



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONSORCIOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
TECNOLÓGICO APLICADOS A LA EXPLOTACIÓN DE
CRUDOS PESADOS Y EXTRAPESADOS.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA PETROLERA

P R E S E N T A

ANDREA ALICIA DE LA ROSA HERNÁNDEZ



**DIRECTOR DE TESIS
M.I. CARLOS ALBERTO AVENDAÑO SALAZAR**

JUNIO, 2015

Índice

Justificación	1
Introducción	2
Capítulo 1.	
Antecedentes	5
1.1 Panorama Nacional	5
1.2 Recursos Convencionales y No-Convencionales	6
1.3 Importancia de los Crudos Pesados	7
1.4 Viscosidad y Densidad	8
1.5 Clasificación de los Crudos Pesados de Acuerdo a su Viscosidad	9
1.6 Métodos de Recuperación de Crudos Pesados	10
1.7 Mecanismos de Recuperación de Hidrocarburos	12
1.7.1 Recuperación Primaria	12
1.7.2 Fuerzas Presentes en el Yacimiento	13
1.7.2.1 Fuerzas Viscosas	13
1.7.2.2 Fuerzas Gravitacionales	14
1.7.2.3 Fuerzas Capilares	15
1.7.3 Recuperación Secundaria	15
1.7.4 Recuperación Mejorada (EOR)	15
1.8 Métodos de Recuperación Mejorada	17
1.8.1 Métodos Térmicos	17
1.8.1.1 Inyección de Agua Caliente	18
1.8.1.2 Inyección de Vapor	19
1.8.1.3 Inyección Continua de Vapor	20
1.8.1.4 Inyección Cíclica de Vapor	21
1.8.1.5 Inyección de Vapor Asistida por Drene Gravitacional SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage)	22
1.8.1.6 Proceso VAPEX (Vapour Extraction)	23
1.8.1.7 Combustión In-situ	23
1.8.2 Métodos No Térmicos	24
1.8.2.1 Métodos Químicos	24
1.8.2.1.1 Inyección de Polímeros	25
1.8.2.1.2 Inyección de Surfactantes	26
1.8.2.1.3 Inyección de Álcalis	26
1.8.2.2 Métodos Miscibles	26
1.8.2.2.1 Inyección de Nitrógeno	27
1.8.2.2.2 Inyección de Gases de Combustión	27
1.8.2.2.3 Inyección de Dióxido de Carbono	27

1.9 Tecnología y los Métodos de Recuperación de Crudos Pesados	28
Capítulo 2.	
Gestión de Tecnología	30
2.1 Definición de Tecnología	30
2.2 Definición de Gestión	30
2.3 Gestión de Tecnología	30
2.4 Adquisición de Tecnología	31
2.5 Funciones de la Gestión de Tecnología	32
2.6 Etapas de Madurez de la Tecnología	34
2.7 Proceso de Gestión de Tecnología	35
2.8 Identificación de las necesidades tecnológicas de la empresa	37
2.9 Mapa Tecnológico	38
2.10 Innovación Tecnológica	38
2.11 Búsqueda de la Tecnología y Fuentes Tecnológicas	40
2.12 Transferencia de Tecnología	41
2.13 Asimilación de tecnología	42
2.14 La Enseñanza de la Tecnología	45
Capítulo 3.	
Consortios de Investigación y Desarrollo Tecnológico	47
3.2 Líneas Generales de Acción para la Modernización Tecnológica dentro de una Empresa	47
3.4 Desarrollo Tecnológico	48
3.5 Componentes Para El Desarrollo Tecnológico	48
3.6 Factores Internos Y Externos Para Llegar A La Estrategia Tecnológica	50
3.7 Funciones del Desarrollo y Gestión Tecnológica	51
3.8 Adquisición de Tecnología en la Empresa	51
3.9 Desarrollo Tecnológico en la Universidad	53
3.9.1 Investigación Científica e Innovación Tecnológica en la Universidad	54
3.9.2 Vínculo Universidad - Empresa	57
3.10 Beneficios Potenciales de los Consortios	59
Capítulo 4	
Estado del Arte en Recuperación Mejorada para Crudos Pesados y Extrapesados	61
4.1 Retos para Producir Aceite Pesado y Extrapesado	61
4.2 Trabajos de Investigación dentro de los Consortios de Investigación y Desarrollo Alrededor del Mundo	62
4.2.1 Unconventional Oil Recovery, de la Universidad de Alberta.	62
4.2.2 In Reservoir Catalytic Upgrading of Unconventional Oils integrated to Thermal Enhanced Oil Recovery Methods, de la Universidad de Calgary.	62

Índice

4.2.3 Non thermal enhanced heavy oil recovery studies, de la Universidad Heriot Watt.	63
4.2.4 Research on Foam for Enhanced Oil Recovery, de la Universidad Tecnológica de Delf.	63
4.3 Trabajos de Investigación dentro de los Consorcios para Recuperación de Crudos Pesados	63
4.3.1 Heavy Oil Recovery by Alternate Injection of Steam and Solvent (Propane and CO ₂) in Fractured Carbonates and Oilsands	63
4.3.2 Enhancement of Heavy Oil/Bitumen Thermal Recovery Using Nano Metal Particles	63
4.3.3 Pore Scale Investigations on Gravity Drainage Dominated Heavy Oil Recovery Under Non- Isothermal Conditions	64
4.3.4 Low Temperature Air – Solvent Injection into Deep Naturally Fractured Reservoirs for Heavy Oil Recovery	64
4.3.5 Heavy-Oil/Bitumen Recovery by Solvent Injection at Elevated Temperatures	64
4.3.6 Evaluation of Post-CHOPS (Cold Heavy Oil Production with Sands) EOR Methods	65
4.3.7 Optimization of SAGD, ES-SAGD, and SOS-FR (Steam-Over-Solvent Injection in Fractured Reservoirs) Techniques Using Hybrid Optimization Technique	65
4.3.8 Use of Nano-Metal Particles as Catalyst under Electromagnetic Heating for Heavy Oil/Bitumen Recovery	66
4.3.9 Mechanics of Oil Displacement near the Chamber Edge during ES-SAGD	66
4.3.10 Asphaltene Precipitation During Solvent Injection at Different Reservoir Conditions and Its Effects on Heavy-Oil Recovery from Oilsands	66
4.3.11 Investigations on the Solvent Retrieval During the Steam-Over-Solvent Injection in Fractured Reservoirs (SOS-FR) Method	67
4.4 Caso AKAL.	67
4.4.1 Inyección de Espumas	69
Conclusiones	73
Recomendaciones	75
Bibliografía	76
Índice de Figuras y Gráficas	80

Justificación

Este trabajo tiene como objetivo la presentación del modelo de consorcios de investigación y desarrollo tecnológico como una solución viable a los retos actuales en la explotación de crudos pesados y extrapesados.

En las últimas décadas, la amplia demanda de crudo y la notable disminución de las reservas convencionales, ha generado un gran interés en la búsqueda y explotación de yacimientos de crudos más viscosos.

Si bien es cierto que se han logrado avances en las tecnologías de extracción de hidrocarburos, los aceites pesados debido a sus características, sólo pueden ser explotados por medio de la aplicación de métodos más sofisticados de recuperación mejorada y avanzada.

Hoy en día, las Universidades alrededor del mundo ofrecen a la industria una solución a los retos de exploración y explotación actuales, por medio de sus laboratorios experimentales, investigadores y estudiantes. Estos son fuentes de conocimiento embrionario para la solución tecnológica en las diferentes áreas de la industria.

Introducción

En la actualidad más del 85% de la energía mundial es producida a partir de combustibles fósiles, siendo el petróleo el combustible más importante. Con el paso del tiempo la demanda de hidrocarburos se ha incrementado de manera acelerada y se espera que en el futuro siga creciendo debido a que las fuentes alternas de energía no satisfacen las necesidades humanas.

Una gran cantidad de campos petroleros alrededor del mundo han sido explotados durante un largo tiempo y en la actualidad se buscan nuevas opciones que permitan incrementar su recuperación final.

En la industria del petróleo siempre ha sido de vital importancia la maximización de la recuperación del petróleo y gas que se encuentra en el yacimiento. Los factores de recuperación dependen no solo de las condiciones del fluido y calidad del yacimiento, sino también de la tecnología con la que se cuenta, para poder extraer el mayor porcentaje de los hidrocarburos.

Diversos estudios de la EIA estiman que la demanda mundial de energía continuara dependiendo principalmente de los hidrocarburos (crudo y gas). De acuerdo con los pronósticos al año 2030 los hidrocarburos contribuirán aproximadamente con el 60% de la demanda total; entre estos, el petróleo crudo contribuirá con el 35% y registrará un crecimiento anual de 1.6%.

Una proyección realizada por la misma agencia muestra que la producción mundial de petróleo crudo será superior a los 100 millones de barriles por día para el año 2030. Lo más relevante de este análisis es que la producción proveniente de recursos convencionales presenta una tendencia a declinar a pesar del desarrollo acelerado de las reservas existentes, lo que deja clara la importancia de la incorporación de recursos no convencionales y nuevos descubrimientos, así como la aportación de la Recuperación Mejorada.

En el futuro, una parte importante de la producción mundial de petróleo crudo provendrá de recursos no convencionales, como son el aceite pesado, bitumen, aceite de aguas profundas, shale oil/gas, entre otros.

Justificación

A lo largo del trabajo, en el Capítulo 1, se revisarán algunos de los más conocidos métodos de recuperación mejorada, En el Capítulo 2, se abordarán la gestión y asimilación de tecnología, en el Capítulo 3, se estudiarán los consorcios como alternativa para el desarrollo tecnológico y su implementación en las Universidades, y posteriormente en el Capítulo 4, finalizaré con el estado del arte de las tecnologías para la explotación de crudos pesados y extrapesados mencionando, algunos de los consorcios en el mundo. Así como un caso de aplicación en México donde se requirió del trabajo conjunto realizado entre la Empresa Productiva del Estado y el Instituto Mexicano del Petróleo,

Introducción

Capítulo 1. Antecedentes

1.1 Panorama Nacional

El petróleo crudo es uno de los recursos naturales más importantes para México. Su exploración, explotación y transformación permiten satisfacer las necesidades energéticas de los sectores productivos del país. Asimismo, los ingresos petroleros son fundamentales para el crecimiento económico.

En los últimos años, los esfuerzos de la industria petrolera nacional han estado dirigidos a la administración adecuada de la declinación de los yacimientos productores y al incremento de las actividades sustantivas de exploración.

La industria petrolera mexicana ha jugado un papel muy importante en las finanzas públicas. Los ingresos petroleros se componen principalmente por los ingresos de la Empresa Productiva del Estado. En 2011, los ingresos petroleros aportaron 33.7% de los Ingresos Presupuestarios del Sector Público.

En la [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.](#), podemos observar que en 2012, la producción de petróleo crudo fue 2,547.9 miles de barriles diarios, 0.2% menos que el año anterior, equivalente a 4.7 miles de barriles menos, asociados principalmente a la menor producción de los activos Cantarell, Samaria-Luna y Bellota-Jujo. Por otra parte, el consumo nacional fue de 1,172.3 Mbd.

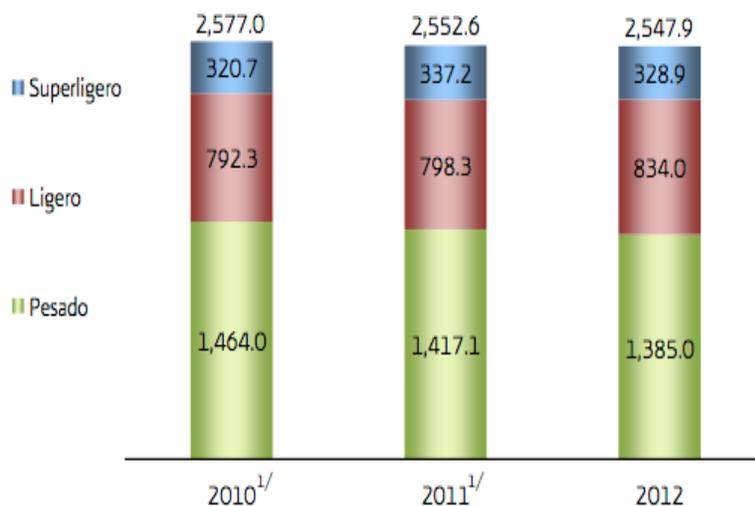


Figura 1.1 Producción de crudo por tipo (miles de barriles diarios). PEMEX, 2012.

1.2 Recursos Convencionales y No-Convencionales

Se conoce como aceite no convencional a cualquier hidrocarburo que requiera de tecnologías de producción considerablemente diferentes a las prácticas comunes de explotación dependiendo de la variación de éstas técnicas con el tiempo. Algunos expertos utilizan la densidad API, la cual debe ser mayor a 20° para considerarlo como no convencional. (CNH, 2012)

Otros expertos utilizan la viscosidad como criterio, considerando que un aceite es convencional si puede fluir a condiciones de yacimiento sin la necesidad de tecnologías para reducir su viscosidad. Las lutitas impregnadas con aceite o gas también se consideran recursos no convencionales.

En la **Figura 1.2** se puede observar que a nivel mundial se estima que un volumen cercano a los 2×10^{12} barriles de aceite convencional, y por otro lado 5×10^{12} barriles de aceite no convencional permanecerán almacenado después de que los métodos de recuperación primaria se hayan utilizado. Es por ello que el desarrollo tecnológico apunta a que una gran cantidad de éste aceite remanente sea extraído por métodos de recuperación mejorada.

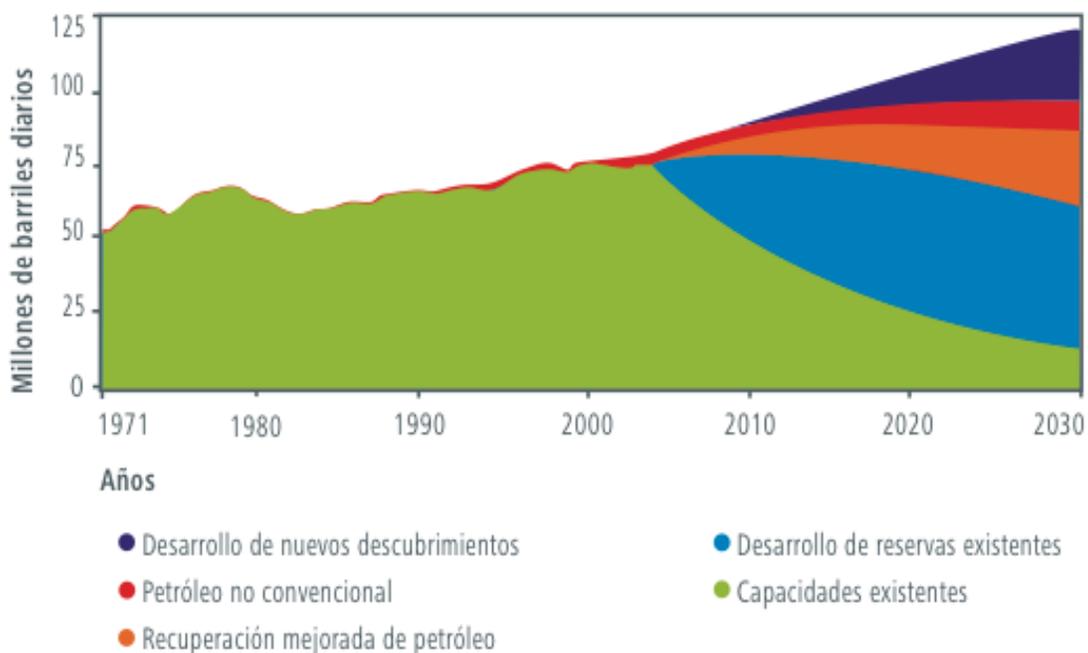


Figura 1.2 Producción mundial de aceite por tipo de fuente (millones de barriles por día). CNH, 2012.

1.3 Importancia de los Crudos Pesados

La mayor parte de los recursos petroleros del mundo corresponden a hidrocarburos con altas viscosidades y con densidades API menores a 22°, los cuales son difíciles y caros de producir y refinar. Con el aumento de la demanda y los precios cambiantes del petróleo, considerando la declinación de la producción en la mayoría de los yacimientos convencionales, la atención de la industria a nivel mundial se está desplazando hacia la explotación de petróleo pesado. Dichos tipos de crudo tienden a poseer mayores concentraciones de metales y otros elementos, lo que exige mayores esfuerzos y erogaciones para la extracción de productos utilizables y la disposición final de residuos.

Tratándose del crudo pesado, generalmente se pospone la extracción debido a las dificultades y costos asociados con su producción. Sin embargo, existen más de 6 trillones de barriles de petróleo pesado, equivalente al triple de reservas combinadas de petróleo y de gas convencionales del mundo.

Si bien otros factores tales como la porosidad, la permeabilidad y la presión determinan cómo se comportará un yacimiento, la densidad y la viscosidad del petróleo son las propiedades que dictan el enfoque de producción que tomará una compañía petrolera.

La viscosidad a la temperatura de yacimiento es generalmente la medida más importante para un productor de hidrocarburos porque determina cuán fácilmente fluirá el aceite en el medio poroso. La densidad es más importante para el refinador de petróleo debido a que es un mejor indicador de los derivados de la destilación. Desafortunadamente, no existe una correlación clara entre las dos.

La viscosidad puede variar en gran medida con la temperatura. La densidad varía poco con la temperatura, y se ha convertido en el parámetro más común para categorizar estos tipos de crudo.

Debido a que el petróleo pesado es menos valioso, más difícil de producir y más difícil de refinar que los crudos convencionales, surge la pregunta acerca del porqué del interés de las compañías petroleras en comprometer recursos para extraerlo, la respuesta esta basada en las estadísticas que señalan que el petróleo convencional representa sólo un 30% del total de reservas de petróleo en el

mundo, y el 70% restante corresponde a petróleo pesado, extrapesado y bitumen.

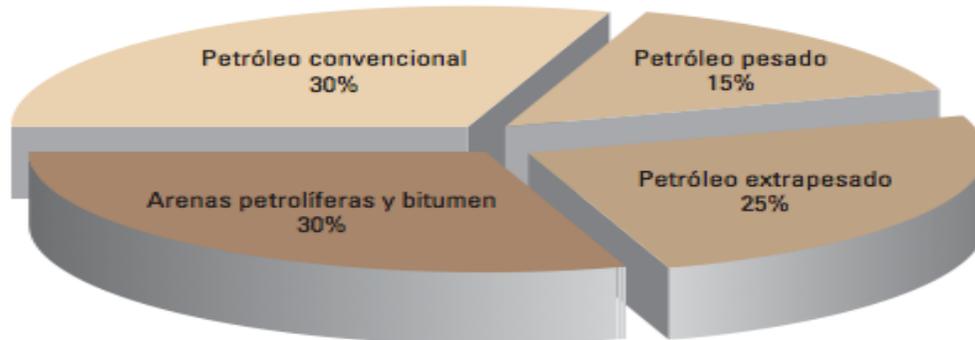


Figura 1.3 Total de Reservas de Petróleo en el Mundo. SLB, 2006.

