



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

# *Operaciones en Yacimientos de Crudos Pesados y Extra pesados*

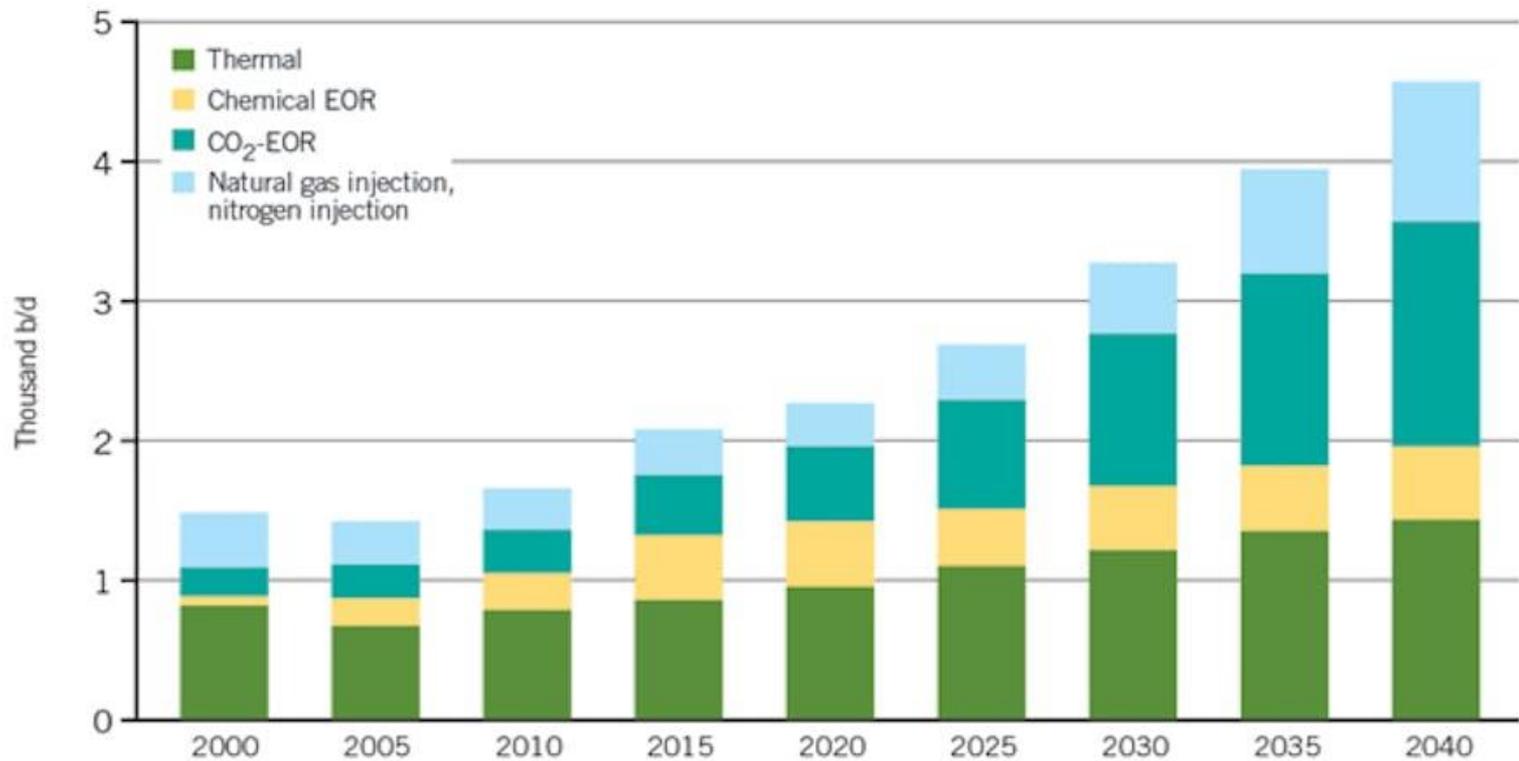
---

**TEMA II. MÉTODOS DE RECUPERACIÓN EN FRÍO**

# Métodos Mejorados (EOR)

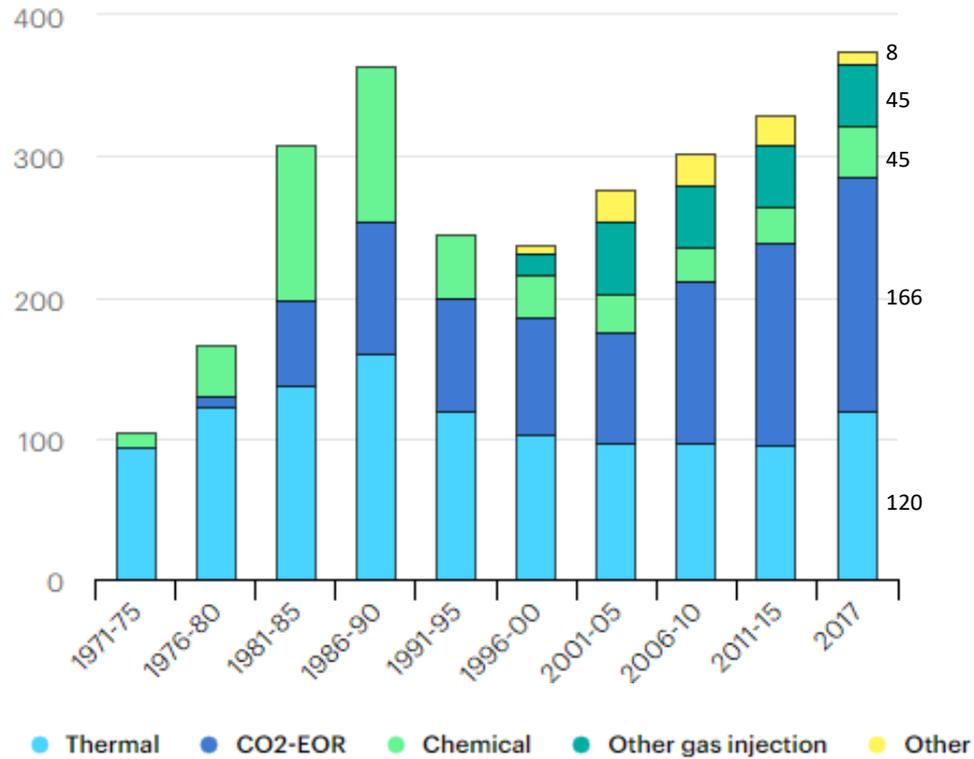
## EOR PRODUCTION

FIG. 2



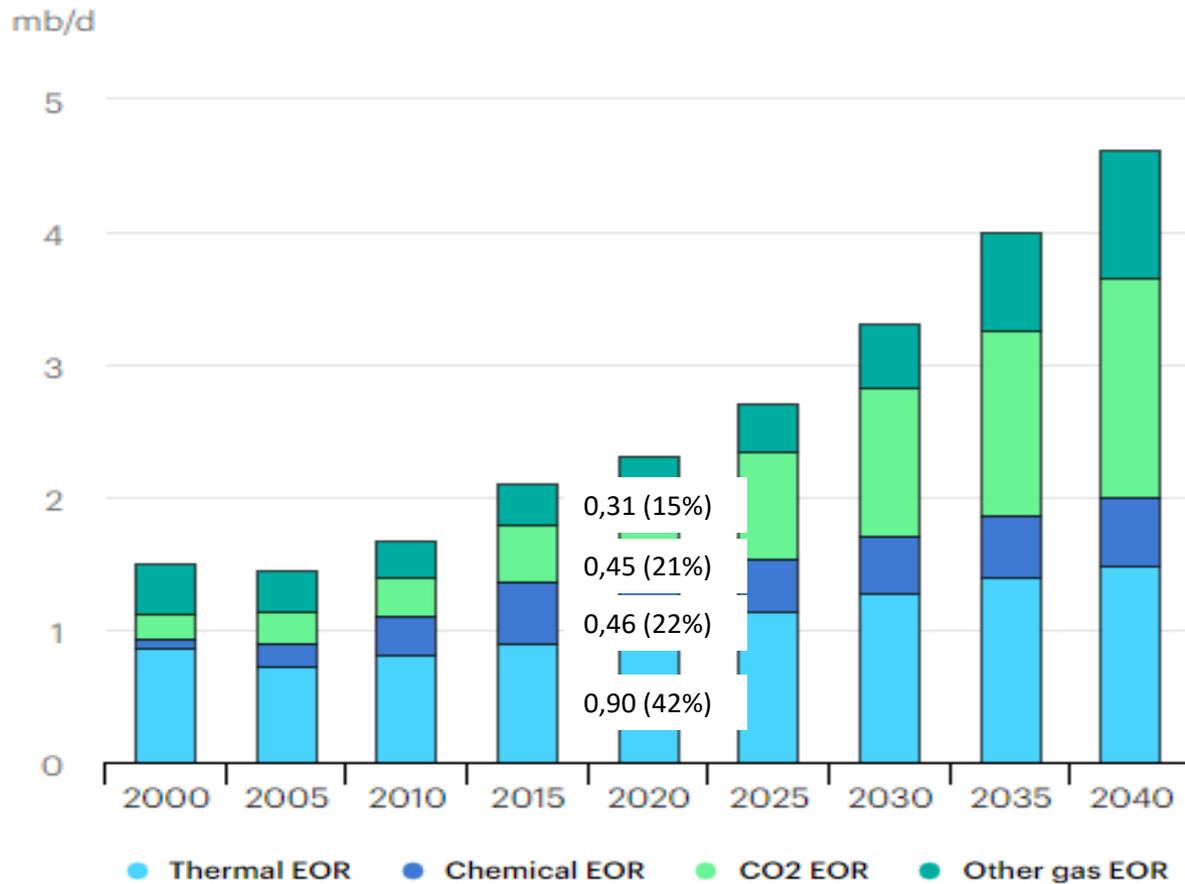
Source: IEA World Energy Outlook

# Proyectos EOR a nivel Mundial (1971 – 2017)

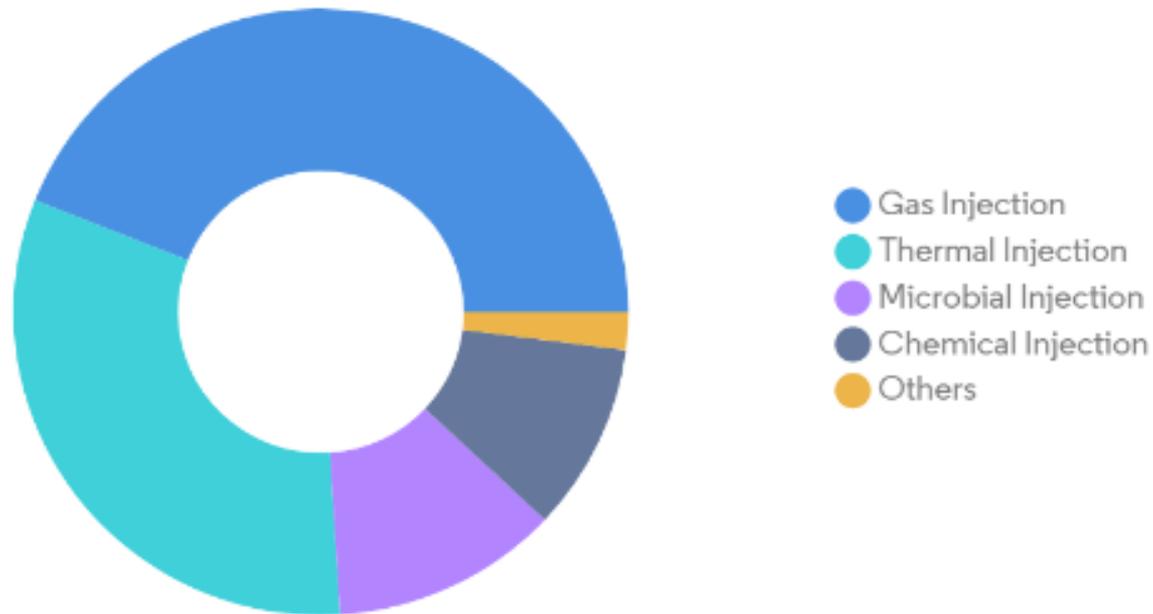


Fuente: IEA, Number of EOR projects in operation globally, 1971-2017, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/number-of-eor-projects-in-operation-globally-1971-2017>

