobre la compra de un determinado número de piezas que cubrirá un período fijo y que luego ya no se va a volver a pedir, mientras que el segundo comprende a la compra periódica de dicha pieza y la necesidad de mantener un inventario que pueda responder a la demanda. El sistema que más se adapta a la industria de E&P es el de múltiples períodos, por la naturaleza y dinámica del negocio. Existen dos tipos generales de inventarios de varios períodos: los modelos de cantidad fija de pedido (también conocido por sus siglas en inglés *EOQ*⁶) y los modelos de periodo fijo, también llamados sistemas de revisión periódica. Estos sistemas son identificados también con la letra Q para cantidad fija y P para período fijo.

Modelos de cantidad de pedido fija

Los modelos de cantidad de pedido fijo se basan en el dimensionamiento de los siguientes factores:

El punto en el cual se realizará el pedido: llegado un determinado número de unidades restantes en el stock, se realiza un nuevo pedido.

El tamaño del pedido: determinado por el número de unidades que establece el óptimo entre el costo de adquisición, el costo asociado a la compra y el costo de mantenimiento de inventario.

El tiempo que transcurre entre que se realiza el nuevo pedido y éste llega: se conoce como tiempo de aplazamiento y se representa con la letra L (*en inglés: Lead time*), que según este modelo, nunca varía.

Para determinar la cantidad de pedido óptima es necesario establecer ciertas premisas, que si bien no son totalmente ciertas, establecen un punto de partida para la descripción

⁶ EOQ: Economic Order Quantity: Cantidad de pedido económico



del modelo. Primeramente, la demanda del producto será conocida, constante y uniforme durante todo el período. Los tiempos de transporte también lo son, así como el precio por unidad. El costo de mantenimiento de inventario se basa en un inventario promedio, mientras que los costos por realizar un pedido se mantienen constantes. Finalmente, se asume que todos los pedidos serán cubiertos y no habrá acumulados.

Si todas las premisas previamente descritas se cumplen, el modelo de inventario respeta el formato que se expresa en la figura. Q representa la cantidad económica de pedido y R el punto al que llega la cantidad de unidades restantes en la que se debe realizar un nuevo pedido.

Si bien este modelo supone una demanda y tiempo de entrega constantes, no se necesita un stock de seguridad, por lo que el punto de re pedido se resume en multiplicar la demanda promedio diaria por el tiempo de aplazamiento. Sin embargo, la idea de una demanda constante puede no ser tan cierta. Como ya se expuso anteriormente, la demanda contiene un componente aleatorio que genera cierta incertidumbre y probabilidad de tener un quiebre en caso de un pico imprevisto. Por esta razón es conveniente mantener inventarios de seguridad para ofrecer cierto nivel de protección contra existencias agotadas. Existen varios métodos para determinar el stock de seguridad, el más recomendable es establecer un nivel que capte la variabilidad de la demanda (Ver Anexo 2).

Modelos de períodos fijos

En estos modelos, a diferencia del anterior, el inventario sólo se cuenta en determinados momentos, como por ejemplo una vez por mes. En congruencia con la industria E&P este sistema se evidencia cuando un coordinador logístico pretende optimizar los costos de un transporte a una determinada locación y diagrama una entrega combinando múltiples productos. Dado que los costos logísticos a determinados yacimientos suelen ser extremadamente elevados, resulta imperativo optimizar estos costos mediante el uso de un sistema de inventarios basado en este modelo de revisión por períodos.

En tal sentido, dependiendo de los índices de uso, estos sistemas generan cantidades de pedido que varían de un período a otro. Es por ello que el inventario de seguridad



necesario para cubrir la incertidumbre de la demanda es generalmente más alto que en sistema Q (Ver Anexo 2). Si el pico de demanda ocurre inmediatamente después de hacer el pedido, puede que se llegue a una situación de quiebre hasta si se espera hasta la próxima revisión. Por lo que ahora, el inventario no solo debe cubrir la brecha correspondiente a la demanda durante el tiempo de entrega, sino también al tiempo de revisión.

Los inventarios y la eficiencia operativa

Los sistemas de inventario se utilizan a muchos niveles en una industria de capital intensivo como la Exploración y Producción de Petróleo. Es muy dificultoso que una empresa del rubro opere sin mantener un determinado nivel de existencias para cumplir con su función. El desafío de los administradores de inventario reside en operar el stock de la manera más eficiente posible. En congruencia con lo expuesto en el diagnóstico de la situación actual de la industria, hoy el foco está puesto en la eficiencia en costos. El mantenimiento del inventario es clave en la estructura de costos de una empresa del rubro.

Dicho esto, lo más coherente en términos de eficiencia en costos, es el mantenimiento de stock de bienes tanto rutinarios, por su bajo impacto en la estructura de costos, como aquellos que se denominan cuello de botella, dada la complejidad de abastecimiento, que puede significar en tiempos de aplazamiento extensos.

Sin embargo, para aquellos bienes denominados estratégicos, resulta mucho más complejo su mantenimiento en un stock, dado su elevado valor económico. Por ello, mantenerlos en almacenes para incrementar la capacidad de respuesta o constituir stocks de seguridad puede resultar en elevados costos de mantenimiento.

Por otra parte, el E&P maneja un gran número de servicios que se contratan y subcontratan a empresas especializadas, principalmente en las actividades de perforación. Los servicios no pueden almacenarse y constituir un inventario, sino que se contratan para realizarse en un determinado momento. El inventario de materiales puede servir como soporte para la ejecución de los servicios contratados, a fin de optimizar el tiempo de ejecución del mismo y los costos asociados. En tal sentido, es necesario



contar con una herramienta que abarque los servicios correspondientes al cumplimiento de las actividades de la cadena de valor de la industria y a su vez establezca el número necesario de materiales asociados. A continuación se desarrolla una herramienta con mayor nivel de integración.

Planeación de Requerimiento de Materiales (MRP)

La Planeación de Requerimientos de Materiales, (MRP, por sus siglas en Inglés), es un procedimiento sistemático de planificación de componentes de fabricación, que a partir de decisiones plasmadas en lo que se conoce como Plan Maestro de Producción, determina qué se necesita en términos de materiales, qué hay disponible y que hace falta comprar, para cuándo se necesita y las cantidades. El MRP funciona como un sistema que transforma la información proveniente de la operación y gestiona los inventarios con el fin de responder a la demanda dependiente⁷ y programar de manera eficiente los pedidos de reabastecimiento.

Si bien este sistema fue ideado y se utiliza principalmente en líneas de producción, ensamblaje, fabricación y manufacturas, su esquema puede adaptarse a la industria productora de Petróleo, a partir de la siguiente lógica:

Durante la etapa de diseño de la cadena de suministro, se determina el plan conjunto de operaciones. Las áreas de planificación operativa determinan el nivel de actividad y establecen los cronogramas de perforación y terminación, facilidades e instalaciones, producción y mantenimiento de pozos. Dados los estudios previamente realizados en la etapa de exploración, se establecen las cantidades de pozos a realizarse, las obras civiles que servirá de soporte y los programas de mantenimiento de pozos ya productivos.

El siguiente nivel de planeamiento corresponde al Plan Maestro de Producción (MPS, por sus siglas en inglés), en congruencia con la etapa de planificación de la cadena de suministro. Aquí se determinan los modelos de pozo tipo que se realizarán y con ellos, tanto los servicios que se deberán contratar y las categorías de materiales asociados a

⁷ Demanda dependiente, es aquella demanda que ocurre como consecuencia de un pedido anterior de un bien o servicio independientes. La demanda independiente es aquella inducida por el condicionamiento del mercado, es decir, aquella que tiene un componente sistemático y uno aleatorio, siendo susceptible de ser pronosticada.

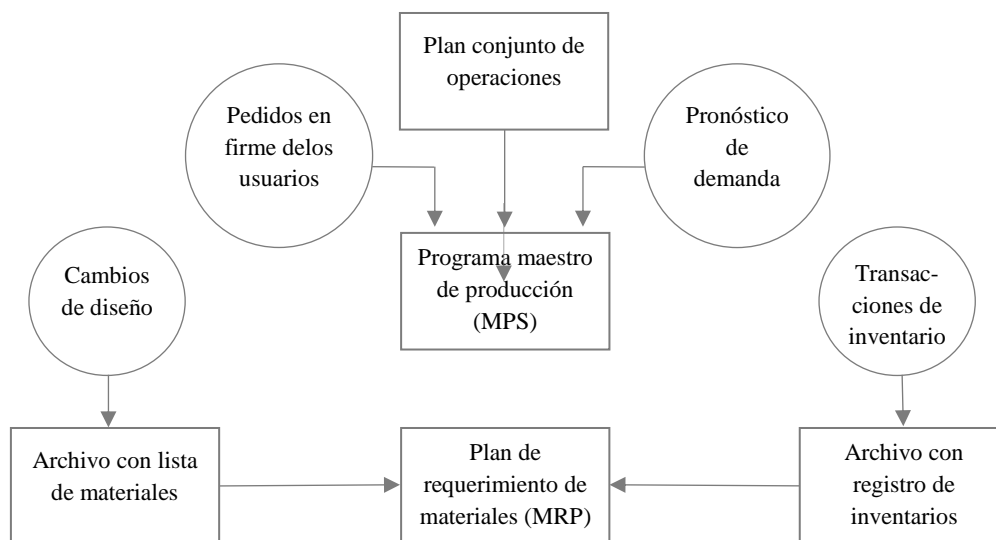
dichos pozos. Además, en función de los calendarios definidos en la etapa anterior, se la duración de cada actividad y los grupos de materiales que harán falta.