1.4 Viscosidad y Densidad

La viscosidad y la densidad del aceite son las propiedades que determinan los requerimientos de operación y diseño para las instalaciones de producción de crudos pesados, debido a que el petróleo puede presentar un amplio rango de densidades y viscosidades, en función de las condiciones de presión y temperatura en las que se encuentra.

La viscosidad es la propiedad más significativa ya que será determinante para el flujo desde el yacimiento hasta la superficie, la viscosidad de un aceite pesado puede estar en el rango de 100 [cP] a 600 [cP]. Los aceites extrapesados pueden presentar viscosidades mayores a 1,000,000 [cP] a condiciones de yacimiento. El hidrocarburo más viscoso es el bitumen, que se encuentra en estado sólido a temperatura ambiente.

La densidad se define usualmente en grados API (American Petroleum Institute) comparándola con la gravedad específica del agua, mientras más denso es el petróleo, más baja es la densidad API. Si el aceite tiene una densidad API mayor a 10 grados éste es más ligero que el agua. La densidad API va desde 4 grados para un bitumen rico en brea hasta 70 grados para los condensados. Los crudos con API menores a 10 grados se clasifican como extrapesados, ultrapesados o superpesados.

El departamento de Energía de los Estados Unidos de América, define al petróleo pesado como aquel que presenta densidades API entre 10 y 22.3 grados.

1.5 Clasificación de los Crudos Pesados de Acuerdo a su Viscosidad

No existe ninguna relación estándar entre densidad y viscosidad, pero los términos “pesado” y “viscoso” tienden a utilizarse en forma indistinta para describir los crudos pesados, ya que tienden a ser más viscosos que los petróleos convencionales. Con base en la viscosidad a condiciones de yacimiento, las reservas de aceites pesados se han clasificado en cuatro categorías (CNH, 2014):

- Clase A. Aceites pesados

Estos aceites presentan una gravedad entre 18 y 25 [°API], con una viscosidad entre 100 [cp] $> \mu > 10$ [cp].

En esta clasificación se incluyen aceites pesados contenidos en depósitos que poseen parámetros de roca y líquido adecuados para operaciones de recuperación térmica. Tales parámetros son:

- Yacimientos de areniscas a profundidades menores a 3000 [m].
- Arenas saturadas de aceite con un espesor neto mayor a 3 [m].
- Saturaciones comunes del aceite en el yacimiento mayores de 0.09
- La viscosidad del aceite en el yacimiento debe ser suficiente para que el aceite pueda moverse a condiciones de yacimiento.

- Clase B. Aceites extra pesados

Estos aceites presentan una gravedad entre 7 y 18 [°API], 10,000 [cp] $> \mu > 100$ [cp], son móviles a condiciones de yacimiento. Sin embargo, se requiere implementar algunas mejoras para lograr la recuperación térmica.

- Clase C. Arenas bituminosas y bitumen

Poseen una densidad entre 7 y 12 [°API], $\mu > 10,000$ [cp], no son móviles a condiciones de yacimiento. El término bitumen se utiliza para describir el aceite más pesado de los espectros de aceites pesados.

El término bitumen también puede aplicarse a una mezcla viscosa natural conformada principalmente por hidrocarburos más pesados que el pentano con posible contenido de compuestos de azufre y que en su estado viscoso natural no es recuperable a través de un pozo. El bitumen, es un sólido a temperatura ambiente y se ablanda fácilmente cuando se calienta.

El término de arenas bituminosas es aplicado a menudo a las arenas del área de Athabasca en Canadá, las cuales son recuperables mediante procesos muy

similares a los usados en la minería. Lo que tienen en común las arenas bituminosas con los aceites pesados es que en comparación con los aceites convencionales tienen alto contenido de asfaltenos, azufre y metales. Un alto contenido de componentes no hidrocarburos está asociado con valores de gravedad API bajos, que al combinarse con una disminución de componentes ligeros reduce el valor comercial del aceite.

- Clase D. Lutitas con alto contenido de aceite (Oil Shales)

Las formaciones de lutitas no contienen aceite libre sino una materia orgánica llamada querógeno. Éste debe ser calentado aproximadamente a 700 [°F], temperatura a la cual se descompone el aceite, los gases y el coque de la lutita. Las lutitas se encuentran en estado sólido y no fluyen; por lo que se utilizan procedimientos similares a la minería para su explotación.

1.6 Métodos de Recuperación de Crudos Pesados

Al iniciar la producción de un aceite pesado, se presenta una considerable caída de presión a lo largo de todos los nodos del sistema integral de producción. Esto se debe principalmente a que su alta viscosidad impide la continuidad del flujo.

Los métodos de recuperación de petróleo pesado se dividen en dos tipos principales, según la temperatura. Esto se debe a que la propiedad clave del fluido, es decir la viscosidad, depende significativamente de la temperatura; cuando se calientan, los petróleos pesados se vuelven menos viscosos. Los métodos de producción en frío, es decir, aquellos que no requieren el agregado de calor pueden ser utilizados cuando la viscosidad del petróleo pesado en condiciones de yacimiento es lo suficientemente baja como para permitir que el petróleo fluya a regímenes económicos. Los métodos asistidos termalmente se utilizan cuando el petróleo debe ser calentado para fluir.

El método original de recuperación de petróleo pesado en frío es la minería. Gran parte de la explotación de petróleo pesado por el método de minería tiene lugar en las minas a cielo abierto de Canadá.

Algunos petróleos pesados pueden ser producidos a partir de pozos, por producción primaria en frío. Gran parte del petróleo de la faja de petróleo pesado del Orinoco, en Venezuela, está siendo recuperado actualmente mediante producción en frío, mediante la perforación de pozos horizontales y multilaterales

para alcanzar la mayor parte del yacimiento posible. Se inyectan diluyentes, tales como la nafta, para reducir la viscosidad del fluido y, mediante el empleo de tecnología de levantamiento artificial, tal como los sistemas de bombeo electrosumergibles (ESP) y los sistemas de bombeo de cavidad progresiva (PCP), se llevan los hidrocarburos a la superficie para ser transportados hasta una unidad de tratamiento. Una de las ventajas del método es su menor inversión de capital con respecto a las técnicas asistidas termalmente, pero el factor de recuperación también es bajo; entre 6 y 12%.

Cada crudo pesado, extrapesado y bitumen posee su propia relación de temperatura y viscosidad, pero todos siguen esta tendencia, reduciéndose la viscosidad al aumentar la temperatura. Los métodos de producción primaria pueden ser utilizados cuando la viscosidad del crudo pesado en condiciones de yacimiento es lo suficientemente baja como para permitir que el crudo fluya a regímenes rentables. Los métodos asistidos térmicamente se utilizan cuando el crudo debe ser calentado para fluir.

Los métodos mejorados de recuperación asistida de petróleo pueden destrabar los hidrocarburos atrapados en muchos yacimientos de petróleo pesado. La inyección de agua caliente ha tenido un éxito limitado. El agua no transfiere el calor tan efectivamente como lo hace el vapor, y la gran diferencia de viscosidad entre el agua y el petróleo pesado da como resultado un barrido menos que óptimo.

Las grandes cantidades de petróleo pesado y ultrapesado dominan las reservas de hidrocarburos del mundo, pero los recursos de petróleo y de gas convencionales que se producen más fácilmente, sobrepasan sus pesadas contrapartes en cuanto a los niveles de producción actuales. Gran cantidad de reservas de los hidrocarburos más pesados aguardan nuevas tecnologías que transformarán su explotación en proyectos económicamente posibles.

Para los productores de petróleo dedicados a la recuperación de petróleo pesado, el éxito de una operación requiere una inversión a largo plazo. La alta viscosidad del petróleo pesado aumenta las dificultades de transporte y de obtención de productos comerciables, requiriendo de técnicas de refinamiento especiales y por ende más costosas. En casos como este el valor de la tecnología depende de la habilidad para reducir el costo total. Debido a que la

mayoría de los campos de petróleo pesado son someros, los costos de perforación no han constituido el factor dominante, pero el uso creciente de pozos horizontales y multilaterales ha introducido costos adicionales en la etapa de desarrollo. El costo primario reside típicamente en la energía necesaria para generar e inyectar el vapor requerido para movilizar los petróleos viscosos.

México posee un gran volumen de petróleo pesado, el cual contribuye con 52.2 por ciento de las reservas totales. Si los yacimientos de petróleo pesado poseen una ventaja con respecto a sus contrapartes más livianas, ésta es su longevidad. Los campos de petróleo pesado pueden permanecer en producción durante 100 o más años, lo que quiere decir que las inversiones que se realicen ahora van a reeditar mucho en el futuro.

1.7 Mecanismos de Recuperación de Hidrocarburos

Los procesos de recuperación se han organizado en tres categorías. La clasificación tradicional, que divide en una secuencia cronológica de tres etapas a los procesos de recuperación, no es tan general, ya que existen condiciones de producción no convencional que hacen que los métodos extracción no sean aplicados en el orden establecido.

Un aspecto común de todos los mecanismos de producción es la reducción en la presión del yacimiento con el tiempo, debida a la extracción de fluidos para su producción.

1.7.1 Recuperación Primaria

La recuperación primaria está regida por las fuerzas que intervienen en el flujo de los fluidos a través del medio poroso, éstas son las fuerzas viscosas, gravitacionales y capilares.

Este proceso se caracteriza por la variación de la presión en el yacimiento, los ritmos de producción, la relación gas-aceite, la afluencia del acuífero y la expansión del casquete de gas. Son muy diversos los factores que afectan el comportamiento del yacimiento, las características geológicas, las propiedades roca-fluido, la mecánica de fluido y las instalaciones de producción, así como la calidad de la administración del yacimiento, debido a que un mismo yacimiento explotado de manera diferente permite obtener distintos factores de recuperación.

Capítulo 1. Antecedentes

La eficiencia de desplazamiento depende principalmente de los mecanismos de producción básicos que se presentan en yacimientos bajo la etapa de producción, los cuales se pueden apreciar en la **Tabla 1.1**.

Tabla 1.1 Mecanismos Básicos de Producción. CNH, 2012.

Mecanismo	Presión del yacimiento	Relación Gas-Aceite (RGA)	Producción de agua	Eficiencia	Otros
Expansión roca-fluidos	Declina rápido y continuamente $p_i > p_b$	Permanece baja y constante	Ninguna (excepto en yacimientos con alta S_{wi})	1-10% Promedio: 3%	
Empuje por gas disuelto	Declina rápido y continuamente	Primero baja, luego sube a un máximo y cae nuevamente	Ninguna (excepto en yacimientos con alta S_{wi})	5-35% promedio: 20%	Requiere bombeo al comienzo de la producción
Empuje por casquete de gas	Declina lento y continuamente	Aumenta continuamente en pozos terminados en zonas estructurales altas	Ausente o insignificante	20-40% Promedio: 25% o más	La sugerencia del gas en los pozos terminados en zonas estructuralmente bajas indican un empuje por gas
Empuje por acuífero	Permanece alta y es sensible a la producción de aceite, gas y agua	Permanece baja si la presión permanece alta	Aumenta apreciablemente y los pozos terminados en zonas estructuralmente bajas producen agua muy temprano	35-80% Promedio: 50%	N calculado por balance de materia cuando W_e no se considera
Segregación gravitacional	Declina rápido y continuamente	Permanece baja en pozos terminados en zonas estructurales altas	Ausente o insignificante	40-80% Promedio: 60%	Cuando $k > 200$ mD y el ángulo del yacimiento $> 10^\circ$ y la μ_o es baja (< 5 cp)

La etapa de recuperación primaria alcanza su límite cuando la presión del yacimiento es tan baja que los índices de producción no son económicos, o cuando las proporciones de gas o agua en la corriente de producción son demasiado elevadas.

1.7.2 Fuerzas Presentes en el Yacimiento

Un yacimiento se encuentra en equilibrio estático cuando todos los fluidos que contiene se encuentran en reposo y la suma de las fuerzas que intervienen en el flujo de las fases es igual a cero.

1.7.2.1 Fuerzas Viscosas

Las fuerzas viscosas (F_v) son una consecuencia del transporte de la cantidad de movimiento molecular en los fluidos. Para los fluidos newtonianos en régimen laminar esta fuerza puede definirse a partir de las leyes de flujo capilar, como:

$$F_{\mu} = -\frac{\mu_f}{k_f} v_f \Delta V \quad \text{Ec. 1.1}$$

Donde k_f es la permeabilidad efectiva a la fase, y v_f y μ_f La velocidad y la viscosidad del fluido. El signo negativo indica que el sentido en que actúa la fuerza es contrario a la velocidad, es decir, las fuerzas viscosas se oponen al movimiento del fluido.

1.7.2.2 Fuerzas Gravitacionales

La fuerza gravitatoria más común es el peso que ejerce una columna de fluido (F_g) sobre un elemento de volumen del yacimiento,

$$F_p = -\rho_d g \nabla h \Delta V \quad \text{Ec. 1.2}$$

Donde ρ_d es la densidad del fluido, g es la gravedad y h la altura de la columna de fluido. Nuevamente, el signo negativo indica que la fuerza actúa hacia abajo.

Otra fuerza gravitacional en el yacimiento, es la fuerza de empuje (F_e), que actúa como la oposición de un fluido al peso de otro material, desplazándolo hacia arriba,

$$F_e = \rho_f g \nabla h \Delta V \quad \text{Ec. 1.3}$$

Donde ρ_f es la densidad del fluido desplazado.

En un yacimiento las fuerzas de empuje y el peso de los fluidos actúan conjuntamente cuando parte del volumen que originalmente satura una sección de la formación es reemplazado por otra fase; por ejemplo, cuando una burbuja de gas se forma dentro del aceite, la fuerza de empuje será la principal causante de su ascenso a la cima del yacimiento. A la fuerza resultante de la suma de estos efectos se le denomina fuerza de segregación (F_{sg}).

$$F_{sg} = F_g + F_e = (\rho_f - \rho_d) g \nabla h \Delta V \quad \text{Ec. 1.4}$$

De acuerdo a las densidades de los fluidos del yacimiento, el gas es el que recibe

mayor empuje en dirección vertical, pues en su ascenso desplaza fluidos más pesados.

1.7.2.3 Fuerzas Capilares

La Fuerza de capilaridad (F_c) es causada por la atracción o repulsión de las moléculas de un fluido a las moléculas de los sólidos de la formación, causando su movimiento a través del medio poroso. A partir de la ecuación de Young-Laplace, es posible definir a las fuerzas capilares como:

$$F_c = \frac{2\sigma \cos \theta}{rh} \quad \text{Ec. 1.5}$$

Estas fuerzas favorecen el ascenso del agua contenida en un acuífero asociado a un yacimiento petrolero, así como de los fenómenos de histéresis capilar.

1.7.3 Recuperación Secundaria

Este proceso agrega energía al yacimiento con el fin de proveer un empuje adicional mediante la inyección de fluidos en forma inmisible (gas, agua y combinaciones). El propósito de la recuperación secundaria es mantener la presión del yacimiento y desplazar los hidrocarburos hacia el pozo.

Después de la aplicación de un proceso de recuperación secundaria se podrían esperar factores de recuperación de entre 30 y 50% del volumen original. Siendo la inyección de agua el método más utilizado.

La etapa de recuperación secundaria alcanza su límite cuando el fluido inyectado se produce en cantidades considerables de los pozos productores y la producción deja de ser económica.

1.7.4 Recuperación Mejorada (EOR)

La recuperación mejorada se refiere a la recuperación de aceite obtenida al inyectar materiales que normalmente no están presentes en el yacimiento o que son inyectados a condiciones específicas con el fin de alterar considerablemente el comportamiento físico-químico de los fluidos del yacimiento.

Estos métodos de recuperación permiten extraer volúmenes de aceite que normalmente no se podrían obtener económicamente por los métodos

convencionales de recuperación primaria y secundaria. La aplicación óptima de cada tipo depende de la temperatura, la presión, la profundidad, la zona productiva neta, la permeabilidad, el petróleo residual y las saturaciones de agua, la porosidad y las propiedades del fluido del yacimiento, tales como la gravedad API y la viscosidad.

Los métodos de recuperación mejorada se puede clasificar en dos grandes grupos: térmicos (inyección de vapor, agua caliente y combustión) y no térmicos (inyección de químicos como surfactantes, polímeros y álcalis e inyección de gases miscibles).

Los métodos térmicos se han usado ampliamente para el desplazamiento de aceites pesados, mientras que los procesos químicos y con gases miscibles son usados en aceites intermedios a ligeros. De todos los métodos EOR, los térmicos tienen la menor incertidumbre y proporcionan cerca del 70% de la producción mundial proveniente de los métodos de recuperación mejorada. Por otro lado, la inyección de químicos es más compleja, por lo que el grado de incertidumbre aumenta.

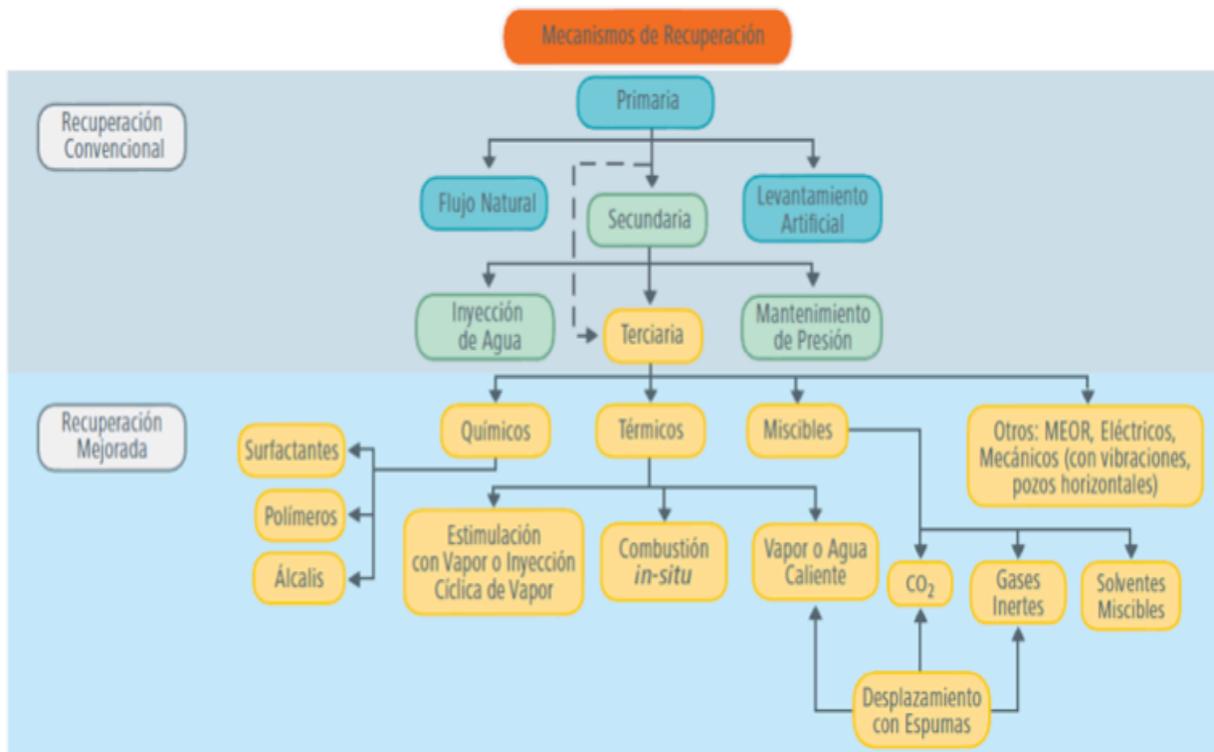


Figura 1.4 Clasificación de los Métodos de Recuperación. CNH, 2012.