# EOR production in the New Policies Scenario, 2018-2040



## Share of Enhanced Oil Recovery (EOR) Projects, in %, by Technology, Global, 2021



Source: Mordor Intelligence



# Métodos Químicos en Argentina por YPF

## Proyecto Mendoza

### Ejecución

Desfiladero Bayo: Inyección de polímeros.

La Ventana: Piloto nano esferas.

### Conceptuación y definición

Vizcacheras, papagayos: Inyección de polímeros, surfactante, nitrógeno,

Formación Barracas: Inyección ASP.

Loma Alta Sur: Inyección de geles y polímeros.

### Visualización

Desfiladero Bayo Oeste: Inyección de polímeros.

Chachauen: SP

Puesto Molina: Inyección de polímeros.



## Proyecto Golfo San Jorge

### Ejecución

Manantiales Behr-Grimbeek: Inyección de polímeros.

### Conceptualización y definición

Cañadón perdido: Inyección de polímeros.

Manantiales Behr Expansión polímeros, yacimiento El Trébol inyección de geles.

### Visualización

El trébol: Inyección de polímeros.

Manantiales Behr Yac La Enramada: térmico.

Grimbeek: ASP.

Los Perales: Inyección de geles y polímeros.

Cañadón Seco-León: Inyección de polímeros.

Loma del Cuy: Inyección de polímeros.

Pico truncado: Inyección de geles y polímeros.

## Proyecto Neuquén

### Ejecución

Chihuido de la Sierra Negra:

*Single Well Test* / ASP.

### Conceptualización y Definición

Señal Picada: Inyección de polímeros.

### Visualización

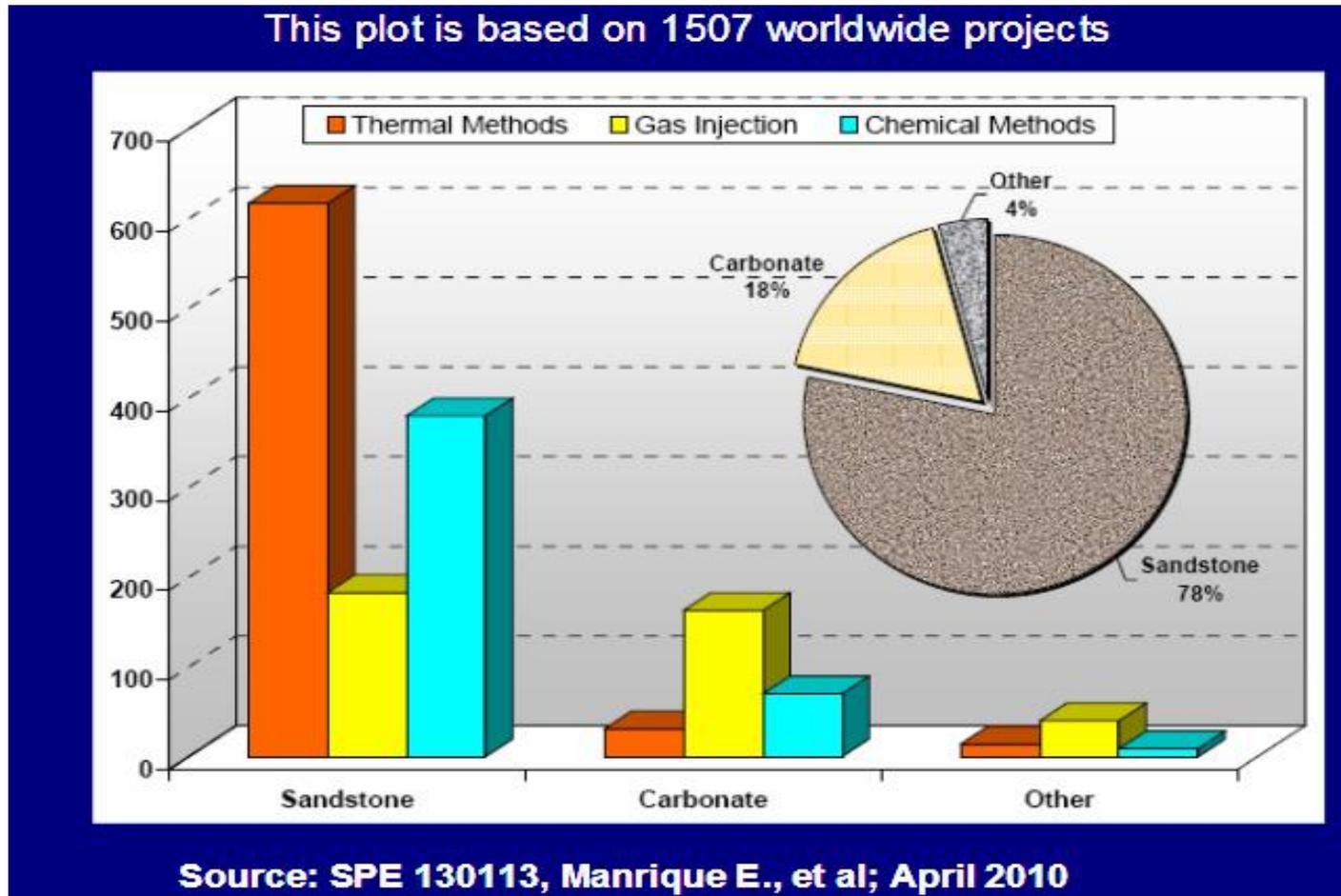
Aguada Toledo / Puesto Hernández: Inyección de polímeros.