Finalmente, el Plan de requerimiento de materiales, que se alinea con la operación de la cadena de suministro. Consiste en una herramienta que calcula y programa los suministros necesarios para dar soporte a todas actividades y requerimientos del MPS.

Estructura del MRP

Una vez definidos los lineamientos en el MPS, El MRP recoge los grupos de artículos designados y elabora el programa de abastecimiento, valiéndose de información previamente definida para la perforación, terminación y producción de cada pozo.

Gráfico 9 - Estructura del MRP



Fuente: "Planificación y control de la Producción", Champan, 2006.

El MRP consta de un archivo con las listas de materiales, donde se especifica cada material vinculado al pozo tipo definido en el Plan Maestro y sus cantidades correctas. El archivo con el registro de inventarios contiene datos con la posición actual de inventario, a fin de asignar existencias disponibles al proceso productivo. De esta forma, los input son El Plan Maestro y la demanda derivada de productos, La lista de materiales y el Archivo de registro de inventarios. Mientras que el output es un



programa de producción detallado que programa los pedidos para toda la secuencia de producción.

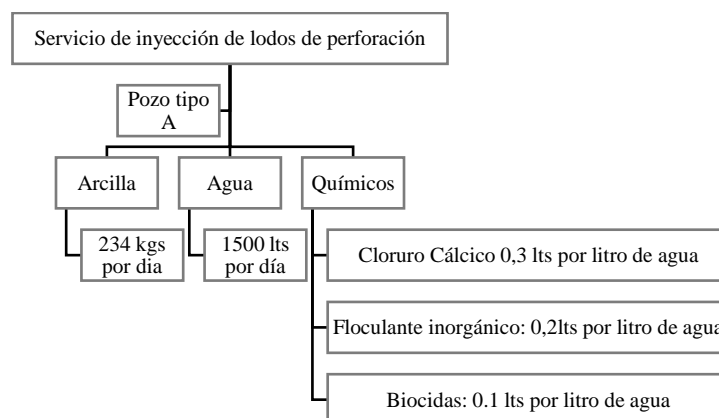
Demanda de productos

La demanda que influye en el MRP puede provenir de la operación - a partir de los pedidos de los usuarios de áreas operativas, en el momento en que se elabora el Plan Conjunto de operaciones y el MPS- y por otro lado, puede provenir de pronósticos de demanda, elaborados a partir de datos históricos, correspondientes actividades anteriores. Estos dos componentes constituyen los input de demanda que desembocarán en el Plan Maestro y posterior programación.

La lista de materiales

El archivo con la lista de materiales (conocido por sus siglas en inglés BOM) contiene la descripción completa de todas las piezas y componentes necesarios para el desarrollo de cada actividad previamente definida en el MPS. La BOM constituye uno de los elementos más importantes del MRP. Conocido también como árbol de producto, generalmente en manufacturas, donde muestra como se arma cada producto final, a partir de la información sobre todos los componentes y cantidades que forman una pieza. Para ilustrarlo en el E&P, se puede partir de la siguiente estructura:

Gráfico 10 - MRP: árbol de producto



Fuente "Planificación y control de la Producción", Champan, 2006



Cada categoría de material despliega varios niveles de componentes que dan soporte a la actividad. El MRP, en este caso, ya sabe que para un pozo tipo A, la proporción de químicos por litro de agua está definida. Por lo tanto, determina la cantidad total a ordenar de cada químico en función de la cantidad de pozos de ese tipo que se realicen.

A partir del árbol de materiales asociados a una actividad, el MRP genera órdenes, sugiere el proveedor de referencia y calcula los tiempos de aplazamiento en función de los datos previamente ingresados. El administrador de contratos y comprador de materiales elaboran sus estrategias en función de lo que un sistema integrado de planificación y programación define. Esto permite ganar capacidad de respuesta desde el conocimiento previo, sin incrementar los niveles de inventario más de lo necesario.

Registros de inventario

El MRP realiza el análisis de la estructura de necesidades en forma descendente y calcula los componentes nivel por nivel. Hay ocasiones en las que se desea identificar la pieza antecesora que desencadenó todo el listado de necesidades. Por ello, existen registros indexados, ya independientes, para poder ser rastreados en la estructura de productos por cada nivel ascendente e identificar que originó un pedido de compra determinado.

El archivo de estado de inventario se mantiene actualizado conforme suceden las transacciones. Es necesaria la supervisión de los registros, a fin de verificar si hubo entradas y salidas de existencias, pérdidas o roturas, piezas equivocadas, etc.

Proceso de explosión

El proceso que calcula y determina las necesidades exactas de cada componente que maneja el sistema se denomina proceso de “explosión”, y su descripción general es la siguiente:



1. Del MPS se toman las necesidades de nivel 0, llamadas piezas finales (o grupos de artículos). El MRP las engloba como “necesidades brutas”.
2. El programa consulta los saldos actuales de inventario y determina realmente que pedidos hacer y donde. Así se generan las “necesidades netas”.
3. Con las necesidades netas, el programa calcula cuándo deben recibirse los pedidos para satisfacer cada una de ellas. La programación del “cuando” se conoce como “entradas de pedidos planeados”.
4. Cada pedido tiene un tiempo de espera asignado, el siguiente paso consiste en calcular la expedición de pedidos planeados, que se obtiene compensando las entradas de pedidos planeados por los márgenes de tiempo necesarios.
5. A terminar todos estos pasos con las piezas de nivel cero, el programa pasa a las piezas de nivel 1.
6. Las necesidades brutas de las piezas de nivel 1 se calculan a partir del programa de expedición de pedidos planeados para las antecesoras. Cualquier demanda adicional independiente se deberá incluir ahora en las necesidades brutas.
7. El proceso se repite con cada nivel de la lista de materiales.

“El MRP es un sistema de “empuje”, lo que significa que los pedidos se liberan de acuerdo con el plan y se “empujan” hacia el área de trabajo apropiada. El supuesto es que, si el plan es correcto, será necesario el material específico en la cantidad determinada.” (Chapman, 2006, pág. 150)

A partir de la implementación del MRP y la definición de la estrategia más apropiada de contratación según cada necesidad, se cierra el circuito que corresponde a la adopción de un enfoque de empuje para la administración de la cadena de suministro, descrito al principio de este marco teórico. El flujo de información desde los sistemas de planificación conjunta de las operaciones de la cadena de valor y del plan maestro es interpretado por el MRP. Así, los pedidos formales de compra se generan en forma automática y, si bien pueden ser validados en todas sus etapas de ejecución, es necesario tener cuidado para no empujar los pedidos hacia los centros de trabajo antes que se requieran, y caer en acumulaciones de inventario.



Esta situación puede resultar frecuente dada la naturaleza volátil de muchos entornos operativos generados por los cambios en los pedidos de materiales, tiempos y cantidades; problemas con los prestadores, fallas de maquinarias; incumplimiento en los plazos de entregas; errores en la operación o clasificación de materiales, entre otros.

Se sabe que tanto la capacidad de producción y los recursos en un sistema son limitados. El desafío del programador es articular su estrategia de abastecimiento a estas limitaciones y responder a las necesidades surgentes del MPS. La flexibilidad del Plan Maestro depende de varios factores:

El tiempo de duración del servicio, el compromiso de las partes intervinientes y los materiales necesarios para cumplir con las actividades definidas, las relaciones entre el usuario, la cadena de suministro y el proveedor, el exceso o falta de capacidad de la cadena de suministro y la aprobación de la gerencia para implementar cambios de rumbo.

Por ello, es necesario establecer ciertas restricciones en los tiempos designados para realizar cambios. Se entiende por restricciones de tiempo como los períodos en los que los usuarios de las áreas operativas tienen alguna oportunidad de realizar estos cambios y desviarse de lo previamente establecido en el plan maestro. Podemos mencionar tres etapas:

- Congelado: donde no se permite ningún cambio, salvo que sea menor y no tenga consecuencias en las existencias disponibles
- Moderadamente firme: permite cambios en productos específicos de un grupo, siempre que las piezas estén disponibles.
- Flexible: concede casi todas las modificaciones, siempre y cuando no afecte considerablemente la capacidad y los tiempos de flujo de la cadena de suministro.

Dada la dinámica de la industria en Argentina, mantener esta rigidez durante la etapa de planeamiento de la cadena de suministro puede significar caer en pérdida de eficiencia operativa. Por lo tanto, para ilustrar el esquema de restricciones en el Plan Maestro se pueden citar los siguientes ejemplos.



Tabla 2 - Flexibilidad del Plan Maestro

Congelado	Moderadamente Firme	Flexible
Se determina que la producción de un pozo se realizará utilizando un sistema de bombeo mecánico. Una vez instalado, no puede pasar a bombeo electrosumergible aunque la operación lo defina sin alterar todo el ciclo de producción/	Se define un pozo tipo a realizarse y se contrata un Servicio de Inyección de lodos de perforación. Durante el proceso se determina que la combinación de lodos para realizar el pozo más eficientemente es otra. Los materiales están disponibles, se puede proceder al cambio de fórmula.	Durante la etapa previa a la ejecución de un pozo, se define qué tipo de tubería de revestimiento se usará. Los tubulares están contemplados en el plan, pero el sistema de recuperación de <i>casing</i> ha certificado los tubulares necesarios para ser usados en ese pozo y se han incorporado al inventario. Se utilizan esos tubulares y se pospone la compra.