1.7.5 Recuperación Avanzada (IOR)

La recuperación avanzada se refiere a cualquier técnica de recuperación utilizada para incrementar la recuperación de aceite por cualquier medio posible. Dichas técnicas pueden incluir a la recuperación secundaria y los métodos EOR; sin embargo también abarcan un amplio rango de actividades de ingeniería como eficiencia de barrido con pozos de relleno, pozos horizontales, polímeros para el control de la movilidad, así como prácticas avanzadas de caracterización y administración de yacimientos.

1.8 Métodos de Recuperación Mejorada

La aplicación de las técnicas de recuperación mejorada está directamente relacionada con el precio internacional del crudo, ya que esto representa una inversión adicional para la extracción del aceite; sin embargo, a medida que el petróleo se agote y su costo siga aumentando, el uso de estas tecnologías será cada vez más importante.

Prácticamente todas las grandes compañías operadoras cuentan con áreas y recursos de investigación dedicados exclusivamente al estudio, aplicación o implementación de técnicas de recuperación mejorada. En la **Tabla 1.3** una breve descripción de los principales métodos de recuperación mejorada.

Tabla 1.2 Efectos Físicos de los Métodos de Recuperación Mejorada. SLB, 2006.

Método EOR		Soporte de presión	Mejoramiento del barrido	Reducción de la IFT	Alteración de la mojabilidad	Reducción de la viscosidad	Dilatación del petróleo	Hidrocarburo fase única	Cambio composicional ¹	Factor de recuperación incremental
Inyección de agua	Inyección de agua									Caso base ²
	Agua preparada									Bajo
Inyección de gas: inmiscible	Hidrocarburo									Moderado
	CO ₂									Alto
	Nitrógeno o gas de chimenea							3	3	Moderado
Inyección de gas: miscible	Hidrocarburo								4	Alto
	Hidrocarburo WAG								4	Muy alto
	CO ₂									Alto
	CO ₂ WAG									El más alto
Método térmico	Vapor									Alto
	Aire a alta presión									Alto
Método químico	Polímero									Bajo
	Surfactante									Moderado
	ASP									Alto

1.8.1 Métodos Térmicos

El objetivo general de los métodos térmicos es desplazar el aceite, y mejorar las condiciones de flujo del mismo mediante la transferencia de energía térmica hacia el yacimiento.

La temperatura del aceite se eleva drásticamente por lo que se expanden los fluidos; se evaporizan algunos líquidos; y se reducen las viscosidades lo que genera un aumento de la movilidad. De forma general, estos métodos consisten en la inyección de vapor o agua caliente y la inyección de aire bajo diferentes esquemas. Se aplican a yacimientos de aceites pesados y viscosos, los cuales tienen densidades menores a 20°API y viscosidades entre 200-2000[cP] aproximadamente.

Se pueden diferenciar dos categorías dentro de los métodos térmicos: aquellos en los cuales el calor es producido en superficie (Inyección de un fluido caliente) y aquellos en los cuales el calor es creado en la formación (Combustión in-situ). En el primer caso el fluido inyectado transmite el calor producido, mientras que en el segundo caso el fluido inyectado es uno de los reactivos incluidos en una reacción exotérmica que toma lugar en el yacimiento. El calor suministrado fluye desde la zona calentada, por lo que la pérdida de calor será mayor en el primer caso.

1.8.1.1 Inyección de Agua Caliente

En este proceso el agua debe ser calentada a una temperatura mayor que la temperatura original del yacimiento, pero menor a la temperatura de vaporización del agua a condiciones de yacimiento. En el yacimiento el agua caliente fluye dentro de la formación perdiendo calor hasta tomar la temperatura del yacimiento. Inmediatamente después de la inyección de agua comienza a formarse una zona caliente y un banco de agua fría. El banco de agua fría continúa aumentando delante de la zona caliente la cual también aumenta pero en menor cantidad. Esto ocurre debido a que la transferencia de calor es casi instantánea. Los beneficios de la inyección de agua caliente ocurren mucho tiempo después de que el agua fría es producida por el pozo productor y la recuperación de aceite tiene necesariamente altos gastos de agua-aceite.

Los beneficios económicos dependen primordialmente del calor requerido para producir más aceite. El costo depende de la cantidad de calor perdido en los alrededores de la formación. Este depende del espesor del yacimiento, temperatura y gasto del agua, la profundidad de la formación y las características de las rocas del yacimiento. En general el porcentaje de calor perdido disminuye mientras el gasto de inyección y el espesor del yacimiento aumenta. El mayor

problema en la inyección de agua caliente es la gran movilidad del agua caliente y la baja movilidad del aceite. Éste causa un barrido muy deficiente resultando una alta recuperación de agua y una pobre recuperación de aceite. La inyección de agua caliente se puede aplicar en yacimientos que contienen hidrocarburos ligeros con viscosidades del orden de 100cp, principalmente si el yacimiento ya ha estado bajo un proceso de inyección de agua.

1.8.1.2 Inyección de Vapor

El mecanismo de recuperación de crudo mediante inyección de vapor considera al vapor a lo largo de un medio poroso que inicialmente contiene crudo y agua. El aceite en la vecindad inmediata de la inyección es vaporizado y empujado hacia delante, una fracción del crudo no se vaporiza y se deja atrás pero a una elevada temperatura debido al calor provisto por el vapor.

El vapor que avanza eventualmente se condensa en agua (debido a las pérdidas de calor hacia formaciones adyacentes), por lo que se genera un banco de condensado caliente. Este banco empuja al crudo al frente a medida que éste se mueve, enfriándose a temperatura del yacimiento. A partir de aquí el proceso de desplazamiento continúa en un modo que podría ser semejante a la inyección convencional de agua.

Es claro que hay tres distintas zonas de flujo: la zona de vapor, la zona de condensado caliente y el banco de aceite. Los puntos de interés de la inyección de vapor son: inyectar vapor para desplazar el aceite del yacimiento, reducción de la viscosidad, expansión térmica y suministro de presión para transportar el crudo hacia los pozos productores.

El vapor es inyectado continuamente dentro de uno o más pozos, las zonas alrededor del pozo de inyección se calientan a la temperatura de saturación de vapor y estas zonas se expanden hacia los pozos productores. Se pueden identificar tres zonas de acuerdo a los perfiles de temperatura:

Zona 1. En la zona más cercana al pozo de inyección la temperatura es alta y disminuye solo ligeramente de acuerdo a la temperatura de saturación del vapor a la presión correspondiente, la cual disminuye en dirección del flujo. La saturación del crudo es baja debido a la vaporización de sus componentes más volátiles, pero permanece aproximadamente constante. La temperatura de la matriz es

prácticamente igual a la del vapor. En esta zona existen tres fases: el crudo, el agua y el vapor, de las cuales sólo las dos últimas son móviles.

Zona 2. En esta zona el vapor está en contacto con la matriz fría y se condensa, así que la temperatura es un promedio entre la temperatura del vapor y la del medio poroso. Durante la condensación, la temperatura disminuye y los hidrocarburos vaporizados se condensan de la misma forma que el vapor.

Zona 3. En esta zona el desplazamiento se lleva a cabo por agua caliente. La saturación de crudo residual es reducida por un incremento en la temperatura.

Las pérdidas de calor son una parte importante en un proyecto de inyección de vapor ya que una gran parte de la energía térmica es utilizada para calentar la roca y sólo una parte de esta energía se usa para calentar los fluidos de la formación. Se han propuesto varios métodos para obtener la mayor recuperación con el menor gasto de energía térmica. Este proceso se puede observar en la **Figura 1.3.**

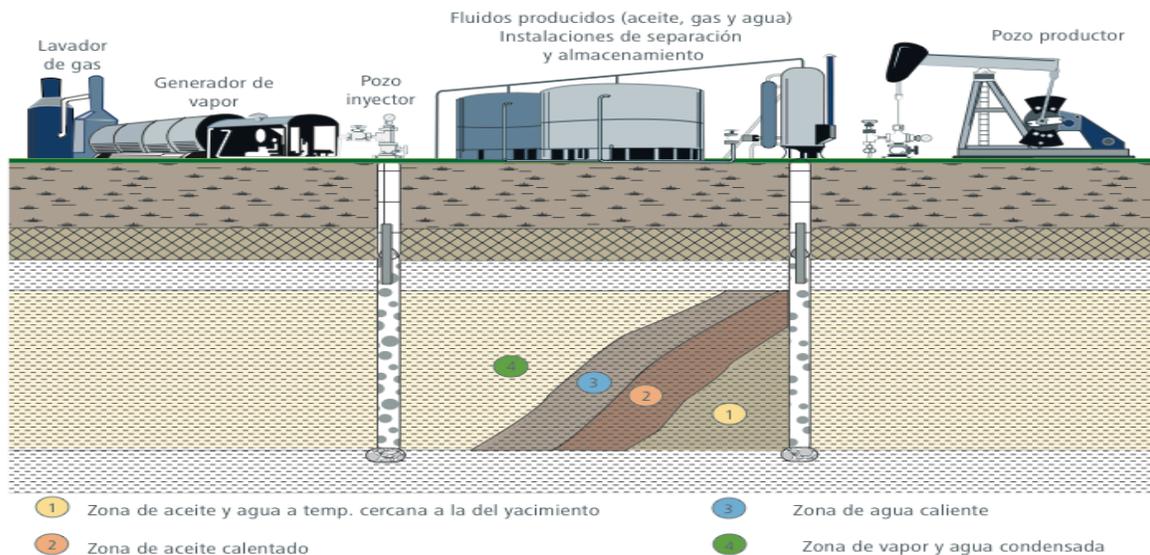


Figura 1.5 Diagrama de Inyección de Vapor. CNH, 2012.

1.8.1.3 Inyección Continua de Vapor

Es un método de recuperación mejorada aplicado principalmente a crudos pesados. Del mismo modo que la inyección de agua, este mecanismo es un

arreglo entre pozos de inyección y producción.

La técnica consiste en la inyección de vapor continuamente al yacimiento desde un pozo inyector, con el fin de aumentar la temperatura del aceite y disminuir su viscosidad para propiciar su flujo hasta el pozo productor. En este caso, las pérdidas de calor son mayores, por lo que el tamaño del arreglo es un punto importante a considerar.

El proceso de la inyección continua de vapor crea una zona de vapor que avanza a una tasa siempre decreciente (pérdidas). Para disminuir las pérdidas, se debe reducir el volumen de inyección hasta un valor conveniente, más tarde se interrumpe por completo y se introduce agua caliente o fría mientras que los productores se mantienen abiertos.

1.8.1.4 Inyección Cíclica de Vapor

La inyección cíclica de vapor es conocida como proceso “huff and puff”, en este proceso el vapor es inyectado al yacimiento durante un tiempo y posteriormente el pozo se cierra con el fin de calentar el yacimiento, después el pozo se abre para producir el crudo mediante un sistema artificial de producción para la extracción del fluido. La estimulación cíclica de vapor “huff and puff” consiste en tres períodos:

- *Periodo de inyección.* El vapor inyectado calienta la roca y los fluidos del pozo, después el vapor se canaliza en el yacimiento mediante segregación gravitacional. El vapor inyectado puede penetrar una fracción del yacimiento, por lo que se busca inyectarlo en donde el crudo es más viscoso. Esta etapa dura de 2 a 6 semanas.
- *Periodo de cierre o inundación.* Una vez que el volumen de vapor deseado es inyectado, el pozo es cerrado durante un tiempo determinado con el propósito de maximizar la transferencia de calor al yacimiento. En esta etapa el agua y el crudo experimentaran un proceso de expansión térmica. La duración del periodo de inundación depende de la cantidad de vapor inyectado, por lo general es de 3 a 14 días.
- *Periodo de producción.* Una vez que el calor es transferido al yacimiento mediante el vapor, el crudo presenta una alta movilidad. A medida que la

presión capilar se reduce como resultado de la expansión térmica, el crudo fluye hacia el pozo productor. Esta etapa puede variar de unos meses hasta un año.

Debido a que este método generalmente se aplica a yacimientos que se han sometido a procesos de recuperación primaria, el yacimiento no cuenta con la energía suficiente para elevar los fluidos del fondo del pozo a la superficie, por lo que es común instalar algún sistema artificial de producción como por ejemplo bombeo mecánico. El número de ciclos depende del factor económico, el primer ciclo es más eficiente y tiene mayor duración. En los siguientes ciclos se tienen periodos de tiempo más cortos y la producción es menor.

1.8.1.5 Inyección de Vapor Asistida por Drene Gravitacional SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage)

Este método fue desarrollado especialmente para su aplicación en las arenas bituminosas, específicamente para la recuperación del aceite in situ. El proceso aprovecha la segregación vertical de vapor a través de un par de pozos horizontales.

El vapor inyectado en el pozo superior calienta el petróleo pesado, reduciendo su viscosidad. La gravedad hace que el petróleo movilizado fluya en sentido descendente, hacia el productor horizontal inferior. La comunicación inicial se establece entre el inyector y el productor mediante inyección de vapor o inyección de solvente.

La idea básica del proceso es la inyección de vapor cerca del fondo del yacimiento, este vapor por densidad sube a la parte superior del yacimiento, y el condensado junto con el petróleo el cual se le redujo su viscosidad cae al fondo debido a la gravedad, los cuales son producidos, mientras el bitumen es drenado a la superficie, el espacio poroso que inicialmente estaba saturado con petróleo es ocupado por el vapor.

Al inicio del proyecto se inyecta vapor en ambos pozos con la finalidad de crear una cámara de vapor que caliente los fluidos del yacimiento, de esta manera el crudo disminuye su viscosidad para lograr fluir hacia el pozo productor por el mecanismo de segregación gravitacional. El factor de recuperación estimado para este método oscila entre 50 y 70%.

1.8.1.6 Proceso VAPEX (Vapour Extraction)

Es un método para la obtención de crudo pesado, tiene la variante de utilizar un vapor solvente para movilizar el crudo, el vapor solvente se condensa en el crudo y reduce su viscosidad. Se utiliza un solvente (metano, etano, propano ó butano) que es inyectado dentro de un pozo de inyección horizontal donde se difunde y se mezcla en el crudo pesado, reduciendo su viscosidad por medio de la transferencia de masa. Adicionalmente al inyectar vapor se genera calor que favorece la disminución de la viscosidad.

El proceso VAPEX consiste en inyectar solventes de hidrocarburos vaporizados de bajo peso molecular dentro del yacimiento a través de un pozo de inyección horizontal. En este proceso el solvente asciende lentamente para formar una cámara de vapor en la matriz de la roca y se disuelve en el crudo en la interfaz solvente-aceite diluyendo la mayor parte de éste. Los solventes son disueltos inicialmente en el crudo alrededor del pozo inyector hasta que el crudo diluido se drena y se puede extraer en los pozos productores por efecto de la gravedad.

1.8.1.7 Combustión In-situ

El proceso se inicia bajando un calentador o quemador que se coloca en el pozo inyector. Luego se inyecta aire hacia fondo del pozo, se pone a funcionar el calentador hasta lograr el encendido. Después se calientan los alrededores del fondo del pozo, se saca el calentador, pero se continua con la inyección de aire para mantener el avance del frente de combustión, lo que permite que el fluido sea menos viscoso y se pueda optimizar la producción de petróleo.

El principio de la combustión in-situ es generar calor por medio de la combustión dentro del yacimiento, quemando los componentes más pesados del aceite para mejorar la calidad del crudo producido. Mientras la zona de combustión generada se propaga, el crudo se calienta haciendo que las fracciones más volátiles se vaporicen debido al craqueo térmico por el aumento de la temperatura.

Si la temperatura de la zona alrededor del pozo de inyección es elevada a una temperatura suficientemente alta, la ignición toma lugar en la vecindad y el frente de combustión viaja en la dirección del flujo de fluidos hacia pozo productor, este proceso se conoce como combustión directa. Por otro lado, si la zona alrededor del pozo de producción es calentada, la ignición comienza cerca de este pozo y el frente de combustión viaja hacia el pozo de inyección en dirección contraria al

flujo de fluidos, este proceso se conoce como combustión inversa. Existen dos formas de llevar a cabo los procesos de combustión in-situ de manera directa, estos son combustión seca y combustión húmeda, la diferencia radica en la inyección de agua en forma alternada con el aire, creándose vapor que contribuye a una mejor utilización del calor y reduce los requerimientos de aire.

1.8.2 Métodos No Térmicos

Los métodos no térmicos abarcan los procesos químicos y los miscibles. Otros métodos, que no caen estrictamente en las categorías de miscibles o químicos, incluyen empujes de gas inmisible por dióxido de carbono, gases inertes y otros.

1.8.2.1 Métodos Químicos

Los métodos de recuperación químicos incluyen la inyección de polímeros, surfactantes y álcalis. Estos productos son inyectados con el objetivo de reducir la tensión interfacial y/o disminuir la relación de movilidad a fin de reducir la canalización. Todos estos métodos involucran una mezcla de químicos y otras sustancias en agua. Por consiguiente, estos métodos requieren condiciones favorables para inyectar agua, es decir; viscosidades de bajas a moderadas, y permeabilidades de moderadas a altas. Por lo tanto, la inyección de químicos es usada para aceites más viscosos que aquellos que se pueden recuperar con la inyección de algún tipo de gas o bien para aquellos que sean menos viscosos que los económicamente recuperables mediante el uso de métodos térmicos.

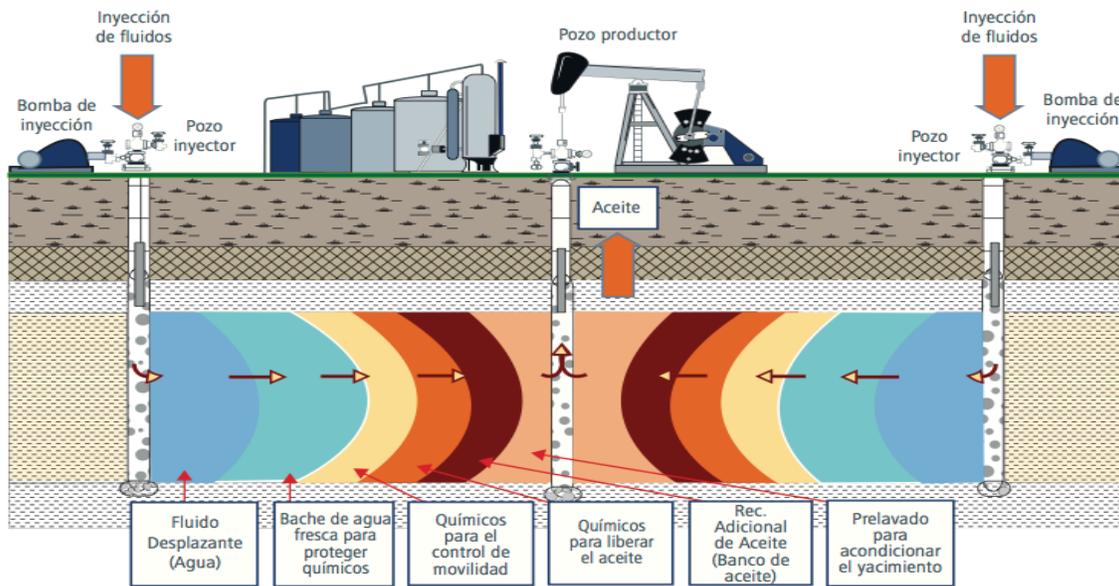


Figura 1.6 Proceso de Inyección de Químicos. CNH, 2012.