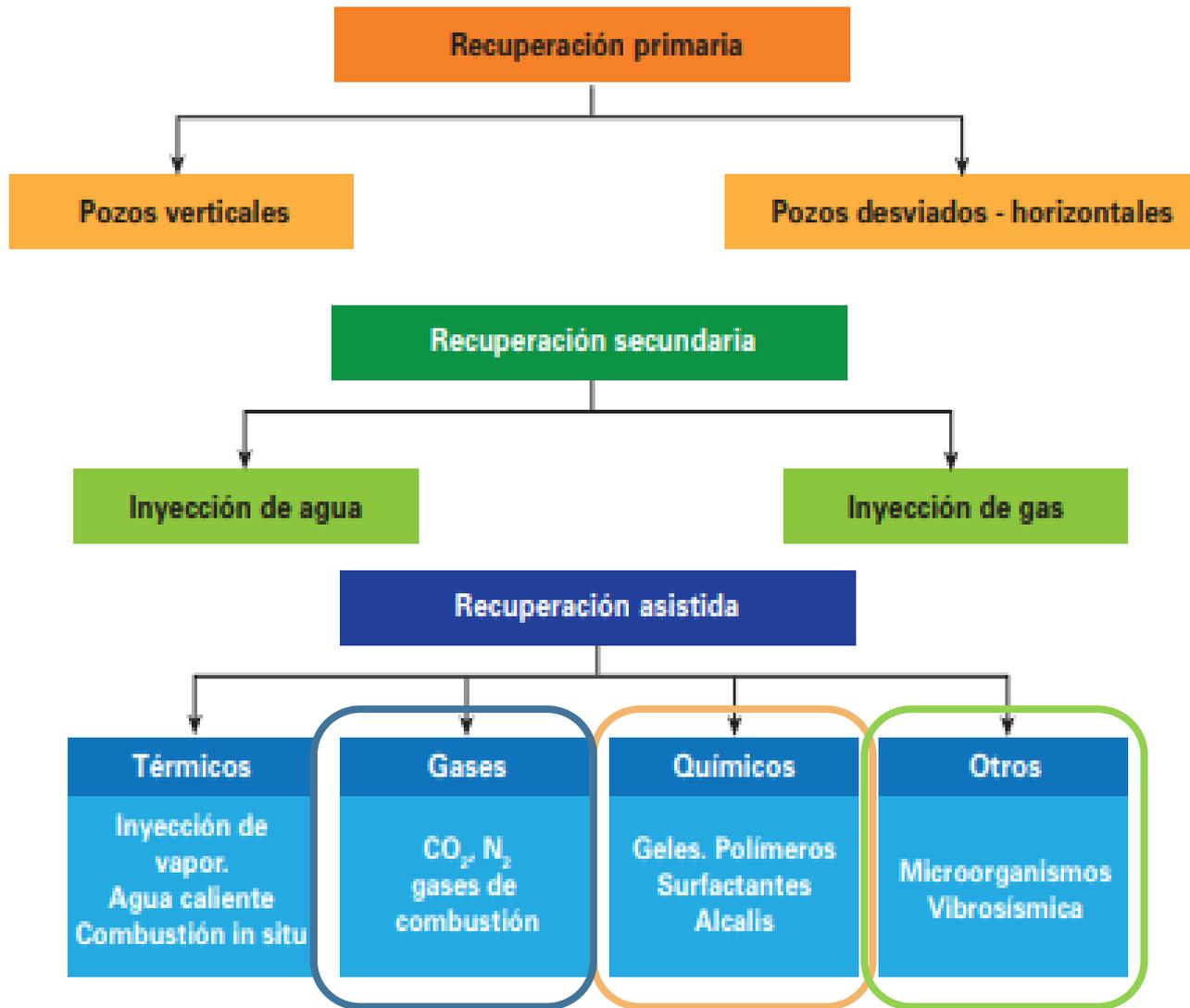
Loma la Lata: Inyección de metanol.

Medanito: ASP.

**Fuente:** EOR: Una estrategia sustentable Por Lic. Ing. Sebastián Kaminszczyk e Ing. Andrés López Gibson (YPF S.A.) (2016).