Fuente: "Planificación y control de la Producción", Champan, 2006.

El MRP y la eficiencia en la cadena de suministro

El equilibrio entre aumentar la capacidad de respuesta y reducir el costo de gestión de la cadena de suministro es el gran desafío de los gerentes y planificadores.

Como hemos visto, el inventario tiene un impacto importante en el tiempo de flujo de materiales en la cadena de suministro, que es el tiempo que transcurre entre el momento que se establece el pedido formal del material hasta que éste es utilizado en el yacimiento. Cuanto más tiempo permanece inmovilizado, mayor costo de mantenimiento y por lo tanto, menor eficiencia.

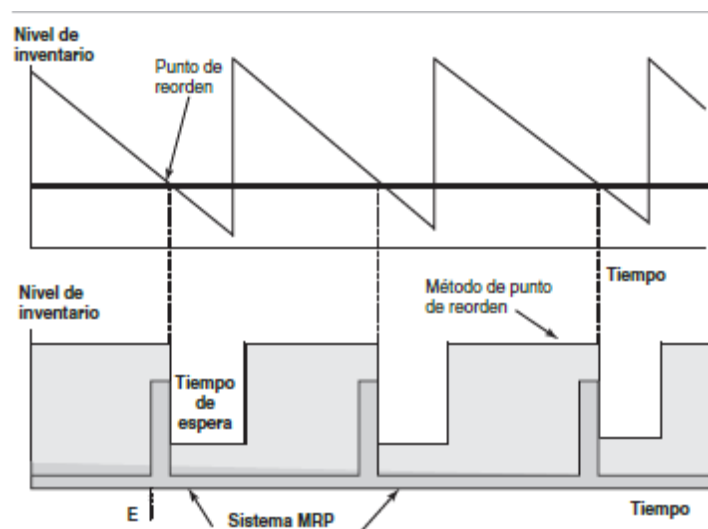
La eficiencia operativa de la cadena de suministro se puede medir en términos de la *Ley de Little*. Si asumimos una capacidad de procesamiento, representada por el rendimiento λ , el tiempo de flujo por T y el Inventario por I , obtenemos la siguiente fórmula:

$$I = \lambda x T$$

El inventario disponible y su costo de mantenimiento, dada una capacidad instalada, estará dado por el tiempo de flujo. La función crucial del planificador será optimizar los tiempos de flujo a fin de tener la menor cantidad posible de inventario inmovilizado y así incrementar la eficiencia.

El MRP es una herramienta compleja de gestión de abastecimiento que permite cubrir más eficientemente las necesidades surgentes de la cadena de valor del negocio. Cuenta con la predicción del tiempo en el que harán falta los materiales, en función del nivel de actividad establecido en el Plan Maestro, al definirse el cronograma. Así, el MPS determina los servicios estratégicos que se contratarán para satisfacer dicho nivel de actividad y con ellos, el MRP gestiona la demanda de materiales, componentes y piezas necesarios.

Ilustración 3 - MRP y el nivel de inventario



Fuente: "Planificación y control de la Producción", Champan, 2006.

Como podemos ver, el tiempo de flujo se reduce y permanencia de los inventarios en el sistema es más corto. Además, la programación de materiales asigna automáticamente los recursos a la actividad, genera las órdenes de pedido y calcula los tiempos de aplazamiento. El comprador solo debe chequear los pedidos e inicializarlos y calcular las estrategias de contratación, generando una mayor ventaja operativa.

El impacto del MRP en términos de rentabilidad

“La lógica de control de inventarios se relaciona con el desempeño financiero de la empresa. Una medida clave que se relaciona con el desempeño de la compañía es la rotación de inventarios” (Chase, Aquilano & Jacobs, 2009, p. 564)



La rotación de inventarios nos indica cuantas veces se satisface el volumen total de demanda en un período, dado un determinado nivel de inventario.

$$\text{Rot. inventarios} = \frac{\text{Demanda total}}{\text{Inventario disponible}}$$

Cuanto mayor sea este coeficiente, significa que el inventario se ha mantenido bajo en relación al volumen de demanda total, generando un menor costo relativo de mantenimiento.

Como vimos anteriormente en la Ley de Little, el inventario se compone por el tiempo de flujo de los bienes y el rendimiento (expresando en una tasa o capacidad de proceso). Por lo tanto podemos plantear la fórmula de la siguiente manera:

$$\text{Rot. inventarios} = \text{Demanda total} / \lambda * T$$

A menor tiempo de flujo, producto de una mejor planificación, menor inventario inmovilizado, mayor rotación y por lo tanto, mayor eficiencia en la estructura de costos.

Para medir la performance de la cadena de suministro en términos de rentabilidad, basta con multiplicar el índice de rotación de inventarios por el margen de rentabilidad. Así se obtiene el coeficiente de rentabilidad.

$$\text{Coef. de rentabilidad} = \text{rotación de inventarios} * \text{margen de rentabilidad}$$

Cuanto mayor sea la rotación de inventarios, dado un margen de rentabilidad promedio de la empresa, mayor rentabilidad generada por la inversión en inventarios.

La rotación del inventario es un perfecto indicador de rendimiento de la cadena de suministro y queda demostrado que a partir de la implementación de un Plan Maestro de Producción y un Plan de Requerimiento de Materiales este indicador se puede optimizar.



Tabla 3 – Comparativa entre las tres herramientas

Dimensión	Pronósticos de Demanda	Sistemas de Inventario	MPS / MRP
Previsibilidad	Los pronósticos se realizan en forma anticipada, con datos históricos, lo que significa que manejan un elevado nivel de incertidumbre respecto de qué se va a necesitar y para cuándo.	El sistema de inventario no aporta certidumbre sobre las necesidades, simplemente reacciona ante la demanda	El sistema cuenta con total certidumbre proveniente de la planificación conjunta y del plan operativo
Necesidades que soporta	Bienes y servicios rutinarios, con patrones de comportamiento simples de pronosticar	Bienes rutinarios y cuello de botella. Imposibilidad de dar soporte a los servicios	Todo el especto de bienes y servicios, principalmente los estratégicos
Capacidad de respuesta	La capacidad de respuesta está sujeta a la eficacia del pronóstico	La capacidad de respuesta está sujeta al tamaño del inventario	La capacidad de respuesta está sujeta a los lineamientos determinados en el plan maestro. El MRP, en consecuencia puede programar automáticamente todos los requerimientos, responder con inventario o generar los pedidos
Planificación	Los pronósticos de demanda estiman el nivel de actividad a partir de registros de demanda de bienes y servicios históricos. El nivel de actividad lo estima la operación y no la cadena de suministro	La planificación ligada a los sistemas de inventario tiene consecuencias en las contrataciones y en el transporte, a fin de optimizar el mantenimiento de unidades durante el tiempo de aplazamiento	El MRP cuenta con todos los niveles de planificación y en consecuencia programa los tiempos de aplazamiento, duración de los servicios, niveles de inventario necesarios, proveedores disponibles y estrategias de contratación
Comunicación	Flujo de información unidireccional. Provisión de datos y elaboración de pronósticos	Flujo de información unidireccional. Niveles de inventario, cálculo de punto de pedido y cantidades óptimas	Flujo de información bidireccional entre áreas operativas y la cadena de suministros. Mayor retroalimentación
Financieros	Puede estimar niveles necesarios de financiamiento siempre que el pronóstico sea acertado	A mayor tamaño del inventario, mayor condicionamiento a la búsqueda de fuentes de financiamiento	A partir del nivel de actividad definido en el plan conjunto permite mayor margen en tiempos para negociar alternativas de financiamiento
Impacto en los costos	Riesgo de sobreestimación de demanda con impacto en costos de mantenimiento. O riesgos de subestimación, con impacto en costos de oportunidad	A mayor tamaño del inventario para evitar quiebres, mayor costo de mantenimiento.	Mejor planificación de requerimientos de bienes y servicios, menor tiempo de mantenimiento de inventarios, mayor rotación, mayor eficiencia



Capítulo 3 - Trabajo de Campo

El siguiente trabajo de campo se basa en una investigación empírica, de tipo cualitativa, que consiste en la observación puntual de una metodología de trabajo, la comprensión de su funcionamiento y el impacto en los niveles de eficiencia en la organización.

El objeto de estudio es la empresa Pan American Energy, en adelante “PAE”, y la herramienta a analizar es el plan de abastecimiento. La misma constituye una solución integral para gestionar compras y contrataciones de bienes y servicios de un elevado impacto económico en la estructura de costos y una elevada complejidad en el abastecimiento. Esta herramienta permite la participación de la cadena de suministro en todas las etapas de planificación de actividades dentro de la organización. A partir de su uso, la cadena de suministro puede alinearse con la estrategia de toda la organización para el cumplimiento del objetivo primordial: optimizar los márgenes de rentabilidad.