1.8.2.1.1 Inyección de Polímeros

La invasión con polímeros es una modificación de la inyección de agua y consiste en añadir al agua de inyección un tapón de polímeros de alto peso molecular antes de que esta sea inyectada en el yacimiento, esta propiedad hace que mejore la relación de movilidad agua-aceite. Con los polímeros, se forma un banco de petróleo que se empuja como en la inyección de agua convencional.

El efecto primario del polímero es hacer densa al agua de tal manera que sea más eficiente en desplazar el petróleo. La inyección polimérica probablemente no reduce la saturación residual del petróleo, pero reduce la cantidad de agua que debe ser inyectada antes de alcanzar la saturación residual.

Este método se aplica principalmente en formaciones de arenas con fluidos ligeros a intermedios, con porosidades buenas o intermedias. Debido a la movilidad de los polímeros, la permeabilidad no debe ser muy baja ni la viscosidad muy alta. La profundidad es un factor crítico, ya que se puede relacionar con la temperatura del yacimiento, la cual influye en la estabilidad de los químicos.

1.8.2.1.2 Inyección de Surfactantes

Los surfactantes son compuestos orgánicos provenientes de petróleo crudo y otros aditivos, que mezclados a bajas concentraciones en agua reducen la tensión interfacial. Son moléculas que contienen un segmento liposoluble (soluble en aceite) y otro hidrosoluble (soluble en agua). La solubilidad parcial tanto en agua como aceite permite al surfactante ocupar la interface.

Generalmente, esta técnica se aplica luego de procesos de recuperación por inyección de agua. Sin embargo, se puede obtener recuperación para yacimientos que han sido inicialmente producidos por inyección de vapor.

1.8.2.1.3 Inyección de Álcalis

Este método consiste en la inyección de soluciones cáusticas o alcalinas en la formación. Estos reactivos químicos reaccionan con los ácidos orgánicos presentes naturalmente en los crudos con lo cual se logra generar o activar surfactantes naturales que traen como consecuencia directa mejoras en la movilidad del crudo a través del yacimiento y hacia los pozos productores, bien sea por reducción de la tensión interfacial, por un mecanismo de emulsificación espontánea o por cambios en la mojabilidad. Puede resultar positivo cuando el aceite tiene un bajo pH (alta acidez). La acidez normalmente se debe a la presencia de resinas y asfaltenos.

Los agentes alcalinos además, reaccionan con la superficie de la roca del yacimiento alterando así la mojabilidad, ya sea la superficie de la roca mojada por aceite o bien mojada por agua.¹

El tamaño de un bache para una solución alcalina es de alrededor de un 10 al 15% del volumen poroso del yacimiento, y las concentraciones de los químicos alcalinos son normalmente de un 0.2 a un 5%.¹

Aun cuando este método ha resultado ser eficiente para crudos con altos contenidos de ácidos orgánicos, unos de los mayores problemas de este proceso es la reacción química de las soluciones alcalinas con los minerales de la formación.

1.8.2.2 Métodos Miscibles

También conocidos como ‘Desplazamientos miscibles’ éstos procesos consisten en inyectar un agente desplazante completamente miscible con el petróleo existente. Algunos de los fluidos que se pueden utilizar en este proceso son gas

natural, gas licuado de petróleo, dióxido de carbono, nitrógeno y gases de combustión.

1.8.2.2.1 Inyección de Nitrógeno

Es el proceso mediante el cual se inyecta gas nitrógeno en un yacimiento. La miscibilidad del nitrógeno puede alcanzarse solamente con petróleos ligeros que estén a presiones elevadas; por lo tanto, el método miscible es adecuado solamente en yacimientos profundos.

El nitrógeno ha sido utilizado exitosamente para reemplazar el gas natural en la recuperación de petróleo.

1.8.2.2.2 Inyección de Gases de Combustión

Los gases de combustión se refieren a los gases que se producen después de un proceso de combustión, son una mezcla de CO_2 y otros gases. Desplazan al aceite por transferencia de masa, de componentes intermedios del aceite al gas inyectado, y por la subsecuente condensación de los componentes intermedios con mayor peso molecular a la fase líquida.

1.8.2.2.3 Inyección de Dióxido de Carbono

El dióxido de carbono es un gas incoloro, de olor penetrante y sabor ácido. Cuando se inyecta en el yacimiento éste se vuelve soluble en el aceite residual a medida que los hidrocarburos ligeros se disuelven en el CO_2 y éste se disuelve en el aceite. Esto ocurre principalmente cuando la densidad del CO_2 es alta (cuando está comprimido) y cuando el aceite contiene volumen significativo de hidrocarburos ligeros. Por debajo de una presión dada el CO_2 y el aceite dejarán de ser miscibles.

La recuperación de petróleo se da mediante el aumento de volumen, la reducción de la viscosidad y el aumento de la densidad. Algunas de las ventajas asociadas con el uso de CO_2 son la remoción de bloqueos formados por emulsiones, el incremento de la permeabilidad de las formaciones carbonatadas, así mismo previene el hinchamiento de las arcillas y la precipitación de hidróxidos de aluminio y de hierro.

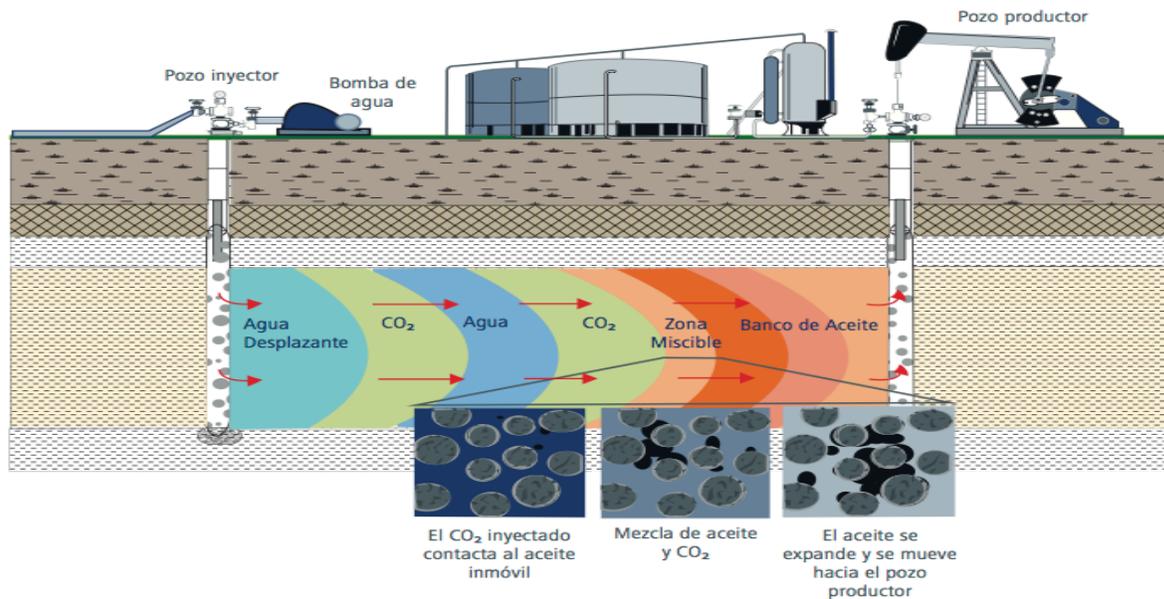


Figura 1.7 Inyección de Dióxido de Carbono. CNH, 2012.

1.9 Tecnología y los Métodos de Recuperación de Crudos Pesados

Mucha de la tecnología que hace varios años se creía diseñada para impactar en los métodos de producción no se ha materializado adecuadamente. La década de los 90's marcó un avance en las tecnologías para la exploración, perforación y producción logrando reducir considerablemente los costos de descubrimiento y desarrollo.

Actualmente se está prestando mayor atención en el mundo a las cuestiones ambientales, debido a una creciente conciencia pública y gubernamental. Por lo anterior, se ha aumentado la atención en las actividades específicas de las compañías explotadoras y productoras de hidrocarburos, requiriéndoles compromiso con la protección ambiental mediante la adopción de políticas ambientales corporativas.

Hoy en día el panorama de la industria petrolera a nivel mundial nos permite observar la creciente demanda de hidrocarburos a la par de una declinación exponencial en la producción de los mismos. Estudios recientes, señalan que 20% de la producción de petróleo del mundo en el año 2030 provendrá de los métodos de recuperación mejorada. Tomando como punto de partida el hecho

de que gran parte de los yacimientos a nivel mundial se encuentran en etapa madura de explotación se puede asegurar, que los métodos de recuperación mejorada juegan un papel fundamental en la explotación de hidrocarburos.

Dada la diversidad de métodos disponibles, la selección del mejor método para un yacimiento en particular requiere de un estudio general que incorpore diversos factores que describan completamente al yacimiento. Se deben tomar en cuenta sus características petrofísicas y de fluidos, el factor económico y el nivel de desarrollo de la tecnología disponible en el mercado, ya que si bien es cierto que existen técnicas anteriores vigentes hoy en día, es de suma importancia adaptarlas y optimizarlas a los retos actuales, para lo que el impulso de la investigación, desarrollo y aplicación de nuevos métodos de recuperación juega un papel fundamental.

Es cierto que la recuperación mejorada genera expectativa, por lo que los estudios sobre este tema han aumentado de manera exponencial debido al gran interés comercial que tienen estas tecnologías para el aumento en la producción de crudo a nivel mundial y con ello garantizar el abastecimiento de petróleo.

Existen muchas razones para creer que los avances tecnológicos continuarán; es por esto que el conocimiento, experiencia y madurez serán esenciales para el éxito de los métodos de recuperación mejorada y así obtener un desarrollo rentable de los recursos.

El petróleo pesado desempeña un rol muy importante en el futuro de la industria petrolera y la seguridad energética. Muchos países están interesados en incrementar su producción, revisar las estimaciones de reservas, comprobar las nuevas tecnologías e invertir en infraestructura, para asegurarse de no dejar atrás sus recursos de petróleo pesado.

Capítulo 2. Gestión de Tecnología

2.1 Definición de Tecnología

La tecnología es el medio a través del cual se traslada el conocimiento científico a la solución de problemas concretos de una manera efectiva.

Se define como “El sistema de conocimientos e información derivado de la investigación, de la experimentación o de la experiencia y que unido a los métodos de producción, comercialización y gestión que le son propios, permite crear una forma reproducible o generar nuevos o mejores productos, procesos o servicios”

2.2 Definición de Gestión

En la última década, la gestión ha despertado un interés creciente, siendo ampliamente utilizada por muchas organizaciones. Gestión es el conjunto de actividades de planeación, control y ejecución que tiene como propósito establecer los elementos de un proceso en una empresa, sea ésta administrativa o técnica. Por proceso se entiende como un conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan para transformar componentes o actividades en productos o servicios con valor agregado, así que se trate de un proceso interno de una empresa hacia el exterior de ésta

2.3 Gestión de Tecnología

Es el conjunto de procesos administrativos que aseguran a la organización el uso eficiente de sus recursos tecnológicos, es decir, el conjunto de procesos, métodos y técnicas que utiliza una organización para conocer, planear, desarrollar, controlar e integrar sus recursos y actividades tecnológicas de forma organizada, de tal forma que apoyen el logro de sus objetivos estratégicos y operacionales y de esta manera aumentar sus ventajas competitivas, aumentar la creación de nuevos conocimientos, generar ideas que permitan obtener nuevos productos, procesos y servicios o mejorar los existentes.

2.4 Adquisición de Tecnología

Es el proceso de identificación, selección y obtención, fuera de la organización, de la tecnología necesaria para su operación actual y futura. Existen diversas modalidades de adquisición, entre otras: compra, licenciamiento, transferencia, asociaciones de riesgo compartido, alianzas estratégicas, franquicias y proyectos de investigación y desarrollo de tecnología contratados por la empresa con centros de investigación, universidades, centros tecnológicos, empresas de ingeniería; dependiendo de las diferentes alternativas tecnológicas disponibles para cada proceso, que pueden satisfacer la solución requerida por una necesidad tecnológica.

Una empresa adquiere tecnología para solucionar problemas de producción, fabricar un nuevo producto, mejorar las características de desempeño de su producto actual, hacer más eficiente su proceso, cambiar el proceso actual por uno más eficiente, aumentar la capacidad de producción, optimizar la producción de los equipos y sustituir los viejos y obsoletos por unos nuevos, entre otras razones.

Por su parte, los factores más significativos que determinan la opción de adquisición de una tecnología son:

- Posición relativa de la empresa en el área tecnología correspondiente a la tecnología que se va a adquirir, es decir, entre más capacidad tecnológica tenga la empresa, mejor posición tendrá para seleccionar, negociar y asimilar tecnología.
- Urgencia de adquisición por parte de la empresa. Cuanto mayor sea la necesidad, la empresa optará por adquirir una tecnología que le aporte mayor certeza de aplicación inmediata o de adaptación en el plazo más corto.
- Capacidad y compromiso de la empresa para invertir en la adquisición de tecnología. Se refiere a su posibilidad real de invertir en la tecnología y al compromiso de inversión que tiene que asumir la empresa según el método de adquisición que seleccione.

- Posición de la tecnología en su ciclo de vida. Esto es, de acuerdo con las siguientes etapas: inicio o lanzamiento al mercado, crecimiento, madurez y decadencia.
- Tipo de tecnología involucrada, de acuerdo con su importancia que de acuerdo a su importancia estratégica para la empresa puede ser de tres tipos:
 - Tecnología básica: es la necesaria para poder fabricar; es conocida por todos los competidores, se encuentra al alcance de cualquier empresa y se puede acceder a ella de manera relativamente fácil.
 - Tecnología crítica: genera ventajas competitivas tales como la diferenciación del producto o costos inferiores a los de la competencia; soporta la posición competitiva de la empresa.
 - Tecnología emergente: se encuentra en proceso de desarrollo y su impacto comercial es desconocido, si bien puede ser atractivo para el futuro.
- Disponibilidad de la tecnología, en función del grado de dominio y del conocimiento que se tiene de la tecnología. Depende de la posición competitiva de la empresa en su sector.

2.5 Funciones de la Gestión de Tecnología

Cuando las actividades de gestión de tecnología se realizan de forma secuencial, sistemática, tienen objetivos y metas claras, y muestran cómo las cosas cambian en el tiempo, constituyen la base de un proceso de gestión de tecnología. Dichas actividades, son las siguientes:

- Vigilar. Es la búsqueda en el entorno de señales e indicios que permitan identificar amenazas y oportunidades de desarrollo e innovación tecnológica que impacten en el negocio.
- Planear. Es el desarrollo de un marco estratégico tecnológico que le permite a la organización seleccionar líneas de acción que deriven en

Capítulo 2. Gestión de Tecnología

ventajas competitivas. Implica la elaboración de un plan tecnológico que se concreta con una cartera de proyectos.

- **Habilitar.** Es la obtención, dentro y fuera de la organización, de tecnologías y recursos necesarios para la ejecución de los proyectos incluidos en la cartera.
- **Implantar.** Es la realización de los proyectos de innovación hasta el lanzamiento final de un producto nuevo o mejorado en el mercado, o la adopción de un proceso nuevo o sustancialmente mejorado dentro de la organización. Incluye la explotación comercial de dichas innovaciones y las expresiones organizacionales que se desarrollaron para ellos.

Tabla 2.1 Factores que afectan el Método de Adquisición de Tecnología. USAID, 2005.

Método de adquisición	Posición relativa de la empresa en el área tecnológica	Urgencia de adquisición	Compromiso de inversión que tiene que asumir la empresa según el método de adquisición	Posición en el ciclo de vida de la tecnología	Tipo de tecnología	Incertidumbre tecnológica	Disponibilidad de la tecnología ⁹
Desarrollo interno	Fuerte	Muy baja	Muy alto	Inicio o lanzamiento	Emergente	Muy alta	Dominada por muy pocos
Asociación de riesgo compartido		Muy baja	Alto	Crecimiento	Clave o crítica	Alta	Dominada por pocos
Proyectos de I&D contratados por empresa	Media	Baja	Medio	Crecimiento	Clave (crítica)	Media	Dominada por unos cuantos
Transferencia de tecnología		Alta	Bajo	Madurez	Clave (crítica) o básica	Media-baja	Dominada por unos cuantos
Franquicia	Débil	Alta	Muy bajo	Madurez	Clave (crítica) o básica	Baja	Conocida por muchos (comercializada abiertamente)
Compra de tecnología	Débil	Muy alta	Sin ningún compromiso. Nulo	En cualquier etapa del ciclo	De cualquier tipo. Externa	Muy baja	Conocida por muchos (comercializada abiertamente)

2.6 Etapas de Madurez de la Tecnología

Un aspecto importante que caracteriza a toda tecnología es el hecho de estar supeditada a un claro proceso evolutivo, desde su fase de introducción y difusión hasta su sustitución, una vez agotadas sus capacidades. Esta caracterización del desarrollo de una tecnología como un proceso evolutivo es la base de los modelos de ciclo de vida de las tecnologías.

En el mundo del desarrollo tecnológico, la madurez de una tecnología, se asemeja al comportamiento de la curva “S” de esfuerzo versus tiempo, donde la parte inicial de la curva se asocia al estado embrionario de la tecnología, la parte media a la etapa de comercialización y la última porción a la etapa madura las curvas S explican el proceso de introducción, crecimiento y maduración de una tecnología, como se analiza en la **Figura 2.1**.

En una primera fase, cuando se inicia la introducción de una tecnología particular, la tendencia es a gastar grandes cantidades de recursos para poder hacer que esa tecnología evolucione, la ganancia es limitada siempre en esta fase, se requiere mucho esfuerzo para obtener pequeñas mejoras en la tecnología. Dicha etapa está caracterizada por una alta incertidumbre en cuanto a desempeño y condiciones de utilización, avances rápidos y esfuerzos de innovación, son tecnologías en desarrollo, las pruebas se realizan a nivel de centros de investigación y desarrollo.

La segunda fase ocurre cuando se superan los grandes obstáculos técnicos que limitaban el crecimiento en la primera fase, es entonces cuando ocurre el crecimiento exponencial en cuanto a prestaciones de la tecnología. Un pequeño esfuerzo en ella redundará en una gran mejora de las mismas. Aquí se ubican las tecnologías comercialmente disponibles.

Finalmente, en la tercera fase, se produce un estado de estancamiento en el que la tecnología llega a sus límites y por lo tanto la mejora no se produce de manera tan clara. La tecnología ha llegado a sus límites. Las tecnologías son comercialmente maduras, refiriéndose a tecnologías comerciales donde existe suficiente información relativa a su aplicación, rentabilidad, lecciones aprendidas y mejores prácticas.