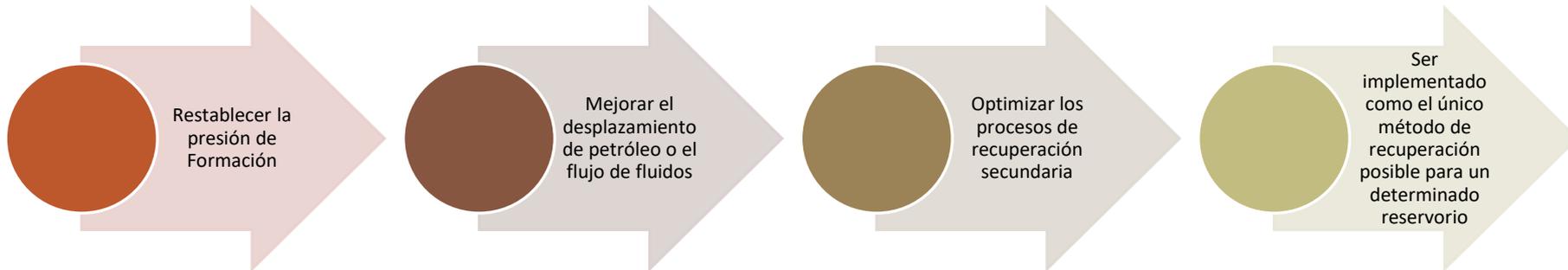
# EOR Por Litologías





# La Recuperación Asistida, Terciaria o Mejorada (EOR)

Adiciona energía al yacimiento, este proceso considera cambios en las propiedades de la roca (como la mojabilidad) o del fluido (como la viscosidad o la tensión interfacial).



# Razones para las Fallas en EOR

- Bajo precio del petróleo (Inestabilidad).
- Descripción insuficiente de la geología del yacimiento (Subestimación de la heterogeneidad del reservorio).
- Compresión inadecuada del mecanismo EOR (Mala selección de candidatos).
- Presupuestos Insuficientes (falta de compromiso).
- Fuerte dependencia de los experimentos de laboratorio y de la Simulación.
- Evaluación pobre después del tratamiento.
- Entre otros aspectos.

Basado en comentarios de S.M. Farouq Ali (2007)

# Tener en cuenta

- La predicción de resultados es difícil.
- Mayor inyección implica mayor recuperación.
- Es esencial una evaluación detallada del proyecto, esto incluye la caracterización del reservorio.
- Respuesta a largo plazo.



# Estudio Integrado de Yacimientos

## Qué Es?

- Análisis Interpretativo y multidisciplinario de un yacimiento, como una unidad geológica e hidráulica integral.

## Integrando

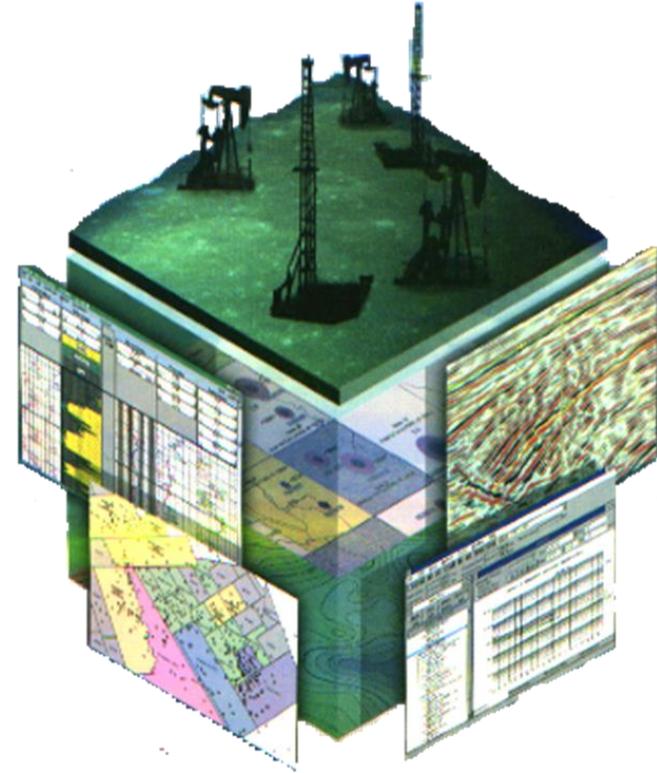
- Aspectos estructurales, estratigráficos, sedimentológicos, petrofísicos y de fluidos, en un modelo único

## ¿Para qué?

- Describir la naturaleza y geometría del reservorio
- Calificar y cuantificar propiedades de roca y fluidos
- Establecer distribución y volúmenes recuperable de hidrocarburos

## Que permita

- Establecer un plan de explotación que garantice la máxima recuperación económica de sus reservas.