El diseño de la presente investigación es no experimental, ya que el objeto de estudio se analizará con un cierto nivel de intensidad por un período de tiempo corto, con el objetivo de identificar los distintos procesos interactivos que conforman la herramienta y cuál es su impacto en la estructura de costos de la organización.

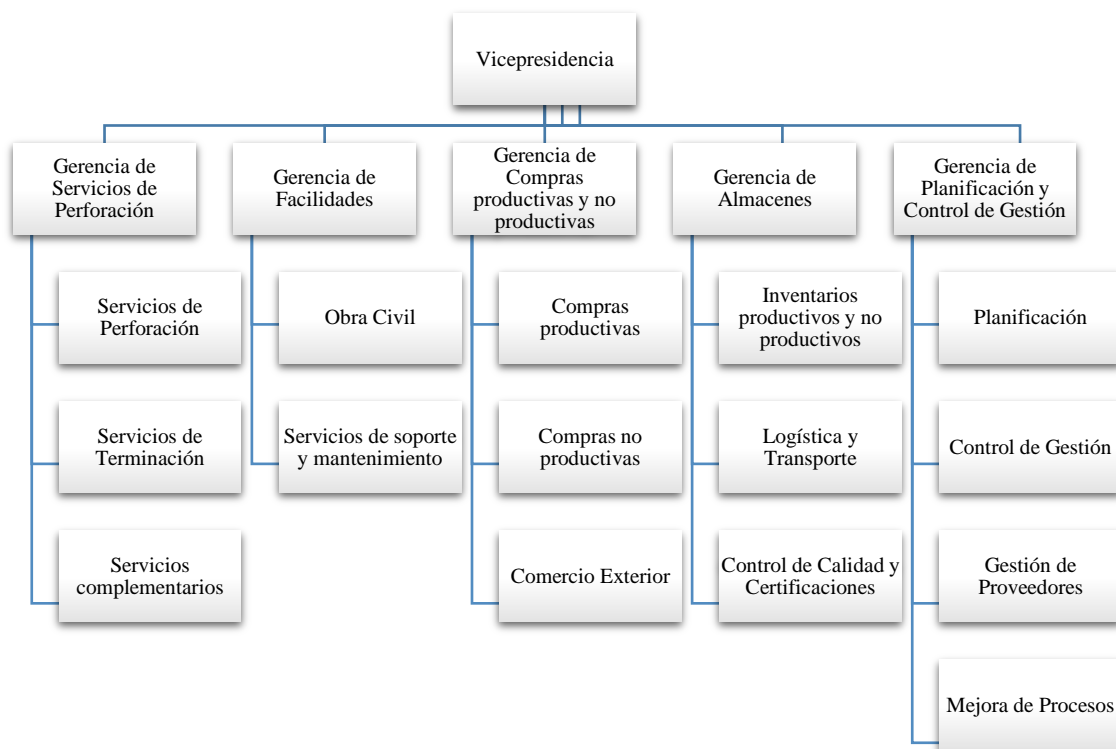
Primeramente, se realiza la descripción de la estructura orgánica de la cadena de suministro de PAE y como articula las actividades de soporte a la operación. Luego se introduce la herramienta “plan de abastecimiento”, medición de desempeño de la herramienta.

Estructura organizacional de la cadena de suministro de PAE

Para conocer como articula sus estrategias de abastecimiento la cadena de suministro de PAE se estructura de la siguiente manera:



Gráfico 11 - Estructura organizacional de la cadena de suministro de PAE



Fuente: Elaboración propia

La cadena de suministro de PAE se estructura para dar soporte específico a cada sector de la cadena de valor del negocio. La gerencia de Servicios de Perforación tiene a cargo la contratación de servicios relacionados a la realización de pozos: contratación de equipos de perforación y su operación, equipos de terminación, cementado, inyección de fluidos, tratamiento de efluentes, tendido de tuberías, instalaciones de superficie, entre otros.

La gerencia de facilidades tiene a cargo todo el desarrollo de la obra civil alrededor de un pozo, o pozos. Instalaciones eléctricas, tendidos de línea, y de la contratación de servicios de soporte, como las comodidades para el personal, grúas, etc.

La gerencia de compras se encarga de todas las compras de materiales vinculados a la operación: como tubulares, agentes químicos, compresores, turbinas para generación eléctrica, válvulas, varillas; y compras no productivas: licencias para software de la compañía, servicios de catering, movilidad, etc. Asimismo, esta gerencia tiene a cargo la compra y contratación de bienes y servicios provenientes del exterior, realizando toda



la gestión logística y aduanera vinculada a la nacionalización de bienes importados, necesarios para dar soporte a los sectores de perforación y facilidades.

La gerencia de almacenes tiene a cargo el manejo de inventario de toda la compañía en todas las unidades de gestión. Además coordina el transporte de materiales desde los depósitos al yacimiento, trabajando directamente con las empresas contratistas y gestiona los controles de calidad de los materiales adquiridos.

Por último se encuentra la gerencia de planificación y control de gestión, que tiene a cargo el diseño y programación de la cadena de suministro y el control de gestión de las actividades realizadas por toda la vicepresidencia. Paralelamente gestiona la cartera de proveedores, mediante auditorías operativas, financieras, impositivas, previsionales y de seguros. También tiene a cargo el sector de catalogaciones, que se encarga de clasificar y codificar cada bien y servicio necesario en la cadena de valor. Por último, bajo esta gerencia funciona un sector de mejoras de procesos, encargado de relevar todas las actividades de todas las gerencias de la cadena de suministro y articular propuestas, basado en un esquema de mejora continua. El desarrollo de las actividades de la cadena de suministro es supervisado y validado por una vicepresidencia ejecutiva, que vela por el cumplimiento de todas las funciones basándose en tres principios clave:

- **Transparencia:** por el apego a los procedimientos internos y normativa en políticas de compras y contrataciones.
- **Eficiencia:** por la asignación flexible de recursos y consciencia del costo total de adquisición.
- **Calidad de servicio:** por el desarrollo de alternativas de suministro, inteligencia de mercado y gestión de proveedores y transporte.

El cumplimiento de estos objetivos está sujeto a la existencia de una herramienta que permita agilizar el flujo de información respecto de la demanda de bienes y servicios estratégicos para la organización y permita gestionar la logística y el abastecimiento de manera eficiente.

La herramienta de gestión: El plan de abastecimiento

Plan de abastecimiento, como se denomina la herramienta en PAE, constituye una solución integral para gestionar las compras, contrataciones, flujos de información y



actividades asociadas a los bienes y servicios surgentes de la actividad de la empresa. El modelo se basa en la teoría del MPS y MRP, anteriormente descrita en el marco teórico, a partir del cual PAE planifica la dotación de bienes y servicios a diferentes niveles. Para realizar el lanzamiento del plan operativo, PAE releva información minuciosa y determina un extenso número de “pozos tipo”, con todos los servicios y materiales que requiere para su confección: proveedores, precios de referencia y tiempos de aplazamiento para la realización de cada pozo. La misma metodología se utiliza para la obra civil y las actividades de producción y mantenimiento de pozos activos. La base de datos se complementa con información provista por el sector de Catalogaciones, a fin de confeccionar la lista de materiales, que se utilizará más adelante en la programación y operación del abastecimiento. Cabe mencionar que a partir del diseño y mantenimiento de esta base, posteriormente se puede proveer soporte a todas las necesidades de los usuarios en la planificación de largo, mediano y corto plazo.

Gráfico 12 - Diseño e implementación del Plan de Abastecimiento de PAE



Fuente: Elaboración propia



Lanzamiento del plan de largo plazo

La primera etapa de la estrategia de abastecimiento está ligada a lo que previamente en el marco teórico se describe como Plan conjunto de operaciones. La cadena de suministro de PAE se reúne con las áreas operativas encargadas de la planificación de los proyectos para los próximos 18 meses. Las áreas operativas determinan el rumbo del negocio a partir de iniciativas y actividades estratégicas a las cuales la cadena de suministro deberá dar soporte desde la logística y el abastecimiento.

En el plan de largo plazo se definen lineamientos generales, como ser la cantidad de equipos de perforación que se contratarán, la cantidad de pozos a perforar por locación y los proyectos especiales con un horizonte no menor a dos años. Cada proyecto será previamente evaluado por el sector de planeamiento económico y financiero de la empresa. Una vez determinada la viabilidad económica de cada proyecto se aprueba o no su realización. Por esta razón que en esta etapa se considera de extrema importancia el flujo de información necesaria la planificación.

Mientras los sectores operativos establecen los cronogramas de perforación y realización de obras junto con la programación de mantenimiento de las instalaciones productivas, la cadena de suministro comienza a articular la estrategia de contratación más conveniente, investiga los mercados, desarrolla potenciales proveedores, capacita a los responsables de compras y contrataciones en caso de tratarse de algún proyecto especial, o bien puede engrosar la base de datos con información sobre nuevos materiales o tecnologías que hacen más eficiente la operación.

Definición del plan de necesidades

Esta etapa se alinea con el Plan Maestro de Producción descrita en el marco teórico. Se definen el número de pozos tipo, las obras y los programas de mantenimiento de pozos productivos. Las actividades de mayor relevancia en el plan maestro están ligadas al número de equipos de perforación y terminación que se pondrán en funcionamiento de acuerdo al cronograma definido en la etapa anterior. A partir de esta decisión, ya se



conoce en qué momento se necesitará la contratación de los servicios correspondientes.