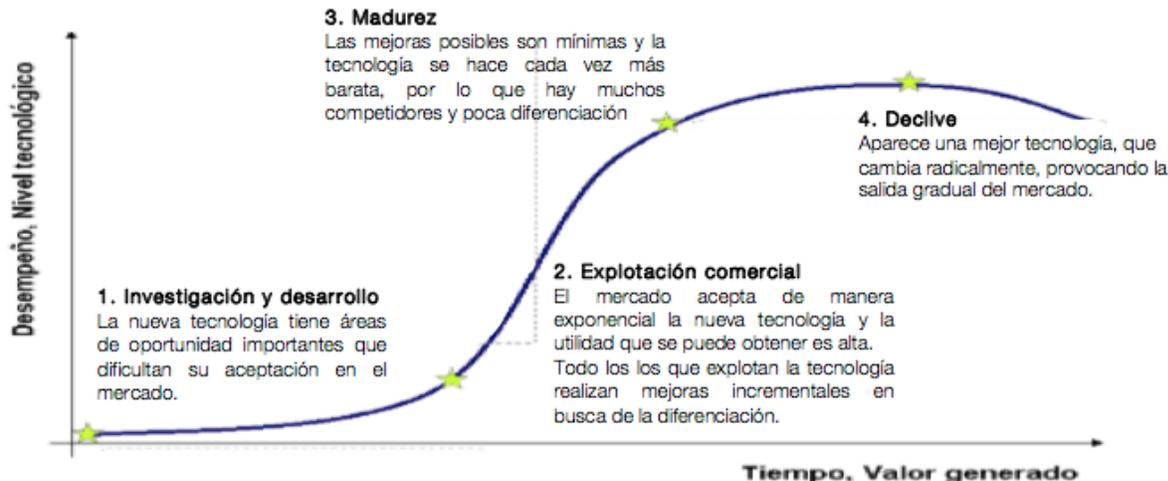


Figura 2.1 Ciclo de vida de la tecnología. Curva S. Adaptada de Wordpress, 2006.

2.7 Proceso de Gestión de Tecnología

Definimos tecnología como “el sistema de conocimientos y de información derivado de la investigación, de la experimentación o de la experiencia y que, unido a los métodos de producción, comercialización y gestión que le son propios, permite crear una forma reproducible o generar nuevos o mejorados productos, procesos o servicios”. (Wordpress, 2006)

Un primer aspecto, aceptado universalmente, a destacar de esta definición es que la tecnología tiene un objetivo claro: producir bienes y servicios útiles para la sociedad. La idea es que la tecnología se define por estar capacitada para llevar a cabo transformaciones productivas creadoras de valor, es decir, un determinado conocimiento no crea automáticamente una tecnología, sino que es necesario que el hombre desarrolle productos y métodos para producirlos, que sean útiles para la sociedad. De esta manera, se define tecnología como la habilidad (capacidad) para transformar materiales, energía e información de un estado a otro de mayor valor.

Un proceso es un conjunto de actividades que se desarrollan en una secuencia determinada permitiendo obtener unos productos o salidas a partir de unas entradas o materias primas. Los procesos pueden ser industriales (en los que entran y salen materiales) o de gestión (en los que entra y sale información).

Los procesos de una organización pueden verse afectados por diversos requisitos legales y/o normativos, del cliente, internos y externos, medioambientales, de calidad, de seguridad, de medio ambiente, de productividad. Cuando se define y analiza un proceso, es necesario investigar todas las oportunidades de simplificación y mejora del mismo.



Figura 2.2. Proceso de Gestión Tecnológica. PUCC, 2012.

El proceso de gestión de una tecnología consiste en 5 pasos:

1. Identificación de una necesidad tecnológica

Son muchas las técnicas y prácticas para identificar y generar nuevas oportunidades de innovación, entre éstas destacan la creatividad, diseño y desarrollo de producto basadas en las capacidades creativas de las personas y los sistemas de detección de oportunidades y amenazas del entorno derivados de la vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva.

2. Identificación de las alternativas tecnológicas

En este punto, la empresa analiza su capacidad para movilizar sus recursos tecnológicos hacia las necesidades del mercado teniendo en cuenta a sus principales competidores. El diseño de la estrategia tecnológica a seguir por la empresa debe partir de la identificación de las tecnologías que domina que le permitan alcanzar con rapidez la fase de comercialización.

3. Evaluación y selección de tecnología

Una vez definido el alcance del proyecto y el equipo de trabajo, se pasa a la etapa de planificación, donde se elabora un mapa detallado para lograr los

objetivos concordados. El proyecto se desglosa en actividades, se definen sus interrelaciones, se estiman y asignan los recursos y tiempos requeridos para cada tarea. El equipo debe identificar las variables que podrían afectar el proyecto, estudiar los riesgos y la forma de minimizarlos. En este punto se lleva a cabo el desarrollo de pruebas pilotos

4. Implementación de tecnología a gran escala

Una vez identificados, definidos y documentados los procesos, éstos deben pasar a ser ejecutados conforme han sido elaborados. La ejecución requerirá adaptaciones a los imprevistos y cambios, teniendo en mente el objetivo final y los requerimientos de costo, tiempo y calidad. Previamente es necesaria su aprobación institucional y la difusión interna y externa de los mismos.

5. Mejora continua o abandono de tecnología

Se examinan críticamente los resultados de cada fase y de comparan con los propósitos del proyecto de la etapa inicial. Con la información recolectada a lo largo del proceso, la iniciativa debe ser reevaluada periódicamente y el equipo deberá hacer los ajustes necesarios. Al finalizar de manera exitosa, normalmente sus resultados son transferidos a modo que sea explotada comercialmente.

2.8 Identificación de las necesidades tecnológicas de la empresa

Las necesidades tecnológicas expresan la falta o carencia de determinadas tecnologías que se requieren para poder trabajar en condiciones normales de operación. En otras palabras, son los equipos, procesos, productos, conocimientos, técnicas y habilidades de operación que se requieren para producir y comercializar un bien o servicio.

Se deben identificar estos requerimientos o carencias de tecnología cuando se presentan problemas de competitividad tales como:

- Reducción de sus ventas en un plazo de tiempo dado.
- Aumento de las devoluciones de producto por fallas o defectos.
- Reclamos de sus clientes por falta de calidad del producto o tiempos de entrega excesivos.

- Presencia en el mercado de productos importados o nacionales de menor precio y, en ocasiones, de mayor calidad.
- Pedidos adicionales que no puede responder con oportunidad.
- Disminución de las utilidades, debido al aumento de precio de las materias primas u otros insumos, o bien por aumento no controlado de sueldos.
- Mantenimiento cada vez más frecuente de los equipos.
- Reclamos cada vez más frecuentes de los vecinos de la planta por posibles problemas de contaminación.
- Nuevos requerimientos para el cumplimiento de la normativa ambiental.

2.9 Mapa Tecnológico

Un mapa tecnológico es un modelo conceptual, dinámico, compacto y gráfico que ayuda a seleccionar el destino deseado de una organización, muestra los esfuerzos requeridos en función de un previo diagnóstico para orientar y/o generar los programas de investigación y desarrollo. Además se mantiene en constante evaluación y actualización para coadyuvar en el sustento de las estrategias de una organización, e identifica las tendencias tecnológicas en función de los requerimientos del mercado y el desarrollo tecnológico mundial.

El mapa tecnológico no es un conjunto de actividades estructuradas que deban seguirse en serie o en paralelo para obtener un producto o servicio, tampoco una representación gráfica que describa estructura o interconexión jerárquica de los objetivos de un sistema en su totalidad y de los subsistemas particulares, como es el caso de un árbol de objetivos, sino la articulación de un plan de acción que muestra alternativas estratégicas útiles para definir hacia donde dirigir esfuerzos y posteriormente proyectos. Es integrado analizando el potencial de un conjunto de tecnologías, sus obstáculos y los requerimientos para su desarrollo futuro e implantación.

2.10 Innovación Tecnológica

La innovación tecnológica es la materialización de los avances que se derivan del conocimiento acumulado y que se concreta en la creación, producción o venta de productos o servicios nuevos o mejorados, se le debe considerar además como parte del resultado final de la planeación tecnológica, incluye además la reorganización de procesos productivos, la asimilación o mejora sustancial de un servicio o proceso productivo.

Un proceso es considerado una innovación si pone en marcha nuevas técnicas, tanto para la fabricación, como para el desarrollo de un proceso. El proceso de innovación tecnológica posibilita combinar las capacidades técnicas, financieras, comerciales y administrativas que permiten el lanzamiento al mercado de nuevos y mejorados productos o procesos.

La innovación tecnológica puede ser:

- De producto, la cual se considera como la capacidad de mejora del propio producto o el desarrollo de nuevos productos mediante la incorporación de los nuevos avances tecnológicos que le sean de aplicación o a través de una adaptación tecnológica de los procesos existentes.
- De proceso: Que consiste en la introducción de nuevos procesos de producción, o la modificación de los existentes mediante la incorporación de nuevas tecnologías. Su objeto fundamental es la reducción de costos, pues además de tener una repercusión específica en las características de los productos, constituye una respuesta de la empresa a la creciente presión competitiva de los mercados.
- De operación. Conjunto organizado de métodos o procedimientos, técnicas, conocimientos prácticos, memorias de cálculo, hojas de proceso, manuales, habilidades y experiencias requeridos para organizar el trabajo y operar.
- De equipo. Conjunto organizado de métodos o procedimientos, técnicas, instructivos de uso, conocimientos prácticos, memorias de cálculo, habilidades y experiencias relacionadas con el diseño, fabricación, operación y mantenimiento de maquinaria y equipo así como de sus partes y componentes, instrumentación y control, instalaciones y servicios auxiliares.

2.11 Búsqueda de la Tecnología y Fuentes Tecnológicas

Una vez que se ha identificado la tecnología requerida para el producto que se piensa producir, el equipo que se quiere comprar o el proceso por mejorar, se procede a su búsqueda y selección. Es conveniente trazar una estrategia de búsqueda de información sobre posibles fuentes formales e informales de la tecnología que se requiere. Para ello, se identifican las diversas fuentes de tecnología a nivel nacional e internacional, así como las fuentes de información. El proceso de búsqueda de información implica la definición de fuentes, la definición de las necesidades de información, la evaluación y el análisis de la información obtenida.

Tabla 2.2 Fuentes de Tecnología. Manual de Transferencia y Adquisición de Tecnologías Sostenibles, 2005.

Fuente de tecnología	Tecnología de proceso	Tecnología de producto	Tecnología de equipo	Tecnología de operación
Fabricantes de equipo y maquinaria			X	X
Firmas de ingeniería	X	X	X	X
Fabricantes de productos		X		X
Empresas de base tecnológica	X	X	X	X
Proveedores de materias primas		X		X
Empresas de consultoría	X			X
Centros de I&D	X	X	X	
Universidades de América Latina	X		X	
Empresas con bancos de patentes		X	X	
Tecnólogos e ingenieros retirados	X	X		X

Ahora bien, no hay que confundir las fuentes de tecnología con las fuentes de datos e información tecnológica donde se pueden encontrar referencias e información sobre los proveedores de tecnología y, en muchas ocasiones, información técnica valiosa que puede ser integrada en paquetes tecnológicos de mayor alcance. Hay que tomar en consideración que muchas de estas

organizaciones proveedoras ocasionalmente aportan más tecnologías de las que se señalan en la tabla.

Cuando se incorpora una tecnología en la empresa, esto puede contribuir a la innovación de sus productos o procesos. Estas innovaciones pueden ser, desde el punto de vista estratégico y del impacto en la competitividad de la empresa, de dos tipos:

- Innovación incremental o gradual. Aquella que se realiza en los productos, servicios o procesos existentes en la empresa, con el fin de mejorar su desempeño en el mercado, tales como las mejoras en empaque o en sabor. Por lo general, contribuye a que la empresa pueda competir en el corto y mediano plazo, ya que puede ser copiada fácilmente.
- Innovación estratégica. Aquella que contribuye a la competitividad en un mediano y largo plazo, generalmente asociadas al lanzamiento al mercado de nuevos productos o servicios. Este tipo de innovación tiene una mejor rentabilidad si se le incorpora mayor conocimiento tecnológico, pero demanda cambios más profundos en la empresa.

2.12 Transferencia de Tecnología

La expresión transferencia de tecnología se utiliza para identificar los procesos a través de los cuales los conocimientos generados pueden llegar a ser utilizados por las empresas (transferencia de tecnología vertical) y también para señalar los procesos mediante los cuales una tecnología diseñada para un determinado sector industrial puede ser utilizada en otro distinto (transferencia de tecnología horizontal) (Ávalos, 1994).

La transferencia de tecnología es un proceso de transmisión o flujo de información, conocimientos y saberes (saber qué, saber por qué, saber cómo, saber quién), experiencias y capacidades que van desde donde se generan estos (empresas, centros de investigación y desarrollo tecnológico, firmas de ingeniería, instituciones de educación superior, entre otras organizaciones) hasta donde se aplican con fines productivos; es un proceso que para su mejor consecución requiere ser efectuado con un enfoque integral y sistemático, y en donde los objetivos corporativos, el propósito de la transferencia o adquisición de la

tecnología y el entorno socioeconómico influyen sobre los modos como se realiza; es un fenómeno en el cual intervienen personas que son, a fin de cuentas, el medio más efectivo para que se lleve a cabo (Medellín, 1996).

2.13 Asimilación de tecnología

Es la incorporación y adecuada aplicación de la tecnología que se ha adquirido, fase de la que depende en gran medida el éxito de la transferencia, esto es, que ésta resulte de utilidad y provecho para la empresa adquiriente (Benavides, 1998).

Una buena asimilación de tecnología permite retroalimentar todo el proceso de adquisición, de tal forma que permita ir desarrollando mejores prácticas de gestión tecnológicas en este ámbito. El proceso de asimilación de tecnología consta de tres actividades:

- **Documentación**
Para asimilar la tecnología se debe contar con toda la información que permita comprender, utilizar o aplicar adecuadamente la tecnología adquirida. Dependiendo del tipo de tecnología que se decida adquirir, la documentación requerida debe formar parte del paquete tecnológico. Dicho paquete tecnológico puede estar constituido por: manuales, procedimientos, sistemas, guías de diseño, métodos, planos de construcción y puesta en operación, reportes de pruebas y escalamiento, etc. Otra actividad importante de documentación se refiere al registro y codificación de la experiencia cotidiana de producción, la solución de problemas de operación y mantenimiento y el desarrollo o mejoras de producto.
- **Capacitación del Personal**
En la asimilación de la tecnología es importante la capacitación del personal de todos los niveles que estará involucrado en su aplicación y en los procesos operativos que incluyan el conocimiento detallado de las instalaciones en las que se va a aplicar la tecnología y de los riesgos que representa la operación.
- **Actualización**
La actualización se debe dar en dos rubros: del personal y del paquete

tecnológico. En el primer caso, se le deben facilitar al personal los medios para poder hacerlo: publicaciones periódicas y documentos básicos, asistencia a ferias y congresos técnicos, contacto con proveedores, asistencia a cursos y talleres, etc. En el segundo caso, debe diseñarse un plan de revisión anual de los paquetes tecnológicos de la empresa para identificar la situación en que se encuentra la documentación e información tecnológica: novedades, información que ya no se usa o se modificó, información de nuevas tecnologías, documentos obtenidos, etc.

Con la asimilación de tecnología se termina el proceso de transferencia o adquisición de tecnología, y se abre la posibilidad de comenzar un nuevo ciclo o de reforzar otros procesos de adquisición. En la **Tabla 2.3** se pueden observar los 6 diferentes grados de asimilación de tecnología como resultado del proceso de asimilación. El enfoque e impacto ideal para los consorcios se encuentran en los grados de Creatividad Insipiente a Excelencia, en los cuales los productos y procesos se modifican y/o adaptan a basados en la investigación y la optimización de los procesos que pueden darle un valor adicional al producto final.

Capítulo 2. Gestión de Tecnología

Tabla 2.3 Grados de Asimilación de Tecnología. 2005.

Grado de Asimilación de Tecnología	Enfoque		Impacto	
	Hacia dentro (Procedimientos, Métodos)	Hacia fuera (Producto en el Mercado)	Hacia dentro (Productividad, Equipo, Materiales)	Hacia fuera (Mercadotecnia, Calidad, Servicio)
Dependencia Completa	Se desconoce el producto y proceso. Las decisiones están en manos del propietario de la tecnología	No se conoce el producto	Altos costos	Mercados Cautivos
Dependencia Relativa	Experiencia en la producción, sin flexibilidad del proceso. Las decisiones se limitan a criterios propios.	Mediante el producto licenciado se busca saber lo que quiere el usuario.	No hay interés en la competencia	Mercados Locales
Creatividad Incipiente	Se inician adaptaciones y sustituciones en materias primas, diseño y especificaciones mínimas con la participación del licenciador	Identificación y optimización de las especificaciones que dan valor al producto	Eficiencia en costos y calidad	Mercado Nacional
No Dependencia	Se capitaliza el cambio menor, la mejora evolutiva y la curva de aprendizaje	Denominación de las aplicaciones y usos del producto. Se da servicio	Competencia en cuanto a costos globales	Líder en Mercado Nacional
Autosuficiencia	Se generan productos y procesos nuevos, se puede competir con el licenciador	Denominación de las variables críticas de diseño. Servicio propio y autogenerado	Se es competitivo en todos los costos	Mercado Mundial
Excelencia	Se cuenta con procesos propios optimizados totalmente de uso de recursos. Dominación del mercado	Personalidad e identidad propia. Se investiga y desarrolla para satisfacer necesidades futuras	Constante optimización. Clara posición ventajosa en calidad y costos	Líder en Mercado Mundial

2.14 La Enseñanza de la Tecnología

La tecnología puede ser vista como una actividad social centrada en el saber hacer, mediante el uso racional, planificado y creativo de los recursos materiales y la información propios de un grupo humano, en una cierta época, brindando respuestas a las necesidades y a las demandas sociales en lo que respecta a la producción, distribución y uso de bienes procesos y servicios. La tecnología responde a demandas e implica el planteamiento y la solución de problemas concretos, ya sea de las personas, empresas, instituciones, o del conjunto de la sociedad.

Los objetivos a alcanzar son el de la adquisición y el dominio instrumental de un conjunto de saberes considerados socialmente significativos, entre los que se encuentra la adquisición de competencias para el trabajo y la tecnología, impulsando la creatividad y la difusión de innovaciones científico-tecnológicas.

Por lo tanto debe tenerse en cuenta que la tecnología se aprende mejor operando con ella y no solo leyendo o recibiendo la descripción de cómo debe hacerse o de cómo otros lo hacen.

En 1992 Gilbert, distinguió tres modos diferentes de abordar la enseñanza de la tecnología:

- Enseñanza para la Tecnología.
Cuando Gilbert hace referencia a la enseñanza para la tecnología, está haciendo alusión a aquella enseñanza que se propone comenzar a desarrollar ciertas capacidades y conocimientos técnicos que, más tarde, se retomarán y profundizarán. Bajo esta perspectiva, la educación tecnológica está fuertemente ligada a la formación para el trabajo. Este modelo, considera que la tecnología se desarrolla sólo como resultado de su dinámica interna, moldeando a la sociedad pero sin reconocer los modos en que las fuerzas sociales y económicas dan forma a las tecnologías. Así, el desarrollo científico-tecnológico sería exógeno a la situación económica y social, y de algún modo independiente de la sociedad en que se desenvuelve.
- Enseñanza sobre la Tecnología.