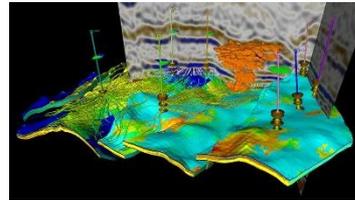
# Estudio Integrado de Yacimientos

## ¿Qué Necesitamos?

Recurso humano especializado



Herramientas tecnológicas

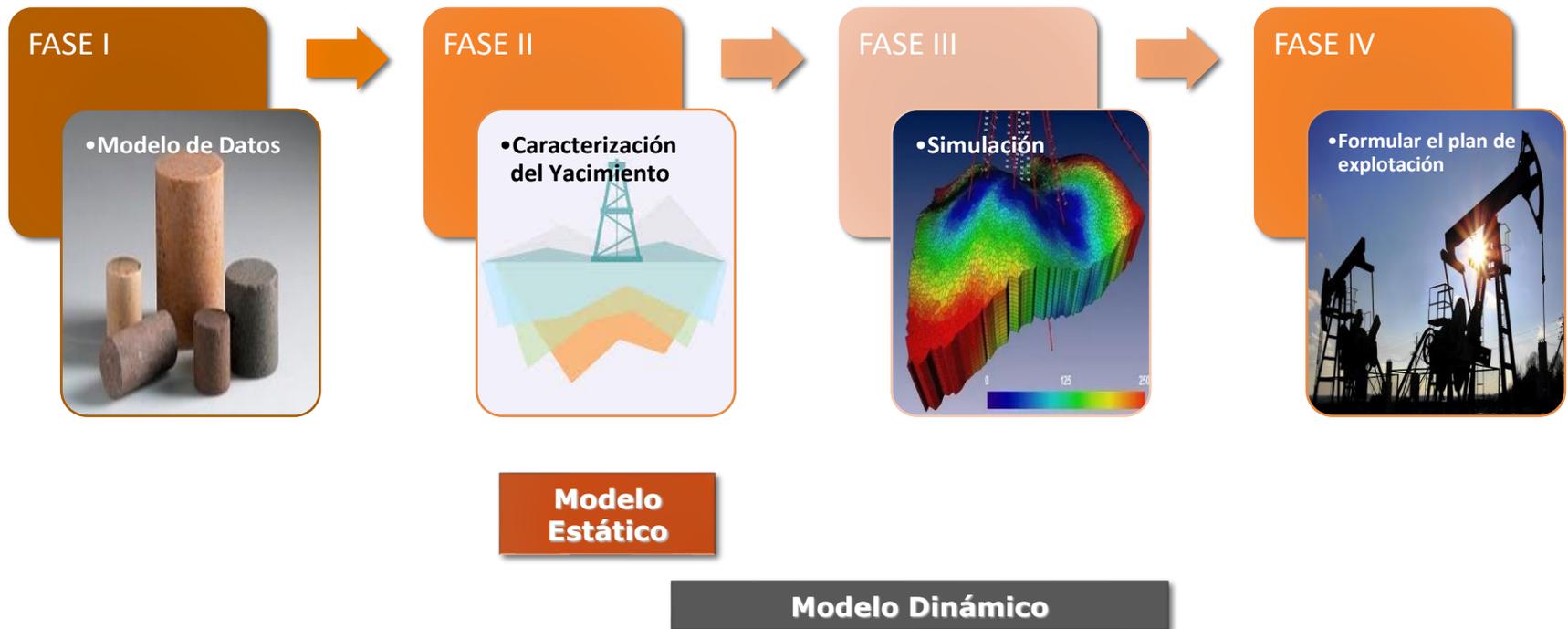


Datos en cantidad y calidad



# Estudio Integrado de Yacimientos

## FASES

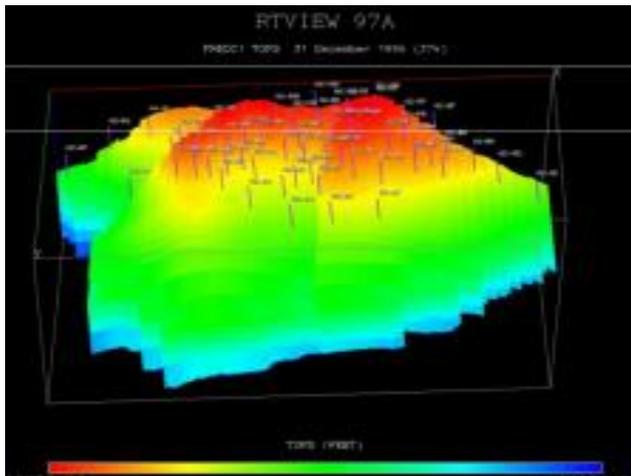




# Estudio Integrado de Yacimientos

## Fase II. Modelo Dinámico

Representa los Mecanismos de producción activos en los Yacimientos, así como las principales características geológicas que permitan reproducir adecuadamente el movimiento de los fluidos en el yacimiento.