Entre ellos se pueden destacar:

- Preparación de programas operativos de perforación.
- Elaboración de procedimientos operativos de maniobras de perforación, reparación y terminación.
- Realización, reparación, intervención y terminación de pozos.
- Limpieza mecánica de pozos.
- Atención y operación de pozos productores de petróleo, baterías receptoras, plantas de recuperación secundaria, etc.
- Montaje, desmontaje, operación y mantenimiento de oleoductos, gasoductos y poliductos.
- Tratamientos químicos de aguas y crudos.
- Mantenimiento mecánico y reparación de equipos en superficie.
- Mantenimiento, montajes, desmontajes y/o reparadores del sistema eléctrico.
- Reparación y construcción de: tanques, oleoductos, aparatos, herramientas de ensayo y producción, etc.
- Servicio de laboratorio para petróleo y agua.

Las necesidades surgentes de esta etapa serán segmentadas principalmente en función del impacto económico en el negocio y el nivel de complejidad asociado al abastecimiento. En consecuencia se define la estrategia de contratación: licitaciones, contratos marco, subastas electrónicas, sistemas de entrega por consignación, entre otras.

Programa de requerimiento de materiales y servicios

La tercera etapa del plan de abastecimiento es en esencia la herramienta que responde a las necesidades surgentes de la planificación previa. En base a la lista de materiales (y servicios complementarios) elaborada entre la planificación de demanda y el sector de catalogaciones, los pozos tipo, los servicios definidos y los cronogramas preestablecidos, el MRP devuelve un esquema de trabajo con el tipo de necesidad, código de material o servicio, su clasificación, segmentación, el código de proyecto al



cual será asignado y partida presupuestaria, los tiempos de aplazamiento en la compra o disponibilidad en el inventario, proveedores disponibles, precio de referencia, responsable del área de compras o contrataciones, sector y usuario requirente, si es un componente independiente o dependiente de una necesidad vinculada, tipo de transporte asociado.

En caso de tratarse de un componente importado, también incorpora información adicional, como posición arancelaria, arancel de importación, origen, condición recomendada de compra, precios referenciales de flete, seguro y condiciones de entrega.

Además, la herramienta permite el seguimiento del requerimiento de material una vez determinada su adquisición: número de contrato, fecha de vencimiento, el estado de planificación de la necesidad, el estado de ejecución de adquisición, la modalidad de abastecimiento, el flujo de aprobaciones y su activación (certificación de calidad y habilitación para uso) y consumo o depreciación.

Gráfico 13 – Información del Plan de Abastecimiento de PAE

Servicio de equipo de Perforación de pozo																							
Descripción del requerimiento				Presupuesto		Necesidad			Respuesta			Seguimiento											
Código de material	Descripción	Nacional / Importado	Segmento	Categoría	Cantidad requerida	Unidad	Mes de entrega	Precio unitario	Sector requirente	Usuario responsable	Unidad de gestión	Locación	Comprador	Adm. de contrato	Supervisor	Estado de planificación	Estado de ejecución	Modalidad de abastecimiento	Nro. de contrato	Nro. de orden de compra	Fecha vencimiento de contrato	Status	Consumo

Fuente: Elaboración propia.

El rol del planificador de la demanda

El sector de planificación y control de gestión de PAE tiene entre sus responsabilidades el control y actualización del plan de abastecimiento. Entre sus roles están:



- Proveer al área de Planificación económica la información necesaria para la evaluación de proyectos a largo plazo, como ser tendencias en precios, análisis de mercado, producto y proveedores.
- Participar en las instancias de definición del plan de largo plazo, brindando la visión futura de la cadena de suministro y la disponibilidad de recursos.
- Coordinar entre las áreas propias de la cadena de suministro la elaboración del plan de largo plazo y definir iniciativas estratégicas para atender las necesidades de la operación.
- Definir lineamientos de planificación, como el nivel de detalle y la frecuencia de actualización.
- Informar la versión validada del plan de abastecimiento a los clientes internos y a las áreas responsables de compras y contrataciones dentro de la propia cadena de suministro.
- Coordinar las tareas de seguimiento del plan de abastecimiento.
- Mantener actualizado el plan y documentar los desvíos y acciones correctivas asociadas.

Para mantener el control y actualización de la herramienta, el planificador está en constante contacto con la operación, realizando la doble validación de las necesidades y velando por que la demanda sea satisfecha con los mayores niveles de eficiencia.

La medida de performance del plan de abastecimiento

Con el objetivo de medir el impacto de la herramienta en los costos operativos y eficiencia en el abastecimiento se presenta el siguiente set de indicadores de performance de la herramienta y se determina un mapa estratégico con objetivos, indicadores, niveles e iniciativas, todos organizados en un *Balance Scorecard*.



Tabla 4 - Balance Scorecard Plan de abastecimiento de PAE

Mapa Estratégico	Estrategia	KPI	Objetivo	Iniciativas
Financieros	Incrementar el nivel de rentabilidad / Disminuir los costos	ROA	Target +3%	Reducir el volumen de inventario disponible, a partir de una planificación consistente, que permita mantener los niveles de inversión en existencias, pero generando mayor rentabilidad por giro del negocio.
		Coefficiente de rentabilidad	Target + 1,5%	
		Ahorro capturado por categoría	USD	
Clientes (Usuarios)	Elevar el nivel de satisfacción del cliente	% de necesidades planificadas por área	80% mínimo por área	Identificar si las necesidades fuera del MPS pertenecen a urgencias o proyectos especiales, caso contrario tomar nota de los desvíos
		% total necesidades planificadas	80% mínimo	
		% cumplimiento o del plan por categoría	75%	Relevar cada necesidad y compararla contra el MPS a fin de determinar desvíos en la planificación
Procesos	Elevar la capacidad de respuesta	% necesidades estratégicas mapeadas	75%	Comprobar si las necesidades están clasificadas, segmentadas y catalogadas correctamente e incorporarlas a la lista de materiales y servicios correspondiente al proyecto en curso
		% iniciativas estratégicas en curso en tiempo	85%	Verificar que cada necesidad está identificada en la lista de materiales y servicios al momento de aprobar la generación de órdenes de compra y contrato
		% iniciativas estratégicas cumplidas en tiempo	85%	Verificar el status de nota de pedido, orden de compra, performance del proveedor, transporte
RRHH e Infraestructura	Implementación de encuestas de satisfacción	% usuarios encuestados	75%	Verificar que cada necesidad está identificada en la lista de materiales y servicios al momento de aprobar la generación de órdenes de compra y contrato
		% encuestas positivas	65%	Enviar encuestas parciales por servicio puntual y encuesta general a fin de año, a usuarios y gerentes responsables

Fuente: Elaboración propia



Conclusiones

La realidad de la industria a nivel mundial, condiciona a las empresas a incrementar sus niveles de eficiencia tanto operativa como en las actividades de soporte. Por lo tanto, el objetivo de la cadena de suministro será disminuir los costos y a su vez mantener la capacidad de respuesta. Para ser más eficiente en sus funciones la cadena de suministro se debe enfocar en las siguientes dimensiones:

La reducción en los niveles de inventario, la negociación en los precios de bienes y servicios, la optimización de los costos de transporte y la posibilidad de acceder a fuentes de financiamiento más económicas. Todas estas dimensiones tienen un denominador común a la hora de pensar en cómo mejorarlas: **el acceso a la información.**

Para tener el acceso y un mejor manejo de la información, la cadena de suministro debe adquirir un rol más proactivo, involucrándose en todas las etapas de planificación del negocio, trabajando en conjunto con las áreas operativas. Cuanto mayor sea nivel de involucramiento en las actividades centrales del negocio, mayores serán la previsibilidad y margen de maniobra para articular su estrategia.

La industria E&P requiere un gran número de materiales y servicios de naturaleza y prestaciones varias. Dada la naturaleza y dinámica del negocio en Argentina, resulta muy costoso contar con elevados niveles de inventario, principalmente de bienes estratégicos, sin tener la certeza de que se van a necesitar. Mucho menos contratar servicios complejos, como los vinculados a la perforación, sin tener conocimiento de cuando se realizarán las campañas. Existen actividades vinculadas al negocio del E&P que requieren planificación de mediano y largo plazo por parte de áreas operativas. Acceder a esta información permite a la cadena de suministro elaborar su estrategia de abastecimiento y de esta manera, conformar un inventario de bienes y un calendario de contratación acorde al nivel de actividad, bajando de esta manera los costos de mantenimiento y ociosidad.

Por lo tanto, antes de invertir en sistemas de pronóstico de demanda sofisticados o en engrosar el tamaño de los inventarios, las empresas necesitan mejorar la comunicación



interna y agilizar el flujo de información entre los responsables de las actividades de la cadena de valor y los encargados del abastecimiento.

Las herramientas integradas de planificación, como el **plan de abastecimiento**, permiten ponerle un marco formal y automatizar el flujo de información necesario para lograr este objetivo, ya que no solo involucran a planificadores de demanda y especialistas de la cadena de suministro, sino que también participan los encargados de la planificación operativa del negocio.