La enseñanza sobre la tecnología se propone poner de relevancia los dos aspectos que el enfoque anterior no toma en cuenta, incluyendo los aspectos culturales y organizativos relacionados con la tecnología. En este enfoque suele predominar una mirada unidireccional de la relación entre tecnología y sociedad, que refleja un modelo simple y un tanto reduccionista basado en entender los productos tecnológicos como respuestas a demandas y necesidades, sin dar cuenta de las relaciones dinámicas entre distintos actores sociales que determinan una solución en un momento y un contexto determinado.

- Enseñanza en la Tecnología.

La enseñanza en la tecnología intenta un equilibrio entre el abordaje específicamente técnico y el que prioriza los estudios sociales. Así, la tecnología, más que priorizar los aspectos técnicos o los humanos y sociales, se ocuparía de la interacción entre ambos, es decir, permitiría dar cuenta de la relación entre la tecnología y la sociedad, tomando como objeto de estudio al sistema tecnológico y sus relaciones con el medio social actual, teniendo en cuenta que la tecnología es una construcción social, una parte de la sociedad y no algo separado de ella.

La incorporación de la enseñanza de la tecnología ayudará a que los estudiantes asuman una mirada amplia y desprejuiciada de la tecnología, reconociendo que las tecnologías cumplen fines técnicos específicos; esto quiere decir que podrán ser usuarios o consumidores más críticos, abordando contenidos originales y contribuyendo al desarrollo de nuevos productos y procesos.

Capítulo 3. Consorcios de Investigación y Desarrollo Tecnológico

3.1 Definición de Consorcio

Consorcio hace referencia a la unión de dos o más personas que comparten un mismo objetivo o que deben resolver cuestiones en común.

En los negocios y las finanzas, un consorcio surge por la agrupación de varias empresas con el objetivo de desarrollar una actividad que depare beneficios para todas. Estos acuerdos permiten concretar inversiones y llevar a cabo obras que, por separado, ninguna compañía podría ejecutar.

Es importante tener en cuenta que, en un consorcio, cada miembro mantiene su autonomía e independencia, aportan ventajas competitivas ya que los gastos y los costos son compartidos por sus participantes, facilitando el cumplimiento de los objetivos financieros.

3.2 Líneas Generales de Acción para la Modernización Tecnológica dentro de una Empresa

Con el fin de asegurar el éxito antes, durante y después de la participación dentro de un consorcio de investigación y desarrollo tecnológico, es recomendable seguir las siguientes acciones:

- Conocer el estado del arte en soluciones tecnológicas en exploración y producción a través de los *Consorcios de Investigación y Desarrollo Tecnológico*.
- Asociar las necesidades tecnológicas específicas a los temas a desarrollarse en cada programa del consorcio.
- Realizar pruebas de prototipos en casos reales de campo a nivel laboratorio, aprovechando la infraestructura de la universidad.
- Evaluar las pruebas de laboratorio en tecnologías embrionarias que forman parte del programa de investigación del consorcio.
- Difundir los resultados y entregables generados.
- Comprobar los resultados de la Inteligencia Tecnológica al trabajar con expertos, investigadores y proveedores de tecnologías.

- Participar con voz y voto en los programas de investigación del consorcio.
- Nombrar especialistas para atender a las reuniones de avance en las investigaciones del programa y recibir los entregables producto de las investigaciones.
- Generación y actualización constantes del banco de datos del consorcio.
- Asociar los retos y necesidades de la empresa a los temas que se desarrollan en el programa de investigación y desarrollo dentro de consorcio para su difusión.

El acceso a la información científica especializada es hoy en día un factor que coadyuva, sin lugar a dudas, al fortalecimiento y calidad de los procesos de exploración, perforación y producción de hidrocarburos, a la generación de nuevo conocimiento y al desarrollo de la investigación en las diferentes áreas de la industria, es por eso los consorcios de investigación y desarrollo tecnológico representan el vehículo para la generación de soluciones tecnológicas más importante.

3.4 Desarrollo Tecnológico

El desarrollo tecnológico puede definirse como la intensificación del empleo de la tecnología para elevar el nivel económico de una región o para proporcionar medios concretos que mejoren el rendimiento de una función o programa de producción. Su misión es la de determinar las prioridades de la organización en materia de necesidades tecnológicas, proporcionar los lineamientos necesarios para desarrollar los proyectos de adquisición de tecnología, plantear los medios adecuados para ampliar el mercado de tecnología con el propósito de generar mayores recursos y afianzar el lazo Universidad-sector industrial, buscando siempre contribuir al desarrollo social de la comunidad a la que pertenece y cuidando continuamente el impacto social generado por sus investigaciones.

3.5 Componentes Para El Desarrollo Tecnológico

Algunos de los componentes para hablar de desarrollo de tecnología son los siguientes:

- Propiedad intelectual
Se habla de propiedad intelectual cuando se necesita de un sistema jurídico diseñado para proteger el conocimiento y la creatividad de

personas y empresas. Este sistema jurídico se encarga de hacer valer los derechos asociados a la propiedad de productos derivados de la actividad intelectual.

- Planeación tecnológica

Existe una relación directa entre la planeación tecnológica y la estratégica. La planeación estratégica es resultado de la tecnológica según los fines a los que quiera llegar y viceversa. En la planeación estratégica, se da una fase operativa y otra de estrategia. La primera es consecuencia de la segunda, ya que al planear lo que quiere conseguirse, se necesita de un plan de acción mediante la ejecución, evaluación y obtención de resultados, aspectos dados por la fase operativa.

La planeación tecnológica es un sistema dinámico, flexible e integrado en el que se da un proceso continuo y cíclico en el que se adquiere y se transfiere tecnología bajo parámetros ya planeados y organizados, según la planeación estratégica.

Existen tres funciones específicas aplicadas al orden tecnológico que interfieren en la realización del plan estratégico. La adquisición y transferencia de tecnología, el análisis, evaluación, proyección y organización y control de variables de carácter tecnológico son los elementos a utilizar principalmente en la elaboración del plan tecnológico.

El desarrollo tecnológico tiene como misión determinar las prioridades de la organización en materia de necesidades tecnológicas, proporcionar los lineamientos necesarios para desarrollar los proyectos de adquisición de tecnología, plantear los medios adecuados para ampliar el mercado de tecnología con el propósito de generar mayores recursos y afianzar el lazo Universidad-sector industrial, buscando contribuir al desarrollo social y cuidando el impacto que generan sus investigaciones.

La identificación de tecnología dentro de cada empresa se realiza mediante la recolección de información y la puesta en marcha del inventario tecnológico que permitirá la evaluación de proyectos del mismo carácter.

3.6 Factores Internos Y Externos Para Llegar A La Estrategia Tecnológica

La estrategia tecnológica surge de la aplicación de diferentes factores tanto internos como externos de la organización. Se distinguen factores externos como la identificación de tecnologías y subtecnologías y la identificación de tecnologías potencialmente relevantes así como también la determinación del probable cambio de tecnologías. A nivel interno, la empresa se preocupa por la implementación de tecnología de punta y por la supervivencia de la misma mediante la evaluación de capacidades, costos, seleccionando la estrategia más acorde con el aprovechamiento de recursos que pueden hacer.

Una primera postura plantea la división entre desarrollo tecnológico interno que se refiere a la mejora de la eficiencia de un proceso, la fiabilidad de los equipos, dispositivos, partes, etcétera, o al funcionamiento en términos generales de la maquinaria como mecanismo eficiente. Este planteamiento considera a la tecnología exenta de carga valorativa, ajena al proceso de implantación entre usuario y proceso tecnológico. Su función es ser cada vez más útil a partir de los propios parámetros del proceso. Esta categoría sería de corte instrumentalista, de mejora continua, de diálogo ingenieril, de carencia cultural y social.

En otro sentido estaría el desarrollo tecnológico externo que apela a su implantación, uso y consumo, pero incluyendo al usuario, y abarca factores sociológicos, económicos, culturales, sociales y hasta demográficos. En este último sentido, la lista sería larga ya que se incluirían tantos ámbitos como implicaciones tiene la tecnología. En este apartado quedarían todas las propuestas humanistas, de impacto sociocultural, de consecuencias sociales, de bienestar y progreso.

El desarrollo tecnológico también puede ser analizado por ser acumulativo, es decir, los avances en este sentido podrán ser poco significativos pero alineados en cierta dirección que permitirá acumularse o agruparse alrededor de un cierto campo tecnológico específico, es decir, el desarrollo tecnológico, se entiende como una sucesión de invenciones o innovaciones donde cada escalón conduce al siguiente y donde cada mecanismo parece haber sido diseñado con el objetivo de llegar a la situación presente mediante aproximaciones sucesivas. En este sentido la relación tan estrecha entre ciencia y tecnología se puede interpretar como una interdependencia mutua altamente subordinada entre las dos áreas

que en su convergencia producen avances gracias a la filiación de racionalidad que permite predecir ciertos acontecimientos como naturales o lógicos.

3.7 Funciones del Desarrollo y Gestión Tecnológica

Diversos autores han conceptualizado las funciones para conseguir una eficiente gestión tecnológica, aunque existen pequeñas diferencias se pueden distinguir las siguientes áreas de actuación:

- **Inventariar:** consiste en analizar las tecnologías preexistentes tanto aquellas que utiliza porque dispone de las mismas, como las que no, pero que podría llegar a aprovechar, bien mediante su desarrollo o adquisición a otras empresas.
- **Vigilar:** significa estar alerta sobre la evolución de las nuevas tecnologías, sistematizar las fuentes de información de la empresa, vigilar la tecnología de los competidores, así como identificar el impacto posible de la evolución tecnológico sobre las actividades de la empresa.
- **Evaluar:** Su objetivo es el estudio y análisis de la competitividad que proporcionan ciertas tecnologías, así como la determinación de su potencial.

Inventariar, vigilar y evaluar son funciones que contribuyen a identificar aquellas tecnologías que parecen necesarias. Es decir, identificar sus demandas tecnológicas, entendiéndose como la definición de los requerimientos tecnológicos que se necesitan para afrontar nuevas estrategias de desarrollo.

3.8 Adquisición de Tecnología en la Empresa

La adquisición de tecnología por una empresa puede ser estimulada por la necesidad de resolver un problema técnico de algún proceso, para hacer frente a una oportunidad de mercado que ha detectado, para respaldar una decisión de crecimiento de la empresa o la producción de un nuevo producto, para bajar costos de producción, para disminuir los impactos ambientales de la producción, para reforzar tecnologías desarrolladas, para contar con la misma tecnología que tiene la competencia y, si es posible, con una tecnología de mejor desempeño.

No siempre las organizaciones poseen las tecnologías que requieren para el desarrollo de sus proyectos y futuras actividades y se hace necesario gestionarlas mediante su generación en el seno de la organización, su adquisición en el mercado tecnológico o incorporándola desde otra organización, utilizando la cooperación entre empresas. Para lo cual, una empresa dispone de diversos métodos de adquisición de tecnología:

- Compra de tecnología.
- Franquicia.
- Licenciamiento de patentes, marcas u otras figuras de propiedad intelectual.
- Transferencia de tecnología.
- Acuerdo de subcontratación para fabricar componentes o componentes de ensamble
- Desarrollo interno: investigación y desarrollo realizada en la empresa.
- Asociaciones de riesgo compartido
- Proyectos de investigación y desarrollo de tecnología contratados por la empresa con centros de investigación, universidades, tecnológicos, empresas de consultoría o de ingeniería.

Como se evidencia la tecnología que utiliza una empresa puede ser generada internamente, mediante la actividad investigadora o adquirirse en el exterior. En cualquier caso, si la empresa quiere conseguir y mantener una ventaja de carácter tecnológico que sustente su competitividad y su posición de dominio en el mercado debe favorecer la investigación y desarrollo propio, pues la adquisición de tecnología ofertada en el mercado se encuentra al alcance de cualquier empresa competidora y, por tanto, no suele proporcionar a la empresa ventajas adicionales.

Aunque, con la complejidad y la rapidez de los cambios tecnológicos se hacen materialmente imposible que una empresa pueda generar por si misma todas las tecnologías que necesita, y a la vez resulta extremadamente difícil la asimilación de tecnologías genéricas sin una capacidad de investigación y desarrollo propio. Por consiguiente ambos planteamientos son complementarios.

Por lo tanto, resulta crucial para el éxito de las innovaciones tecnológicas la vinculación con otras empresas, con proveedores de insumos, materiales y

tecnología con clientes y usuarios potenciales del resultado de la innovación, con universidades y centros de desarrollo tecnológico, con firmas de ingeniería y consultoría; que deben ser planeadas, organizadas y ejecutadas de forma deliberada.

3.9 Desarrollo Tecnológico en la Universidad

El desarrollo científico y los avances tecnológicos son factores determinantes para lograr el crecimiento económico de los países industrializados. Ciencia y técnica son conocimientos organizados que solo pueden ser aprovechados por quien pueda manejar su lenguaje, absorberlo y adaptarlos.

Existe evidencia que indica que, cuando en un país en vías de desarrollo existe cierta capacidad para generar y administrar conocimientos, aumenta la capacidad de negociación, se compra tecnología en condiciones menos costosas, se hacen proyectos de inversión, se adquiere capacidad exportadora y, lo más importante, se establecen proyectos auténticamente adecuados a las necesidades propias del país.

Es fundamental, a lo largo de todo el proceso, contar con recursos humanos calificados, que son todavía más importantes que los propios recursos naturales. El desarrollo tecnológico es un recurso esencial para el crecimiento e indispensable para lograr autonomía tecnológica. En México se encuentra poco desarrollado, aunque crece con rapidez, algunas estimaciones señalan que hay 1 o 2 investigadores por cada 10 mil habitantes, comparados con 30 o 50 en países más desarrollados.

La inversión total del país que se dedica a ciencia y tecnología es alrededor del 0.7% del producto interno bruto (PIB). Esta cifra es muy baja, si se compara con cifras superiores al 2% en países industrializados, con un producto interno varias veces más grande. De los presupuestos universitarios en el nivel nacional se gasta cerca del 6 por ciento en investigación. Cabe anotar que la Universidad Nacional Autónoma de México invierte el 25% de su presupuesto total en investigación.

La vinculación de la investigación universitaria con el sector productivo es escasa lo que se ve reflejado en una ausencia de correlación entre la investigación realizada y las necesidades de los usuarios, ya que las universidades y centros de

educación superior concentran una parte muy importante de los recursos.

La participación de la industria privada en la financiación de la investigación es muy baja, lo que es particularmente grave, pues la adecuada transferencia de conocimientos al sector productivo requiere de una capacidad de investigación en su interior.

3.9.1 Investigación Científica e Innovación Tecnológica en la Universidad

Innovación es el conjunto de actos o proceso a través del cual se estructura un paquete tecnológico y se implanta por primera vez en forma exitosa en el sector productivo; debemos entonces entender que la fase principal del proceso de innovación ocurre en el interior de la propia industria.

Es fundamental dejar establecido que el objetivo central para los próximos años deberá ser la integración formal de los resultados de la ciencia y tecnología al proceso de desarrollo, cuya meta sea enlazar la tarea científica y la innovación tecnológica con el aparato productivo, facilitando esta labor a través de mecanismos sencillos diseñados para este efecto, que induzcan al sector productivo y al académico a su acercamiento.

Entre las medidas que podrían recomendarse están las siguientes:

- La participación conjunta de los sectores académico y productivo en la elaboración de estudios de prospectiva tecnológica, que permitan identificar los desafíos estratégicos de la próxima década, evaluando nuestras fuerzas y debilidades, así como las oportunidades del entorno internacional.
- La definición de las prioridades y necesidades del sector productivo, estimulando el surgimiento y la manifestación de las demandas tecnológicas de los sectores industrial y extractivo del país.
- La divulgación de las capacidades, conocimientos, habilidades y limitaciones del aparato de la ciencia y la tecnología, incluyendo la infraestructura tecnológica existente en el sector productivo.
- El fortalecimiento en las universidades de aquellas áreas que sean

identificadas como prioritarias para el desarrollo, sin menoscabo de la investigación científica que genera nuevo conocimiento.

- La toma de conciencia, por parte del sector de investigación, de que el conocimiento básico y el desarrollo tecnológico pueden y deben integrarse al proceso de industrialización.

El sector científico y tecnológico de algunas universidades ha alcanzado un grado de madurez tal que le permite hacer contribuciones y ofrecer soluciones a proposiciones concretas del sector productivo.

Se requiere de la creación de programas universitarios, que surjan como respuesta al esfuerzo para encontrar soluciones a problemas de alta prioridad nacional; que sean multi e interdisciplinarios y coordinen los esfuerzos ya existentes en la Universidad, haciendo un uso racional de los recursos. Asimismo, se fomenten la difusión del conocimiento y se detecten y se emprendan nuevas acciones al identificar las necesidades cada vez más crecientes de los usuarios, por medio de la creación de nuevas opciones académicas en el nivel de pregrado y de postgrado que incidan en el estudio de problemas prioritarios y de esta manera, se diseñen los programas de estudio.

Lo importante ahora es avanzar en el establecimiento de los mecanismos operativos que aceleren el proceso de vinculación, tratando de realizar acciones a diversos plazos. Las acciones de largo plazo incluyen de manera esencial, entre otros factores, la formación de recursos humanos de alto nivel en áreas precisas del conocimiento, con una adecuada comprensión del proceso de innovación tecnológica, así como labores prospectivas que identifiquen áreas estratégicas de desarrollo para la Universidad y el país. De esta manera, los investigadores tendrán una activa participación en este proceso, convirtiéndose en agentes de cambio social que les permitirán establecer una relación temprana y estrecha con el aparato productivo.

Es evidente el beneficio que de esta relación tendrán los sectores involucrados. La comunidad científica podrá mejorar sus recursos presupuestales e ingresos personales, y podrá tener acceso a adecuados equipos e instalaciones científicas de la industria. El reconocimiento social del científico aumentará y los ingresos de las universidades se diversificarán.

El sector productivo tendrá acceso al talento local: hará uso de tecnologías desarrolladas o adaptadas por personal nacional, con lo que puede ser posible disminuir los costos de producción; además, disminuirán notablemente los pagos de regalías y se fomentarán las exportaciones. Pero sobre todo, se iniciará un proceso de desarrollo basado en la creatividad interna.

La relación entre las empresas y las universidades debe ser más estrecha para poder realizar proyectos que generen valor, y con ello impulsar el desarrollo económico. La investigación científica que se realiza en la Universidad representa un porcentaje importante de todo el esfuerzo nacional, por ello, debe desempeñar un papel importante en los procesos que logren canales abiertos de transmisión de conocimientos hacia el exterior de la Universidad, que hagan de ella un centro de innovación nacional y que induzcan el crecimiento de las actividades de innovación tecnológica en el sector productivo.

Como todas las instituciones, la Universidad ha cambiado sus patrones de comportamiento a lo largo de la historia. Al igual que la actividad docente, la función investigadora universitaria tiene como objetivo generar resultados socialmente útiles, y la mayor financiación empresarial de la investigación académica hacen que se vinculen más estrechamente con las necesidades de su entorno socioeconómico.