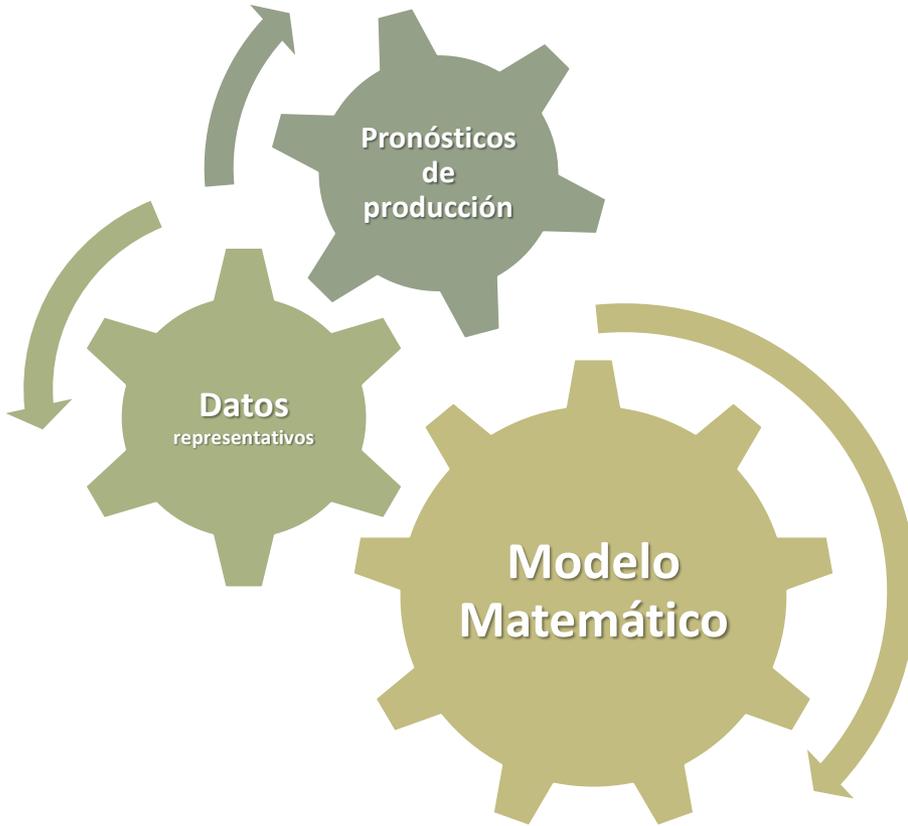
PRODUCCIÓN /  
INYECCIÓN

ANÁLISIS PVT

COMPORTAMIENTO DE  
PRESIONES

MODELO ROCA - FLUIDO

# FASE III: Modelo de Simulación



MODELO ESTÁTICO INTEGRADO

COMPORTAMIENTO DE PRESIÓN

COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO

HISTORIA DE PRODUCCIÓN E INYECCIÓN

PREDICCIÓN CONFIABLE



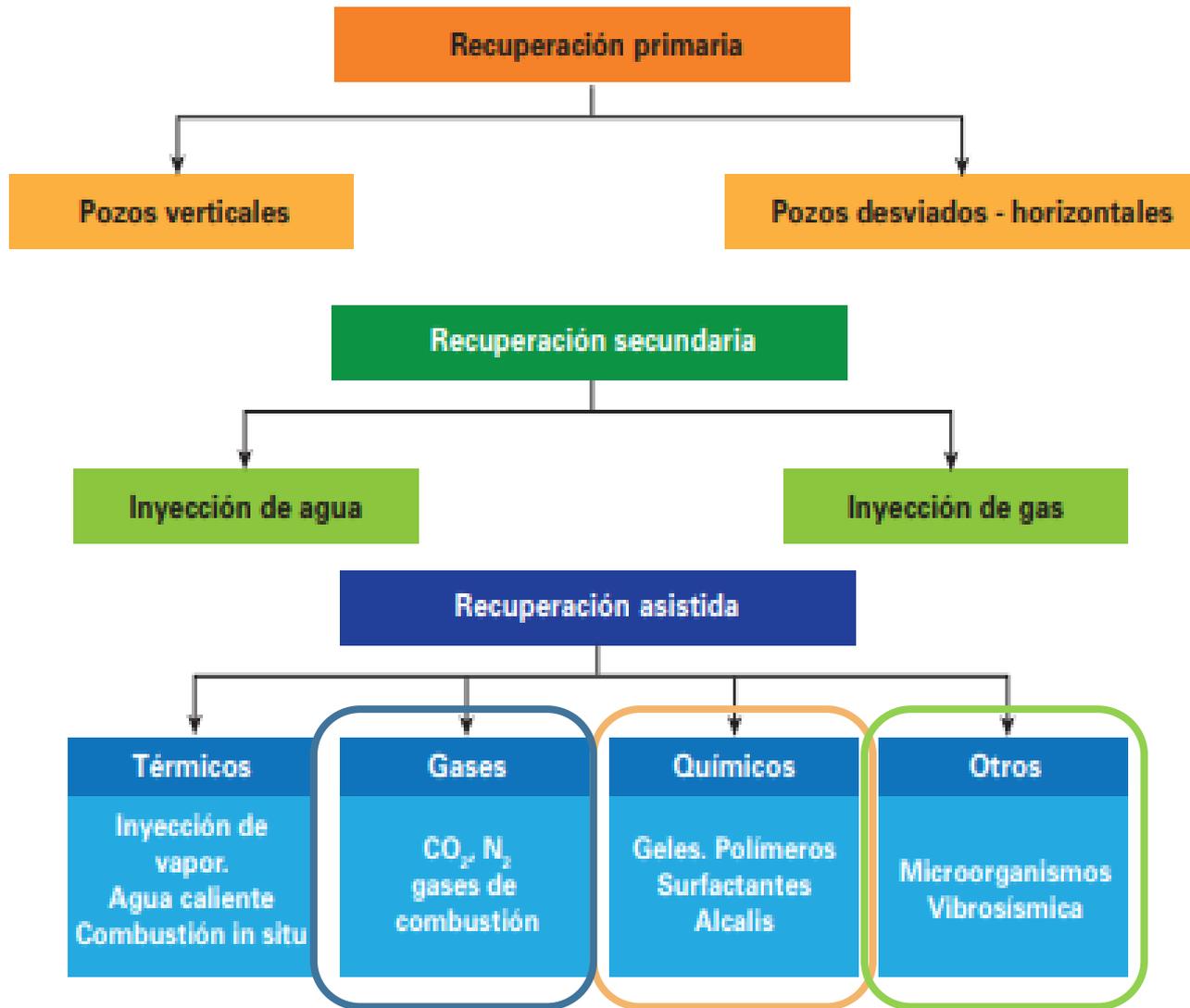
# FASE III: Modelo de Simulación

## OBJETIVO

Incorporar todos los modelos generados en las fases anteriores en un Modelo Numérico de Cálculo, que utiliza ecuaciones de transferencia de masa y movimiento de fluidos en medios porosos con la finalidad de :

- Estimar POIS/GOIS y Reservas Recuperables.
- Analizar el Comportamiento de Producción / Presión.
- Predecir el Comportamiento Futuro del Yacimiento.
- Establecer las Estrategias Óptimas de Desarrollo.