El hecho de contar con la información antes de reaccionar a la orden de pedido, se traduce en importantes **beneficios** para compradores y administradores de contratos. Como por ejemplo: el margen de tiempo necesario para realizar estudios de mercado, implementar programas de desarrollo de proveedores, confeccionar pedidos de cotización más específicos y mejores pliegos de licitación de servicios. Esto permite elaborar mejores estrategias de contratación, negociar tarifas, conseguir descuentos por entregas en lotes y financiarse con proveedores, a partir del establecimiento de cronogramas de pago.

Otros beneficios capitalizables se traducen en un mejor acceso a fuentes de financiamiento, como los préstamos para inversión en infraestructura, especialmente para la adquisición de plantas de llave en mano o la realización de obras civiles.

Para **funcionar correctamente**, será necesario contar primeramente con un sistema informático ágil que permita el diseño y actualización constante del plan, así como del programa de requerimiento de bienes y servicios. A su vez, se necesitará del involucramiento de todos los responsables de la planificación operativa, para que el plan se mantenga lo más cercano al presupuesto disponible. Finalmente, el compromiso del planificador de demanda para que vele por el cumplimiento del plan de abastecimiento y alerte sobre posibles desvíos.

Asimismo, el plan de abastecimiento permite incorporar una serie de indicadores para **medir su gestión y tomar acciones correctivas** en caso de que no se estén cumpliendo los objetivos del mapa estratégico. Tal cual lo vimos en el desarrollo del trabajo de campo, a través del Balance Scorecard.



Por todo lo expuesto, concluimos que para gestionar los bienes y servicios estratégicos en la industria del E&P en Argentina, el plan de abastecimiento, constituye la mejor solución que una empresa petrolera necesita para articular la estrategia conjunta de abastecimiento.



Bibliografía

- Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro* (Quinta ed.). México: Pearson Education. Recuperado el 18 de Enero de 2016
- Brown, M., Stroud, A., & Partida, B. (2013). *Blueprint for success* (Segunda ed.). Houston: APQC. Recuperado el 5 de marzo de 2016
- Chapman, S. (2006). *Planificación y Control de la Producción* (Primera ed.). México: Pearson Education. Recuperado el Marzo de 2016
- Chase, R., Jacobs, R., & Aquilano, N. (2009). *Administración de Operaciones. Producción y cadena de suministros* (Duodécima ed.). México: Mc Graw Hill. Recuperado el Enero de 2016
- Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación*. (Tercera ed.). México: Pearson Education. Recuperado el Enero de 2016
- Cox, R. (7 de Octubre de 2011). *IIAPS*. Recuperado el 25 de Febrero de 2016, de Excellence in Strategic Procurement: www.iiaps.org
- EIA, T. U. (8 de Febrero de 2011). *EIA.gov*. Obtenido de EIA.gov: www.eia.gov
- Hanke, J., & Reitsch, A. (1996). *Pronósticos en los Negocios* (Quinta ed.). México: Pearson Education. Recuperado el Febrero de 2016
- Hitt, M., Ireland, D., & Hoskisson, R. (2008). *Administración estratégica. Competitividad y globalización. Conceptos y casos* (Séptima ed.). México: Cengage Learning. Recuperado el Marzo de 2016
- IAPG, I. A. (2009). *El abecé del petróleo y del gas : en el mundo y en la Argentina* (Tercera ed.). (M. Kaendl, Ed.) Buenos Aires: Cruz Arcieri & Asociados. Recuperado el 18 de Enero de 2016
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Administración de Operaciones* (Octava ed.). México: Pearson Education. Recuperado el Marzo de 2016
- Kraljic, P. (1983). Purchasing must become supply management. *Harvard Business Review*, 109.

Anexos**Anexo 1 - Descomposición de series de tiempo**

A fin de conocer los valores que vamos a estimar a partir del relevamiento de una serie de tiempos, se presenta el siguiente mapa de definiciones:

L = estimado de demanda desestacionalizada (nivel) durante el período $t = 0$

T = estimado de la tendencia en la demanda por período

S_t = estimado del factor estacional para el período t

D_t = demanda real observada en el período t

F_t = pronóstico de la demanda para el período t

Supongamos que la serie de datos muestra patrones reiterativos al comenzar un nuevo ciclo.

La ecuación para pronosticar demanda a partir de un método estático será:

$$F_{t+1} = [L + (t + 1)T]S_{t+1}$$

Antes de utilizar esta ecuación, debemos estimar los parámetros que forman el componente sistemático: nivel, tendencia y estacionalidad.

Supongamos la siguiente serie en la que se presentan datos de demanda de un producto por 4 años, ordenado por trimestres.

Año	Trimestre	Periodo t	Demanda Dt
1	2	1	8.000
1	3	2	13.000
1	4	3	23.000
2	1	4	34.000
2	2	5	10.000
2	3	6	18.000
2	4	7	23.000
3	1	8	38.000
3	2	9	12.000
3	3	10	13.000
3	4	11	32.000
4	1	12	41.000

Para poder realizar el pronóstico de los períodos 13 al 16, mediante el método estático se deben realizar los siguientes pasos:

- 1) Desestacionalizar la demanda
- 2) Calcular la recta de tendencia de la demanda desestacionalizada y
- 3) Calcular el factor estacional
- 4) Realizar el pronóstico para los próximos períodos, a partir de la extrapolación de la recta de tendencia y corrección por factor estacional

Para desestacionalizar la demanda, primeramente debemos conocer el número de períodos que componen un ciclo en la serie de datos. Como los datos son trimestrales, cada ciclo tiene 4 períodos ($p=4$). Para darle un igual peso a cada estación, se toma el promedio de períodos consecutivos de la demanda. En este caso, por tratarse de un ciclo de 4 períodos, el p promedio es 2. Una vez definido esto, se ejecuta una fórmula que permita calcular cual sería la demanda en caso de no haber fluctuaciones estacionales:

$$\bar{D}_t = \left\{ \frac{D_{t-\left(\frac{p}{2}\right)} + D_{t+\left(\frac{p}{2}\right)} + \sum_{i=t+1-\left(\frac{p}{2}\right)}^{t-1+\left(\frac{p}{2}\right)} 2D_i}{2p} \right\}$$

La fórmula permite obtener una serie de datos desestacionalizados más acotada que la serie original, dada la naturaleza de la fórmula, que utiliza datos de períodos anteriores y posteriores para calcular el período presente. Por esta razón, los datos desestacionalizados se verán del período 3 al 10.

El siguiente paso es calcular la línea de tendencia de la demanda desestacionalizada. Para ello se debe realizar la ecuación de la recta, en donde la ordenada al origen corresponde al nivel de demanda inicial desestacionalizada (L), y cuya pendiente, nos muestra la tendencia de la demanda conforme avanza cada período (T_t). De esta manera, la ecuación se representa de la siguiente manera:

$$D_t = L + T_t$$

Una forma sencilla de calcular esta recta es utilizando el análisis de regresión lineal de MS Excel. *Menú – Datos – Análisis de Datos – Regresión.*

Como Variable dependiente Y se tomarán los valores calculados en la demanda desestacionalizada, mientras que como Variable X independiente, el tiempo expresado en el número de período p .



	<i>Coefficientes</i>
Intercepción	18.439
Variable X 1	524

El volcado de datos nos proporciona los valores intercepción, que es el nivel de demanda desestacionalizada de una serie de datos (L) y la variable x1 que representa la pendiente de la recta de regresión que muestra la tendencia conforme avanzan los períodos de tiempo.

La ecuación de la recta se representa como $D_t = L_t + p_t X1$

A partir de esta ecuación se puede obtener el valor de la demanda desestacionalizada para cada período y pronosticar para los próximos 4 períodos. Solo resta calcular los factores estacionales, a fin de aplicar a los valores pronosticados.

El factor estacional S_t se calcula dividiendo el valor de demanda real del período por el valor de demanda desestacionalizada obtenido a partir del uso de la fórmula de la recta de regresión.

$$S_t = D_i / D_t$$

Año	Trimestre	Periodo t	Demanda Dt	Demanda desestacionalizada	Recta de tendencia de la demanda desestacionalizada	Factor estacional
1	2	1	8.000		18.963	0,42
1	3	2	13.000		19.487	0,67
1	4	3	23.000	19.750	20.011	1,15
2	1	4	34.000	20.625	20.535	1,66
2	2	5	10.000	21.250	21.059	0,47
2	3	6	18.000	21.750	21.583	0,83
2	4	7	23.000	22.500	22.107	1,04
3	1	8	38.000	22.125	22.631	1,68
3	2	9	12.000	22.625	23.155	0,52
3	3	10	13.000	24.125	23.679	0,55
3	4	11	32.000		24.203	1,32
4	1	12	41.000		24.727	1,66