Por lo que el concepto de gestión tecnológica para las universidades que daría definido como: “El conjunto de las decisiones en la Universidad sobre la creación, adquisición, perfeccionamiento asimilación y comercialización de las tecnologías requeridas por ella y por el entorno que la rodea”.

Por lo tanto, la Universidad mediante una estrategia científica tecnológica que incluye procesos de desarrollo, innovación y transferencia de tecnología para si misma y la sociedad, es llamada a buscar entre sus posibilidades científicas y las necesidades productivas del territorio donde se encuentra. De ahí que la Universidad es una fuente potencial de enriquecimiento tecnológico para las empresas.

Mediante la interrelación Universidad–empresa, la Universidad canaliza los problemas presentes en el contexto social y condicionan sus procesos fundamentales para dar respuesta a dichos problemas.

Es decir, que la innovación tecnológica transite desde la idea hasta su materialización, en forma de satisfacción de una necesidad y/o demanda social, económica o ambiental de los hombres, las comunidades y las instituciones sociales, económicas y administrativas.

Por lo tanto, la Universidad debe buscar alianzas con la empresa que le permitan la generalización de resultados o el cierre del ciclo de la innovación tecnológica, es decir que las investigaciones realizadas en la Universidad, transiten desde la idea hasta su materialización, en forma de satisfacción de una necesidad de la sociedad.

3.9.2 Vínculo Universidad - Empresa

Para lograr los atributos que hagan de una empresa, la más competitiva, además de mejorar su base tecnológica, invertir en maquinaria y equipos, hacer cambios en la organización de la producción y reconvertirse a aquellos rubros en que realmente puedan tener ventaja; las empresas necesitan la vinculación o asociación con las universidades, lo cual permita contar con un recurso humano calificado y de alto nivel.

Por otra parte, el conocimiento acumulado, institucionalizado y multidisciplinario que se requiere para la búsqueda de las soluciones a los problemas complejos de la producción y el uso de tecnologías es patrimonio fundamental de las universidades, por lo que la interacción o vinculación entre la universidad y la empresa es de carácter no solo deseable, sino inevitable. (Plosky, 1995).

Adicionalmente, se suma la necesidad de la universidad de diversificar sus fuentes de financiación, incorporando una nueva función: la vinculación con la empresa mediante instrumentos como la prestación de servicios, la consultoría o asesoramiento, la contratación de I+D, entre otros.

Esto ha conducido a la aparición en los países industrializados de la llamada "universidad empresarial" o "universidad emprendedora", que se han convertido en motores económicos y revitalizantes del entorno social más próximo. En ellas, las actividades de investigación aplicada al desarrollo, la transferencia de

conocimientos a la empresa, la promoción de empresas mediante incubadoras y parques científicos y tecnológicos, la formación continua para satisfacer necesidades de la sociedad, son actividades importantes que se llevan a cabo sistemáticamente, con gran dedicación de recursos humanos y materiales.

En tal contexto, la vinculación Universidad–empresa requiere de estrategias activas para la construcción conjunta de ventajas competitivas, donde la vinculación se presenta en diferentes planos:

1. Formación del staff que la empresa requiere para crecer e innovar, a nivel de grado, posgrado o especialización
2. Suministro de conocimientos mediante acuerdos de cooperación y transferencia, incluyendo servicios de investigación
3. Interacción entre investigadores y profesionales de universidades y empresas, como medio de facilitar la circulación de información sobre tecnologías y sus fuentes de obtención

Por lo tanto, el vínculo entre la universidad y la empresa tiende a desarrollarse en tres áreas: la investigación y desarrollo, la transferencia de tecnología y el desarrollo de los recursos humanos.

Al mismo tiempo esta relación Universidad-empresa resulta beneficiosa tanto para la empresa como para la Universidad. Algunos beneficios que obtendría la Universidad con la empresa o el sector productivo son:

- Posibilidad de aplicar en forma práctica el conocimiento teórico
- Contacto con las industrias locales
- Actualización del conocimiento que imparte
- Ubicación rápida de los profesionales que produce
- Obtención de recursos financieros.

Por otra parte, la empresa obtendría de la vinculación con la universidad:

- Asesoramiento gerencial
- Asistencia multidisciplinaria
- Experiencia flexible
- Actualización del conocimiento
- Entrenamiento de su personal potencial
- Una vía para reclutar jóvenes talentos
- Acceso a nuevas tecnologías

A pesar de las barreras existentes, la universidad, sin duda, juega un papel importante para conseguir el propósito con relación a activar, completar y perfeccionar el proceso de gestión de la innovación tecnológica en la empresa.

En el establecimiento de esta colaboración, ha surgido la necesidad de crear estructuras e instrumentos de enlace que faciliten y contribuyan a que la relación Universidad-empresa alcance el éxito esperado por ambas partes.

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) ha buscado crear programas de estímulo para la innovación, con el objetivo de que se invierta más en proyectos de investigación, desarrollo de tecnología e innovación dirigidos al desarrollo de nuevos productos, procesos o servicios. Gracias a este programa se estimula el crecimiento anual de la inversión del sector productivo nacional en investigación y desarrollo tecnológico, se propicia la vinculación de las empresas en la cadena del conocimiento educación-ciencia-tecnología-innovación y se incorporan recursos humanos especializados en estas actividades en las empresas.

El reto consiste en estructurar un modelo que permita la incorporación de investigadores de tiempo completo a las diferentes áreas de interés dentro de las Universidades, con el fin de contar con personal calificado para dar seguimiento a las actividades de investigación, asegurando de esta manera la continuidad de los proyectos.

3.10 Beneficios Potenciales de los Consorcios

Todos los miembros del consorcio podrán acceder a los avances de la investigación por medio de la participación en las reuniones de revisión de avances y estrategias y proponer temas de investigación para la solución de problemas específicos de cada uno. Además, se aprovecha la experiencia de los investigadores y especialistas de clase mundial, así como se podrá facilitar que especialistas realicen estudios de posgrado en la universidad.

Lo dará como resultado alternativas bien definidas para la recuperación de las reservas de aceite pesado de los campos potenciales para de esta manera poder seleccionar apropiadamente la secuencia correcta que permita tener una rápida

recuperación, con una mínima saturación de aceite residual en yacimientos naturalmente fracturados y arenas por medio de la producción en frío, aplicación de procesos térmicos, inyección de solventes, uso de catalizadores metálicos, etc.

Dada la diversidad de métodos de recuperación disponibles, la selección del mejor método para un yacimiento en particular requiere un estudio general que incorpore diversos factores, tales como propiedades de los fluidos, continuidad de la formación, mecánica de las rocas, tecnología de perforación, opciones de terminación de pozos, simulación de la producción e instalaciones de superficie. Este esfuerzo de equipo multidisciplinario también debe considerar las soluciones de compromiso entre factores tales como reservas, regímenes de recuperación esperados y tasas de producción. También se requiere la consideración del costo de la generación de energía y la sensibilidad ambiental.

Capítulo 4

Estado del Arte en Recuperación Mejorada para Crudos Pesados y Extrapesados

En nuestro país, los crudos pesados son y serán de gran importancia, pues representarán cerca del 70% de la producción y gran parte de las reservas nacionales. Lo que vuelve urgente y necesario el desarrollo e implementación de métodos y tecnologías para asegurar el abasto energético en el país, aprovechando al máximo los recursos disponibles, de manera redituable y en armonía con el medio ambiente.

En los últimos años se ha avanzado en las tecnologías de extracción de hidrocarburos lo cual abre nuevas posibilidades para aumentar el factor de recuperación. Los hidrocarburos pesados debido a sus características tiene un bajo factor de recuperación cuando se extraen por medio de métodos convencionales. Los métodos para extraer hidrocarburos pesados requieren de la aplicación de técnicas específicas que resuelvan los retos de producción para este tipo de crudos.

4.1 Retos para Producir Aceite Pesado y Extrapesado

- Bajos factores de recuperación
- Alta viscosidad del aceite
- Baja movilidad
- Difícil de extraer
- Difícil toma de información
- Difícil de transportar
- Infraestructura especial de procesamiento
- Difícil de comercializar
- Mayor precio.

4.2 Trabajos de Investigación dentro de los Consorcios de Investigación y Desarrollo Alrededor del Mundo

Actualmente existen varios consorcios enfocados a la investigación en métodos de recuperación mejorada y al desarrollo de tecnologías para la explotación de crudos pesados y extrapesados, algunos son:

4.2.1 *Unconventional Oil Recovery*, de la Universidad de Alberta.

El objetivo de este consorcio es mejorar el entendimiento del flujo de fluidos (Matriz-Fractura) en medios porosos empleando nano materiales inteligentes y analizar los fenómenos que ocurren durante la recuperación mejorada de aceite pesado y extra pesado, empleando métodos térmicos y no térmicos. Los tópicos principales de investigación son: inyección de vapor-solvente en yacimientos naturalmente fracturados y arenas, optimización del método SOS-FR y recuperación de solvente en yacimientos naturalmente fracturados, uso de nano partículas como catalizador para mejorar el aceite pesado in-situ y precipitación de asfaltenos durante la inyección de solventes. Además de mejorar el entendimiento de los complejos mecanismos que actúan en los procesos simultáneos (drene gravitacional, capilaridad y difusión efectiva).

4.2.2 *In Reservoir Catalytic Upgrading of Unconventional Oils integrated to Thermal Enhanced Oil Recovery Methods*, de la Universidad de Calgary.

El objetivo de este consorcio es mejorar las propiedades reológicas del crudo in-situ, mediante procesos térmicos y químicos involucrados en los métodos de recuperación mejorada para recuperar aceite no convencional. Tiene por finalidad inyectar catalizadores al medio poroso y producir calor, buscando expandir la matriz rocosa y con esto expulsar el aceite contenido dentro de ella, con este proceso se piensa incrementar la reserva, así como la identificación de los mecanismos de producción a escala de poro y en la matriz durante la aplicación de procesos térmicos y químicos. El estudio de las alternativas para el mejoramiento del crudo que permitirán producirlo y transportarlo en forma eficiente, reduciendo componentes indeseables como: asfáltenos, azufre y metales pesados. Identificación de los mecanismos de producción a escala de poro y en la matriz durante la aplicación de procesos térmicos y químicos.

4.2.3 Non thermal enhanced heavy oil recovery studies, de la Universidad Heriot Watt.

Cuyo objetivo es mejorar el entendimiento del flujo de fluidos (Matriz - Fractura) en medios porosos naturalmente fracturados, mediante la experimentación y el modelado numérico computacional buscando comprender los fenómenos que ocurren durante la recuperación mejorada de aceite pesado con aplicación de procesos No-Térmicos más eficientes.

4.2.4 Research on Foam for Enhanced Oil Recovery, de la Universidad Tecnológica de Delf.

Tiene como objetivo la investigación en recuperación mejorada utilizando espumas, así como el modelamiento del efecto del aceite sobre las espumas y la determinación del efecto de la saturación y composición del aceite. También el flujo de espumas en medios fracturados y vugulares y las estrategias para procesos con espumas de bajo costo

4.3 Trabajos de Investigación dentro de los Consorcios para Recuperación de Crudos Pesados

Algunos de los trabajos de investigación dentro de estos consorcios se mencionan a continuación.

4.3.1 Heavy Oil Recovery by Alternate Injection of Steam and Solvent (Propane an CO2) in Fractured Carbonates and Oilsands

Se ha identificado que el vapor es la técnica más popular para recuperar aceite pesado. Además, se han observado mejores factores de recuperación adicionando solventes. En el desarrollo de la experimentación se utilizaron muestras de núcleos: consolidados, no consolidados y carbonatos fracturados, en este proceso, la retención del solvente, la depositación de asfaltenos y los aspectos económicos son los mayores problemas, para lo que se requiere investigación profunda de laboratorio y campo para proveer una solución óptima.

4.3.2 Enhancement of Heavy Oil/Bitumen Thermal Recovery Using Nano Metal Particles

El objetivo es desarrollar una técnica para refinar el aceite in-situ, utilizando nano

partículas como catalizadores. La alta viscosidad se debe a las impurezas que contiene el aceite pesado, tales como NSO. El azufre tiene el mayor efecto sobre las propiedades, la reducción de su contenido a través de reacciones de desulfuración, puede mejorar en gran medida las propiedades físicas y químicas. Siendo el Níquel altamente efectivo para remover el Azufre. Este proceso se aplica ampliamente en las refinerías.

4.3.3 Pore Scale Investigations on Gravity Drainage Dominated Heavy Oil Recovery Under Non- Isothermal Conditions

El objetivo más ambicioso es describir visual y matemáticamente la Saturación de Aceite Residual (S_{or}), investigando a escala de poro con tubos capilares el problema de las altas saturaciones de aceite residual en los procesos SAGD, lo que incide en recuperaciones de 35 a 40% cuando se espera más del 60%.

Además, se analizaron las formas geométricas que adopta el aceite como fase residual en el medio poroso en presencia de agua congénita, gas, condensado y vapor. Se investigó la influencia del flujo multifario, los mecanismos de retención, la presencia de precipitaciones sólidas, los mecanismos de transferencia de calor y la interacción de la mojabilidad y los coeficientes de dispersión.

4.3.4 Low Temperature Air – Solvent Injection into Deep Naturally Fractured Reservoirs for Heavy Oil Recovery

Con el objeto de determinar los mecanismos presentes en un proceso de inyección de aire e inyección de aire mas solvente, se han realizado pruebas estáticas en núcleos consolidados saturados con aceite pesado, en los que se determinó el comportamiento del coeficiente de difusión a diferentes temperaturas. Actualmente se desarrolla el modelo numérico para un medio fracturado con un bloque matriz, con el fin de analizar la concentración del solvente en la mezcla.

4.3.5 Heavy-Oil/Bitumen Recovery by Solvent Injection at Elevated Temperatures

Se realiza simulación numérica, con el objeto de determinar las condiciones óptimas de máxima recuperación al menor costo, en un proceso de recuperación de aceite por inyección de solvente a temperatura elevada. Se ha demostrado

que no sólo hay un límite de temperatura al que el aceite producido comienza a declinar, sino que también la cantidad de sólidos precipitados dependen de la temperatura. Por lo que se determinó que la temperatura óptima es justo arriba de la temperatura de saturación del solvente. El uso de solventes alternados con vapor es un proceso altamente eficiente para recuperar aceite pesado con baja Sor. La inyección de vapor más solvente podría ser una solución para los yacimientos profundos, donde los procesos de vapor se vuelven ineficientes debido a que el vapor se torna en agua caliente.

4.3.6 Evaluation of Post-CHOPS (Cold Heavy Oil Production with Sands) EOR Methods

El proceso CHOPS es un método prometedor para producir en frío aceite pesado inmóvil. Los factores de recuperación son muy bajos por lo que se requiere la aplicación de procesos de recuperación mejorada.

La simulación de yacimientos es la herramienta más económica y poderosa para evaluar la aplicación de procesos EOR después del CHOPS.

4.3.7 Optimization of SAGD, ES-SAGD, and SOS-FR (Steam-Over-Solvent Injection in Fractured Reservoirs) Techniques Using Hybrid Optimization Technique

A través de Algoritmos Genéticos Híbridos optimizar la simulación de procesos utilizados en la recuperación de aceites pesados.

Los algoritmos fueron probados en: SAGD y ES-SAGD en yacimientos homogéneos, SAGD y ES-SAGD en yacimientos heterogéneos (capas de Lutita) y SOS-FR en yacimientos fracturados.

El modelo de SOS-FR en yacimientos con múltiples fracturas proporciona el mayor factor de recuperación económica y fue considerado como el caso base para la optimización, dicho modelo consta de tres fases:

- Fase 1, se inyecta vapor o agua caliente para calentar el yacimiento y reducir la viscosidad, la recuperación de petróleo en esta etapa se debe principalmente a la expansión térmica y el drene gravitacional.

- Fase 2, el solvente se inyecta entonces para reducir aún más la viscosidad y difundirlo en la matriz, produciendo el aceite por gravedad. En sistemas mojados por aceite, como los carbonatos, la imbibición capilar también puede jugar un papel importante
- Fase 3, se inyecta agua caliente o vapor para recuperar el solvente y recuperar aceite adicional.

4.6.8 Use of Nano-Metal Particles as Catalyst under Electromagnetic Heating for Heavy Oil/Bitumen Recovery

Las técnicas convencionales de recuperación térmica y la adición de solventes no son suficientes para incrementar la recuperación de aceite pesado. Debido a esto, se requieren nuevas técnicas para romper los enlaces carbono azufre, cuya ruptura se logra a través de catalizadores metálicos o nano-partículas, dando como resultado el incremento de compuestos saturados y aromáticos lo que disminuye notablemente la viscosidad del aceite y mejora la relación de movilidad

4.3.9 Mechanics of Oil Displacement near the Chamber Edge during ES-SAGD

La inyección vapor-solvente ha sido ampliamente estudiada en la literatura en los últimos años bajo diferentes nombres, tales como la expansión de solvente SAGD (ES-SAGD). En este trabajo se investigan los detalles de la colocación del solvente y los mecanismos implicados en el desplazamiento de aceite cerca de la cámara de vapor a través de simulación. El beneficio radica en reducir aun más la viscosidad del bitumen en el borde de la cámara más allá de la sola inyección de vapor. El gasto de producción es 3 veces mayor y la recuperación se incrementa en más de 20%. Los mecanismos de recuperación de aceite cerca de la cámara de vapor son poco conocidos debido a la compleja interacción de fluidos, flujo de energía y el comportamiento de fases.

4.3.10 Asphaltene Precipitation During Solvent Injection at Different Reservoir Conditions and Its Effects on Heavy-Oil Recovery from Oilsands

Es sabido que el uso de solventes promueve la precipitación de asfaltenos, se ha demostrado que utilizando hexano como solvente, si aumenta la temperatura de

50°C a 80°C la concentración de asfáltenos disminuye. A presiones inferiores a 220 [psi] el comportamiento de la cantidad de asfaltenos precipitada es similar a 50 y 70°C.

4.3.11 Investigations on the Solvent Retrieval During the Steam-Over-Solvent Injection in Fractured Reservoirs (SOS-FR) Method¹

La inyección de vapor, es un método ampliamente utilizado para recuperar petróleo pesado de yacimientos de areniscas, no es fácil de aplicar en yacimientos carbonatados naturalmente fracturados, donde la mayoría del aceite se almacena en la matriz y la red de fracturas controla el flujo.

Recientemente se desarrolló el método SOS-FR para recuperar el aceite de la matriz que consiste en la inyección alterna de disolvente y vapor a baja temperatura (o agua caliente), cuando se utiliza un solvente solo o combinado con un método térmico, el reto principal es recuperar el solvente inyectado, debido principalmente a su alto costo. La viabilidad de cualquier método de recuperación solvente-vapor (o agua caliente), depende esencialmente de la recuperación de petróleo y de la recuperación de disolvente.

Como un ejemplo de la necesidad que existe en México para incursionar en la modalidad de consorcios para solucionar los retos tecnológicos específicos se encuentra el caso Akal, el cual se menciona a continuación.