Con el factor estacional obtenido para cada período se realiza un promedio de cada período perteneciente a cada ciclo. Cada ciclo posee 4 períodos, la serie de datos posee 3 ciclos, por lo que si tomamos el período 1, se deberá promediar con el 5 y el 9, que

son sus equivalentes en los ciclos siguientes. Promediando los factores estacionales de períodos que se repiten cada ciclo obtenemos los siguientes factores estacionales promediados:

$$S_{p=13} = (S_1 + S_5 + S_9) / 3 = 0,47$$

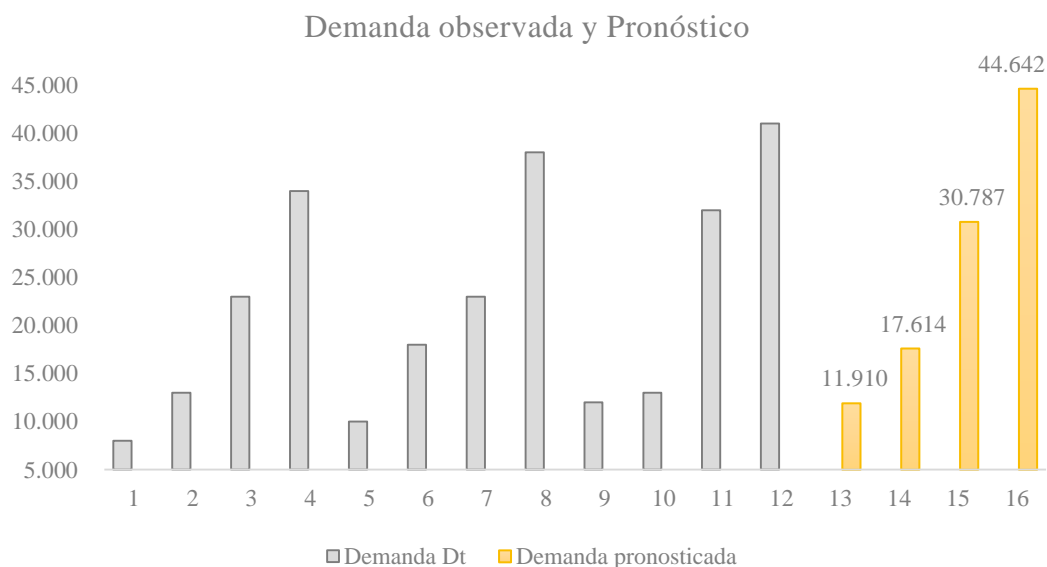
$$S_{p=14} = (S_2 + S_6 + S_{10}) / 3 = 0,68$$

$$S_{p=15} = (S_3 + S_7 + S_{11}) / 3 = 1,17$$

$$S_{p=16} = (S_4 + S_8 + S_{12}) / 3 = 1,67$$

Ahora se puede pronosticar la demanda para los próximos 4 períodos, utilizando la recta de regresión lineal para calcular nivel y tendencia y los factores estacionales promediados para ajustar la demanda por componente estacional y replicar el patrón evidenciado en los ciclos anteriores.

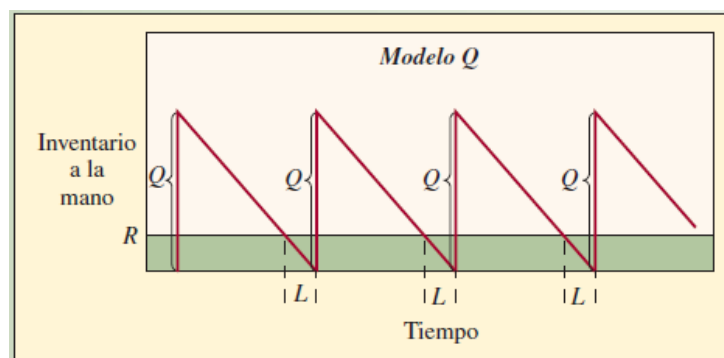
$$F_{t13} = L_{t13} + p_{t13}X1$$



El gráfico muestra los pronósticos realizados del período 13 al 16, respetando nivel, tendencia y corregido por factor estacional.

Anexo 2 – Sistemas de Inventarios**El tamaño de lote óptimo de pedido**

Para determinar la cantidad de pedido óptima es necesario establecer ciertas premisas, que si bien no son totalmente ciertas, establecen un punto de partida para la descripción del modelo. Primeramente, la demanda del producto será conocida, constante y uniforme durante todo el período. Los tiempos de transporte también lo son, así como el precio por unidad. El costo de mantenimiento de inventario se basa en un inventario promedio, mientras que los costos por realizar un pedido se mantienen constantes. Finalmente, se asume que todos los pedidos serán cubiertos y no habrá acumulados.

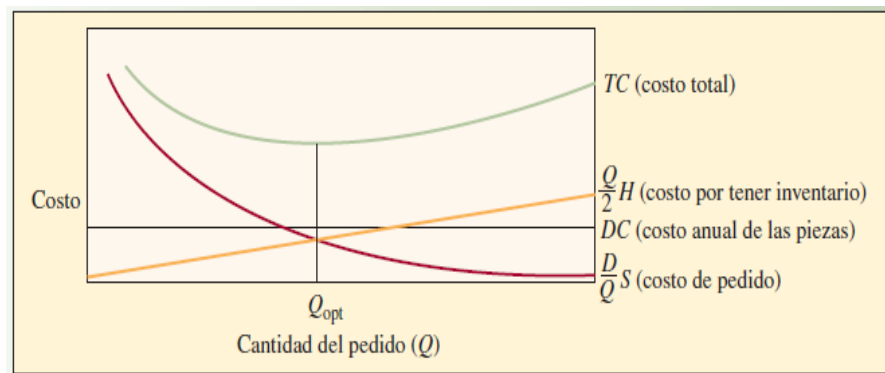
Ilustración 4 - Modelo EOQ

Fuente: “Administración de Operaciones, Producción y Cadena de Suministros” Chase, Aquilano & Jacobs – 2009.

Si todas las premisas previamente descritas se cumplen, el modelo de inventario respeta el formato que se expresa en la figura. Q representa la cantidad económica de pedido y R el punto al que llega la cantidad de unidades restantes en la que se debe realizar un nuevo pedido. El tiempo que transcurre entre que se realiza el nuevo pedido y éste llega se conoce como tiempo de aplazamiento y se representa con la letra L (*en inglés: Lead time*), que según este modelo, nunca varía.

La base para elaborar este modelo de inventario consiste en optimizar el costo anual total, cuya fórmula consta de los siguientes componentes:

$$TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$$

Ilustración 5 - Definición de inventario óptimo

Fuente: “Administración de Operaciones, Producción y Cadena de Suministros” Chase, Aquilano & Jacobs – 2009.

$TC =$ Costo anual total

$D =$ Demanda anual

$C =$ Costo por unidad

$Q =$ Cantidad a pedir (EOQ)

$S =$ Costo de hacer un pedido

$R =$ Punto de re pedido (medido en unidades)

$L =$ tiempo de aplazamiento (desde que se pone la orden hasta que se recibe el material)

$H =$ Costo anual de mantenimiento de inventario: se expresa como porcentaje del costo de la pieza, puede ser costo de oportunidad, almacenaje, depreciación, entre otros)

Resta calcular la cantidad de pedido Q en la que el costo total es el mínimo. En el gráfico se puede reproducir en el punto en que la pendiente de la curva es cero. Esto se calcula tomando la derivada del costo total con respecto a Q e igualándola a cero.

$$\frac{dTC}{dQ} = 0 + \left(\frac{-DS}{Q^2}\right) + H/2 = 0$$

$$Q_{opt} = \sqrt{2DS/H}$$



Suponiendo que la demanda de un período tiene una distribución normal con una media y una desviación estándar, se pretende averiguar la probabilidad de llegar a tener un quiebre de stock en caso de tener un pico de demanda. Para ello se traza una distribución normal para la demanda esperada y posteriormente se observa donde la cantidad disponible cae.

Generalmente se establece un nivel del 95% de probabilidad de no quedarse sin stock. Esto quiere decir que se manejan 1,64 desviaciones estándar de los inventarios de seguridad. Esto puede calcularse con MS Excel utilizando la función:

Distr.Norm.Inv(probabilidad;media;desv_estándar)

Si se realiza esta función con el histórico de datos de demanda de un determinado material se obtiene el número de unidades a retener en stock para tener una determinada probabilidad de no tener un quiebre.

El inventario generalmente corre más riesgo de tener un quiebre durante el tiempo de aplazamiento, entre el momento en que se realiza el pedido al proveedor y este lo entrega. Puede darse que el pico de demanda suceda durante ese período. En tal sentido, en caso de conservar un mayor número de unidades en el inventario para hacer frente al riesgo de ruptura, se debe calcular el punto de re pedido contemplando el stock de seguridad, mientras que el cálculo del pedido de cantidad económica seguirá siendo de la misma forma.

$$R = \bar{d}L + z\sigma_L$$

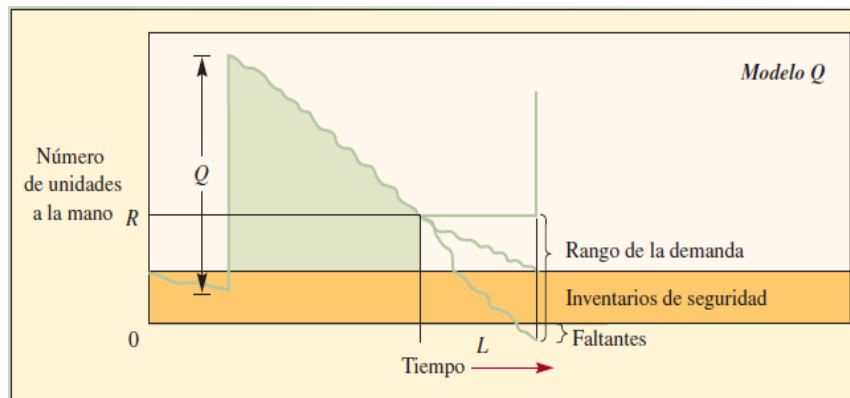
R : Punto de re pedido

\bar{d} : Demanda diaria promedio

L : Tiempo de entrega en días

z : Número de desvíos estándar para un determinado nivel de servicio

σ_L : Desvío estándar del uso durante el tiempo de entrega

Ilustración 6 - Modelo de revisión periódica

Fuente: "Administración de Operaciones, Producción y Cadena de Suministros" Chase, Aquilano & Jacobs – 2009.

Tal como se evidencia en el gráfico, El término $z\sigma_L$ indica el inventario de seguridad, que no es otra cosa más que el punto de re pedido engrosado por el número de unidades que reduce la probabilidad de tener un quiebre de stock. El hecho de que este número de unidades se incremente solo hace que la brecha de tiempo entre pedido y pedido se acorte.

Para calcular la demanda durante el tiempo de aplazamiento se puede tomar como referencia la promesa de entrega del proveedor y multiplicarlo por la demanda del año anterior dividida 365) o bien se puede utilizar los modelos de pronóstico anteriormente descritos para hacer el cálculo de la demanda diaria.

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((d_i - \bar{d}))^2}{n}}$$

Esta fórmula refiere solo a un día, si el tiempo de entrega se extiende varios días se debe calcular de otra manera.

Para calcular la desviación de la demanda durante un tiempo de aplazamiento de más días, es necesario entender antes que la desviación estándar de una serie de ocurrencias independientes es igual a la raíz cuadrada de la suma de las varianzas. En tal sentido,

para un desvío de la demanda de 8 unidades por día y el tiempo de aplazamiento es de 4 días, como cada día se puede considerar independiente, entonces:

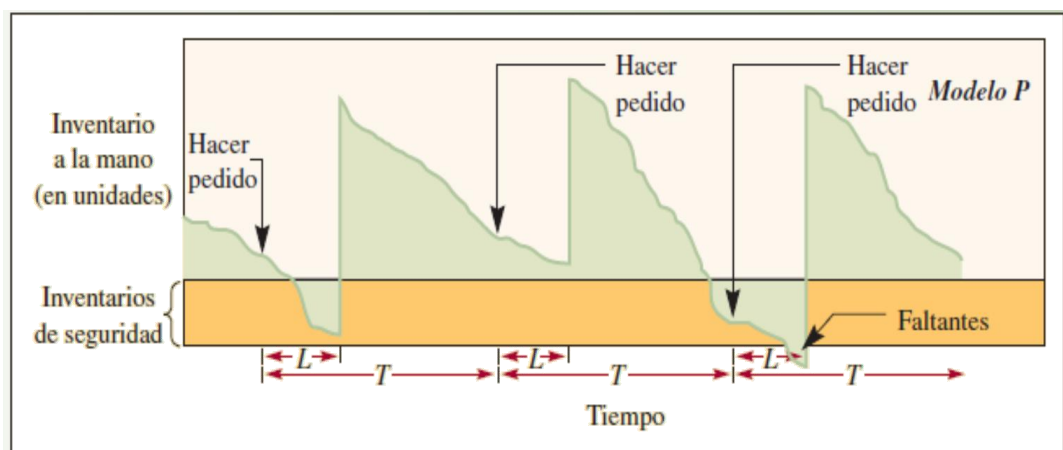
$$\sigma_L = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2}$$

Por último, se debe multiplicar por el número de desviaciones estándar definidas en el nivel de servicio (z) y con eso se obtiene el stock de seguridad.

En la industria petrolera muchos elementos se mantienen en almacenes para agilizar la capacidad de respuesta en caso de suceder alguna contingencia. El criterio que se utiliza para justificar ciertas existencias es que el costo de mantener ciertos elementos en stock es más bajo que el costo de oportunidad por pérdida de producción de un pozo por falta de elementos.

Asimismo, también se conservan inventarios de materiales de uso recurrente de los cuales su nivel exacto de demanda se desconoce, por ejemplo los productos químicos utilizados para la producción del pozo, como los anti corrosivos, desincrustantes o dispersantes.

Ilustración 7 - Inventarios de Seguridad



Fuente: "Administración de Operaciones, Producción y Cadena de Suministros" Chase, Aquilano & Jacobs – 2009.

A diferencia de los sistemas de cantidad única, en estos modelos la demanda tiene una distribución aleatoria alrededor de una media d . La cantidad de pedido se define de la siguiente manera:

$$q = \bar{d}(T + L) + z\sigma_{T+L} - I$$

q: cantidad a pedir

T: el número de días entre revisiones

L: tiempo de entrega en días

\bar{d} : demanda diaria promedio pronosticada

z: número de desviaciones estándar establecidas para un nivel de servicio específico

σ_{T+L} : Desvío estándar de la demanda durante la revisión y el tiempo de entrega

I: nivel de inventario actual

Este modelo también asume que la demanda se distribuye normalmente. Por ello puede ser pronosticada y revisada en cada período de revisión, o utilizarse un promedio anual, según se considere apropiado. Tanto la demanda, como los tiempos de entrega y los períodos de revisión pueden estar expresadas en cualquier unidad de tiempo, siempre que entre ellos sean consistentes.

Modelos de precio descontado

Este modelo está diseñado para contemplar las variaciones de precio en función de la cantidad ordenada. Muchas veces, los proveedores, para asegurarse un determinado volumen de ventas, otorgan descuentos por cantidad, lo que condiciona a los administradores a calcular las cantidades económicas de pedido para cada precio unitario cotizado y en el punto de cambio de precio. Luego se debe revisar si la cantidad es factible, ya que puede suceder que la cantidad económica de pedido calculada resulte mayor o menor que el rango al que corresponde el precio. Lo más conveniente es hacer lo siguiente:

- Clasificar los precios de menor a mayor.

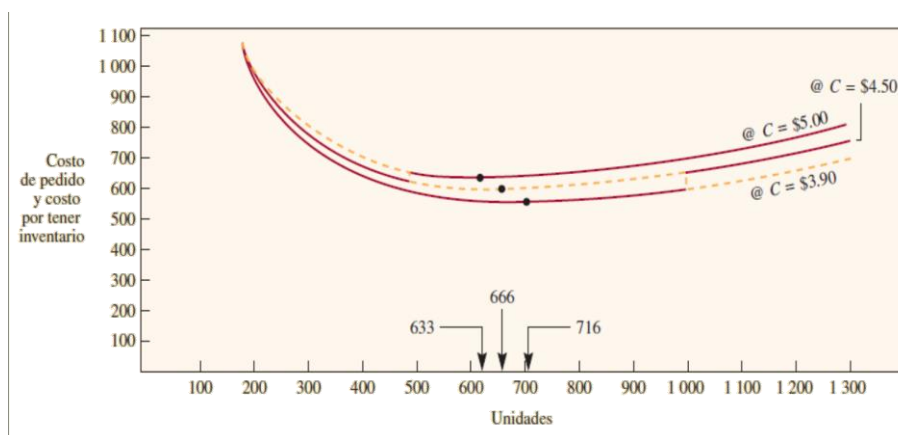
- Calcular el EOQ para cada nivel de precio hasta encontrar alguna que sea factible, es decir, que el precio se encuentre en el rango correcto.
- En caso de que la EOQ factible encontrada corresponde al precio más bajo, se elige esa cantidad y listo.

Caso contrario:

- Calcular el costo total para la primera cantidad económica factible.
- Calcular el costo total en cada precio descontado inferior al precio asociado con la primer EOQ. Esa será la cantidad económica más baja capaz de aprovechar el precio descontado.

La Q óptima será aquella con el costo más bajo.

Ilustración 8 - Modelos de precio descontado



Fuente: "Administración de Operaciones, Producción y Cadena de Suministros" Chase, Aquilano & Jacobs – 2009.

Existen algunos sistemas de inventario sencillos que escapan un poco a la teoría y se adaptan un poco más a la realidad del día a día.

El sistema de resurtido opcional es un método basado en el modelo P, de revisión fija. La diferencia reside en que el tamaño del pedido también lo es, a diferencia del modelo ya descrito cuya cantidad podía variar dependiendo de las existencias remanentes en el inventario.

Paralelamente, se establece un nivel de inventario máximo, representado con la letra M, que se puede calcular en base a la demanda, los costos de hacer un pedido y los costos



de faltantes. Al llegar el período de revisión, la posición de inventario se resta del nivel máximo de resurtido (M). Si el número resultante, llamado q es igual o mayor que Q , se pide q , de lo contrario no se pide nada y se aguarda hasta el próximo período de revisión.

El sistema de dos recipientes se basa en la existencia de un segundo recipiente que provee al primero, obrando de buffer. Éste contiene una cantidad al punto de re pedido calculado anteriormente. Cuando los suministros del segundo recipiente se llevan al primero, automáticamente se hace un pedido para resurtir al segundo. El segundo recipiente se puede utilizar para surtir a varios pozos productivos, manteniéndose separado de las existencias destinadas a cada uno.

El sistema de un recipiente, en cambio, se resurte periódicamente sin importar la cantidad de piezas que hagan falta, en lugar de hacerlo cuando el inventario usado es mayor a la cantidad mínima determinada.