4.4 Caso AKAL.

Alrededor de noventa por ciento de la producción de hidrocarburos en México proviene de yacimientos que se encuentran en formaciones naturalmente fracturadas (YNF). Por la dificultad de comunicación hidráulica entre la fractura y la matriz gran parte del petróleo se queda en ésta última; debido a la ocurrencia del sistema de fracturas, se presentan diversos problemas durante la extracción del petróleo, tanto de canalización de fluidos, como de alta retención de aceite. Uno de los principales problemas de los YNF es la diferencia de permeabilidades entre los dos medios más importantes fractura–matriz, lo que ocasiona canalizaciones del fluido inyectado y baja eficiencia de barrido del aceite.

¹ MSc Mohammedalmojteba Mohammed



Figura 4.1 Ubicación campo Akal. Dictamen Técnico del Proyecto de Explotación Cantarell (Modificación Sustantiva), CNH, 2013.

Los métodos que existen para contrarrestar los retos antes mencionados, se pueden clasificar en tres grupos, los métodos térmicos que como se mencionó anteriormente, disminuyen la viscosidad del aceite incrementando la temperatura del yacimiento, la inyección de gases miscibles y los métodos químicos, en los cuales se inyectan solventes para disminuir la viscosidad, en soluciones acuosas, en los cuales se requiere invadir el sistema de fracturas, siendo las espumas la mejor manera de hacerlo.

Una forma de incrementar el factor de recuperación es implementar algún Método de Recuperación Mejorada. Dichos métodos no se han probado en YNF de manera amplia, tal es el caso de la inyección de espumas que ha sido utilizada en algunos pozos del Yacimiento Akal con resultados satisfactorios.

El Campo Akal, perteneciente al Complejo Cantarell, está localizado en el Golfo de México, y es uno de los campos más grandes del mundo, que ha sido productor desde 1979. Ha estado sometido a inyección de Nitrógeno desde el año 2000, con la finalidad de mantener la presión, alcanzando valores de producción mayores a 2 [MMBPD] para el mes de abril de 2011 la producción

Tabla 4.1 Características relevantes del campo Akal. Explotación del Campo Cantarell, 2009.

Primer aceite	1979
Densidad del aceite	22 [°API]
Presión inicial	270 [kg/cm ²]
Porosidad total promedio	8%
Saturación de agua inicial	21%
Permeabilidad efectiva de fracturas	2-10 [D]
Permeabilidad de matriz	<5 [mD]
Espesor del yacimiento	1,000 [m]
Relieve estructural	2,000 [m]

promedio se encontraba en 330 [MBPD]. Como resultado de que una gran cantidad de pozos se han cerrado por alta relación gas-aceite y en consecuencia, una reducción en los niveles de producción; por ello, se ha tratado de disminuir la cantidad existente de pozos que se tienen que cerrar por el avance del contacto gas-aceite, mediante la inyección de espuma.

Como parte de estas acciones, se analiza la factibilidad de prolongar la vida productiva de los pozos que se encuentran cercanos al contacto gas aceite, y reducir la producción excesiva de gas del casquete mediante la aplicación de una espuma de alta viscosidad, formada con N₂, agua de mar y surfactante, la cual tiene como función la reducción de la movilidad del gas y a su vez, disminuir el fenómeno de conificación o canalización de gas hacia los pozos.

4.4.1 Inyección de Espumas

Las espumas se definen como una aglomeración de burbujas de gas separadas por una pequeña película de líquido llamada lamela. Con base en lo anterior, se constituyen por dos elementos; líquido (agua y surfactante) y gas, en donde el surfactante ayuda a la formación y estabilidad de la espuma en el medio poroso.

La formación de la espuma atrapa al gas y modifica su comportamiento reológico a través de la viscosidad aparente. Cuando la espuma se inyecta en forma de baches, su comportamiento es de taponamiento, lo cual no permite que el fluido inyectado detrás de ésta fluya rápido, provocando así una disminución en la relación de movilidad entre el fluido desplazante y el desplazado. Se pueden inyectar o formarse en sitio.

Se clasifican como un proceso químico; ya que el surfactante proporciona estabilidad a la espuma y después de la destrucción de ésta queda libre, ocasionando una modificación más directa al sistema roca-fluido como la mojabilidad o la disminución de la tensión interfacial entre los fluidos (agua- aceite) proporcionando mayor movilidad al aceite.

Cuando se inicia la producción de aceite en un yacimiento se puede originar o en su defecto estar presente un casquete de gas, que al trascurrir el tiempo el contacto gas-aceite descenderá y el gas se conificará, de esta forma el pozo empieza a producir mayor cantidad de gas, por lo tanto, su relación gas aceite, incrementa drásticamente.

La espuma puede usarse para aumentar la eficiencia de barrido en un yacimiento. Debido a que el gas tiene baja densidad, éste tiende a ascender a la cima del yacimiento, por lo que no tiene contacto con zonas ricas en aceite. La disminución de la movilidad del gas mediante la formación de espuma, puede disminuir problemas como la pobre eficiencia de barrido, canalización del gas y segregación gravitacional. El modo de inyección de la espuma dependerá del problema a resolver y de la infraestructura disponible.

En la actualidad muchas de las aplicaciones de espumas se han llevado a cabo en el área del Mar del Norte y los proyectos han sido económica y técnicamente exitosos. Existen aún muchos problemas con las aplicaciones como la predicción de su comportamiento. Uno de los problemas en proyectos de recuperación mejorada es la estabilidad de la espuma en presencia del aceite, así como el desplazamiento de la espuma, que es otro de los factores críticos en las pruebas de campo.

La selección de la espuma adecuada para las condiciones de presión, temperatura y salinidad del Campo Akal, se fundamenta en estudios de laboratorio que demuestran su estabilidad por tiempos prolongados.

En enero del 2009 se realizó un contrato para estudios de procesos químicos y térmicos con varias Universidades, a través del IMP por un periodo de 2 años. El contrato PEMEX-IMP, IMP- Rice y Asoc., debió concluir en diciembre de 2010, pero fue extendido hasta marzo de 2011 con los siguientes resultados:

- El reto de desarrollar surfactantes óptimos para las temperaturas y salinidad del agua de formación de los yacimientos se logró parcialmente, ya que el tiempo considerado para concluir las investigaciones resultó insuficiente.
- La Universidad de Rice, experta en espumas, intentó agentes espumantes en la formulación de UT sin obtener los resultados pretendidos. Fue necesario desarrollar una nueva formulación para el casquete de gas, con capacidad de espumar y recuperar aceite de la matriz. Actualmente se cuenta con la formulación adecuada para la inyección de surfactantes.
- Construcción de modelos numéricos para simular la inyección de surfactante espumado en la zona del casquete de gas en yacimientos naturalmente fracturados mediante el simuladores.
- Diseño de una prueba piloto especial considerando la inyección continua de surfactante espumado en el casquete de gas, incluyendo el monitoreo de la misma tanto en pozos observadores como de evaluación, enfocados al control de canalización de gases y a mejorar la productividad de los pozos.

Uno de los mayores problemas en los métodos de recuperación mejorada es que el agente desplazante tiene mayor movilidad y menor densidad comparado con los fluidos del yacimiento. Los problemas como la canalización y la segregación gravitacional reducen la eficiencia de barrido, provocando una irrupción temprana del fluido inyectado. Lo que reduce la cantidad de aceite recuperado, la espuma disminuye estos problemas, teniendo como resultado un incremento adicional en el aceite producido.

La aplicación de esta nueva tecnología tiene buen funcionamiento en yacimientos naturalmente fracturados debido a que disminuye la movilidad del gas inyectado.

En la actualidad se ha encontrado un incremento de las evaluaciones de pruebas piloto de inyección de espumas y expansiones de proyectos ya existentes, sin embargo, todas estas experiencias no han sido publicadas, lo cual genera la percepción que las actividades de espumas en proyectos de recuperación mejorada es aún baja.

De las aplicaciones de espuma en los campos petroleros de México se tiene poco conocimiento, pero se sabe que cuenta con yacimientos fracturados que son candidatos potenciales para la inyección de espuma, que hará más eficiente el barrido del gas inyectado en el casquete.

Conclusiones

- ❖ Los proyectos de EOR jugarán un papel clave en el balance oferta-demanda del futuro y por lo tanto también de los precios.
- ❖ La carencia de conocimiento en el diseño y riesgo son posiblemente los responsables del número limitado de casos de aplicación, aún cuando los proyectos realizados han sido exitosos.
- ❖ En Canadá y los Estados Unidos la inyección de polímeros ha ganado interés para su aplicación en yacimientos de aceite pesado y costa afuera.
- ❖ Recientemente la aplicación la combinación de tecnologías para mejorar el perfil de inyección y la eficiencia de barrido ha llamado la atención de los operadores en diferentes partes del mundo.
- ❖ Proyecciones simples y el uso de simulación han contribuido a identificar la factibilidad técnica y económica de los diferentes métodos de recuperación mejorada. El número de evaluaciones vigentes de la tecnología de los métodos combinados IOR/EOR y los resultados exitosos muestran que los métodos químicos pueden llegar a establecerse en los años próximos.
- ❖ Existe muy poca experiencia internacional en la aplicación de procesos de recuperación mejorada en yacimientos de carbonatos naturalmente fracturados, y más con las características como los que hay en México.
- ❖ En la actualidad, el cambio tecnológico es uno de los principales factores que afectan el grado de competencia en una industria. La innovación debe darse en función de los requerimientos de la misma, y de las tendencias tecnológicas, lo que propicia que se desarrollen nuevas técnicas para planear, prever e identificar mecanismos más eficientes para el desarrollo de tecnología. Un ejemplo de esto son los Consorcios de Investigación y Desarrollo Tecnológico.

Conclusiones y Recomendaciones

- ❖ Las tecnologías de recuperación térmica han reducido sus costos a la mitad en las últimas décadas y contribuyen en un 67% a la producción mundial, dentro de la producción con métodos de recuperación mejorada, lo cual hace evidente que las tecnologías para aplicarlas tendrán un impacto favorable en el país lo que se verá reflejado en un incremento en la producción diaria.
- ❖ El impulso a una educación de calidad es el camino definitivo a una recuperación económica, desarrollo y prosperidad del país. Actualmente en México se fomenta la generación de empleos inmediatos y educación técnica, dejando el apoyo a la educación y la investigación en segundo lugar.
- ❖ Los planes de estudio de las universidades tienden cada vez mas a formación de "profesionistas usuarios", los cuales tienen muchas veces una visión muy corta y una capacidad de propuesta pobre hacia la innovación tecnológica. Esto provoca que los profesionistas al salir de la carrera solo se adapten a lo que las empresas, en su mayoría extranjeras generen, en vez de apoyar el desarrollo de tecnologías nacionales que respondan a problemáticas nacionales.
- ❖ Los consorcios se muestran como ejemplo de la dirección tecnológica que deben seguir las compañías y las universidades con el fin de investigar y desarrollar en materia de tecnología.

Recomendaciones

- ❖ Es importante que se cuente con un estudio detallado de la gama de tecnologías que pudieran ser aplicables a los campos nacionales y que han tenido éxito en otros campos del mundo. Estas tecnologías deberán estar alineadas con una administración eficiente de los campos a fin de que estos no sean sobre-explotados y reduzcan el valor del proyecto.
- ❖ Se requiere de un programa agresivo de pruebas piloto para el EOR, así como el desarrollo de una estrategia de IOR-EOR para todos los yacimientos de aceite del país susceptibles de estos métodos. Así como de un programa de entrenamiento y de pruebas para el diseño de instalaciones especiales para la producción de crudos pesado y extrapesados.
- ❖ Las empresas dedicadas a la realización de proyectos deben disponer de las tecnologías adecuadas que permitan su desarrollo, es decir, deberán contar con los procesos de gestión de tecnología adecuados para su identificación, evaluación, selección, adquisición, incorporación, optimización y mejora continua.
- ❖ La palanca de impulso en desarrollo tecnológico es fomentar el conocimiento, la innovación y la competitividad, donde se conjugan esfuerzos y definen compromisos tanto gobierno como academia y sector privado.
- ❖ La Universidad debe de ser promotora del cambio y la innovación científica.
- ❖ Se debe mejorar la administración de los pocos recursos que se tienen, elevar el nivel académico y el desempeño profesional en las Universidades, generando así profesionistas e investigadores de primer nivel.

Bibliografía

- La importancia del crudo pesado. Oilfield Review Español. Otoño, 2006. http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish06/aut06/heavy_oil.pdf
- Crudos pesados, la gran apuesta del sector. Colombia Energía. Enero, 2013. <http://www.colombiaenergia.com/node/75>
- Yacimientos de petróleo pesado. Oilfield Review Español. Invierno 2002. https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish02/wi02/p32_55.pdf
- IOR-EOR El futuro de la producción en México. CNH, 2012. http://www.cnh.gob.mx/_docs/IOR_EOR.pdf
- EOR: Current Status and Opportunities. E. Manrique, et al. SPE 130113. 2010
- Retos tecnológicos en E&P de la industria petrolera mexicana. Colegio de Ingenieros Civiles de México. Noviembre, 2013. <http://www.cipm.org.mx/files/Javier%20Hinojosa.pdf>
- Manual de Transferencia y Adquisición de Tecnologías Sostenibles. UASDI, 2005. <http://www.cnpml.org.pa/images/nosotros/centro-de-informacion/manuallt.pdf>
- Ciencia e Innovación en México. Foro consultivo científico y tecnológico, A.C., 2012. http://www.foroconsultivo.org.mx/libros_editados/cuatro_proyectos.pdf
- Innovación: Nuevo motor del desarrollo. Revista ALTAG. Venezuela. <http://www.altag.net/innovacion-nuevo-motor-del-desarrollo/>
- Sistemas de innovación tecnológica como motor del crecimiento económico. Malinali González. Gestionopolis. 2013. <http://www.gestiopolis.com/sistemas-de-innovacion-tecnologica-como-motor-del-crecimiento-economico/>
- Gestión tecnológica y desarrollo universitario. Centro Universitario de Desarrollo. Chile, 1994. <http://es.scribd.com/doc/50222614/PAIC-CINDA-2-Unidad-1-Gestion-tecnologica-y-desarrollo-universitario>

Bibliografía

- Transferencia de tecnología: consideraciones y desafíos en escenarios de globalización. Revista Venezolana de Gerencia. Venezuela, 2010. <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1315->
- La Curva S como herramienta para la medición de los ciclos de vida de productos. Journal of technology mangement and innovation. 2012. http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27242012000100016&script=sci_arttext
- Consorcio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica. CONACYT. <http://www.conicyt.mx/index.php>
- Los beneficios de la tecnología de avanzada en los estudios. Study in USA. Octubre 2011. <http://studyusa.com/es/a/263/los-beneficios-de-la-tecnolog%C3%ADa-de-avanzada-en-los-estudios>
- Beneficios de la vinculación Universidad-Sector Productivo. Ingeniería, investigación y tecnología. México, 2007. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432007000100003&script=sci_arttext
- Las tecnologías y la educación superior a distancia. Revista Digital Universitaria. Revista UNAM. Septiembre, 2008. <http://www.revista.unam.mx/vol.9/num9/art64/int64.htm>
- La ciencia e innovación tecnológica en el desarrollo de la universidad. Revista Ciencias Técnicas. Vol. 14 No. 2, 2005. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93214210>
- La innovación: piedra de toque del desarrollo mexicano. Universidad Politécnica del Valle de México. Diciembre, 2010. http://www.upvm.edu.mx/archivos/UPVM_PDF_INNOVACION1.pdf
- Inteligencia competitiva y transferencia de tecnologías: reflexiones para el desarrollo de la relación universidad-empresa. Universidad Politécnica de Cataluña. <http://www.oei.es/salactsi/pere2.pdf>

Bibliografía

- Universidad. Motor de la innovación empresarial. Universidad da Coruña. Google Books. España, 2011
- Ventajas para la empresa. David Ramos. Revista Emprendedores. 2009. <http://www.emprendedores.es/crear-una-empresa/spin-off-en-las-universidades/ventajas-de-la-universidad-para-las-empresas>
- Destaca CONACYT ventajas del trabajo colaborativo entre empresas y universidades. Portal Informativo ITESM. Enero, 2012. <http://www.itesm.mx/wps/wcm/connect/snc/portal+informativo/por+tema/desarrollo+social/leonardoriosconacyt30ene12>
- Planificación Tecnológica. Energía a debate. Julio, 2010. <http://energiaadebate.com/planificacion-tecnologica/>
- Discontinuidades y Curva 'S'. Juan Carrión, Octubre, 2009. <https://juancarrion.wordpress.com/2009/10/12/discontinuidades-y-curvas/>
- Gestión de innovación. Observatorio Virtual de Transferencia de Tecnología. http://www.ovtt.org/gestion_gestion_de_la_innovacion
- La gestión de proyectos de innovación. Universidad Pontificia de Católica de Chile, 2012. <http://www.claseejecutiva.cl/blog/2012/04/cambios-la-gestion-de-proyectos-de-innovacion/>
- Educating Engineers. Academies of Engineering and Technological Sciences, Inc. Hungría, 2013.
- Explotación de campos maduros, aplicaciones de campo. Tesis. UNAM. Noviembre 2009.
- Consorcios de Investigación y Desarrollo Tecnológico con Universidades como Vehículo para la Generación de Soluciones Tecnológicas. Subdirección de gestión de Recursos Técnicos. Pemex.

Bibliografía

- Desarrollo de los mapas tecnológicos y su impacto en el programa de eficiencia operativa de Pemex Exploración y Producción. Tesis. UNAM. Febrero, 2013.
- La Gestión de Proyectos Tecnológicos. Juan Ignacio Ustararan. Perspectiva Tecnológica. México.

Índice de Figuras y Gráficas

- **Capítulo 1**

Figura 1.1 Producción de crudo por tipo (miles de barriles diarios). PEMEX, 2012.

Figura 1.2 Producción mundial de aceite por tipo de fuente (millones de barriles por día). CNH, 2012.

Figura 1.3 Total de Reservas de Petróleo en el Mundo. SLB, 2006.

Figura 1.4 Clasificación de los Métodos de Recuperación. CNH, 2012.

Figura 1.5 Diagrama de Inyección de Vapor.,CNH, 2012.

Figura 1.6 Proceso de Inyección de Químicos. CNH, 2012.

Figura 1.7 Inyección de Dióxido de Carbono. CNH, 2012.

Tabla 1.1 Mecanismos Básicos de Producción Primaria. CNH, 2012

Tabla 1.2 Efectos Físicos de los Métodos de Recuperación Mejorada. SLB, 2006.

- **Capítulo 2**

Figura 2.1 Ciclo de vida de la tecnología. Adaptada de Wordpress, 2006.

Figura 2.2 Proceso de Gestión de tecnología. PUCC, 2012.

Tabla 2.1 Factores que afectan el Método de Adquisición de Tecnología. USAID, 2005.

Tabla 2.2 Fuentes de Tecnología. USAID, 2005.

Índice de Figuras y Gráficas

Tabla 2.3 Grados de Asimilación de Tecnología. Adaptada de USAID, 2005.

- **Capítulo 4**

Figura 4.1 Ubicación campo Akal. CNH, 2013.

Tabla 4.1 Características relevantes del campo Akal. CNH, 2009.