# Métodos Químicos y Gases aplicados en Crudos Pesados

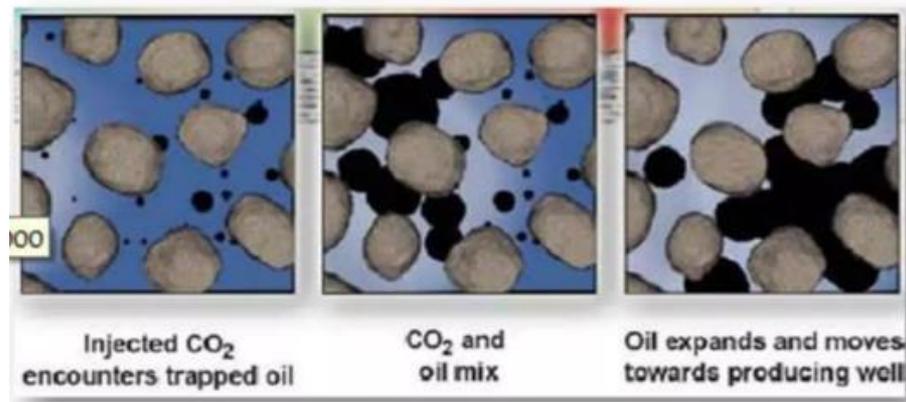


# Inyección de CO<sub>2</sub>

En la década de 1950, se comenzaron a realizar experimentos de inundación de CO<sub>2</sub>. La primera prueba piloto reportada 1964.

- Desplazamiento Miscible
- Desplazamiento Inmiscible

**Alta solubilidad del CO<sub>2</sub> en el petróleo.**



Reducción de la Viscosidad  
Reducción de la Tensión Interfacial  
Reducción de la densidad del petróleo y agua



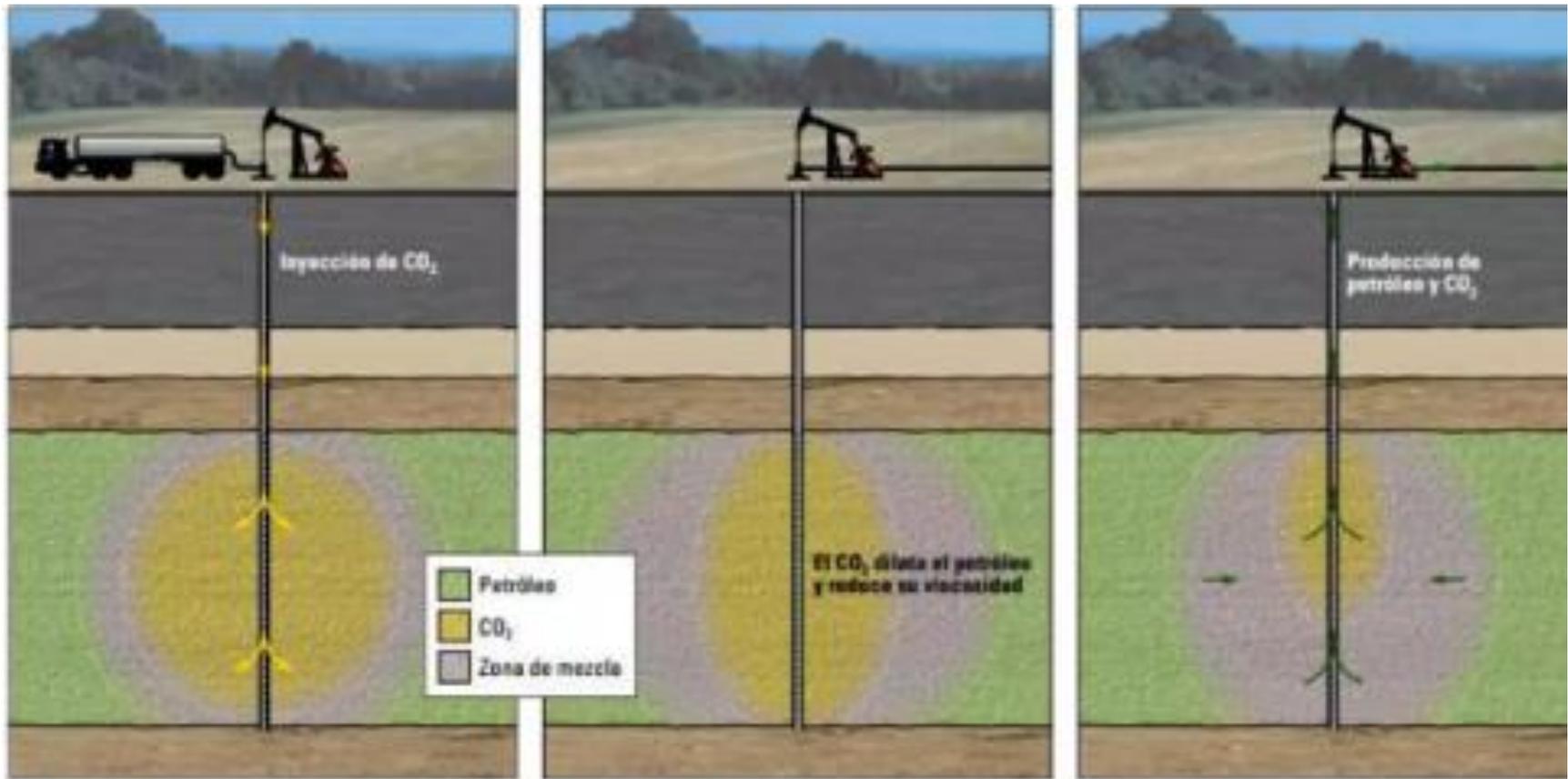
Expansión del petróleo

# Inyección Alternada de CO<sub>2</sub>

Inyección

Remojo

Producción



Dos o 4 semanas

# Inyección Continua de CO<sub>2</sub>

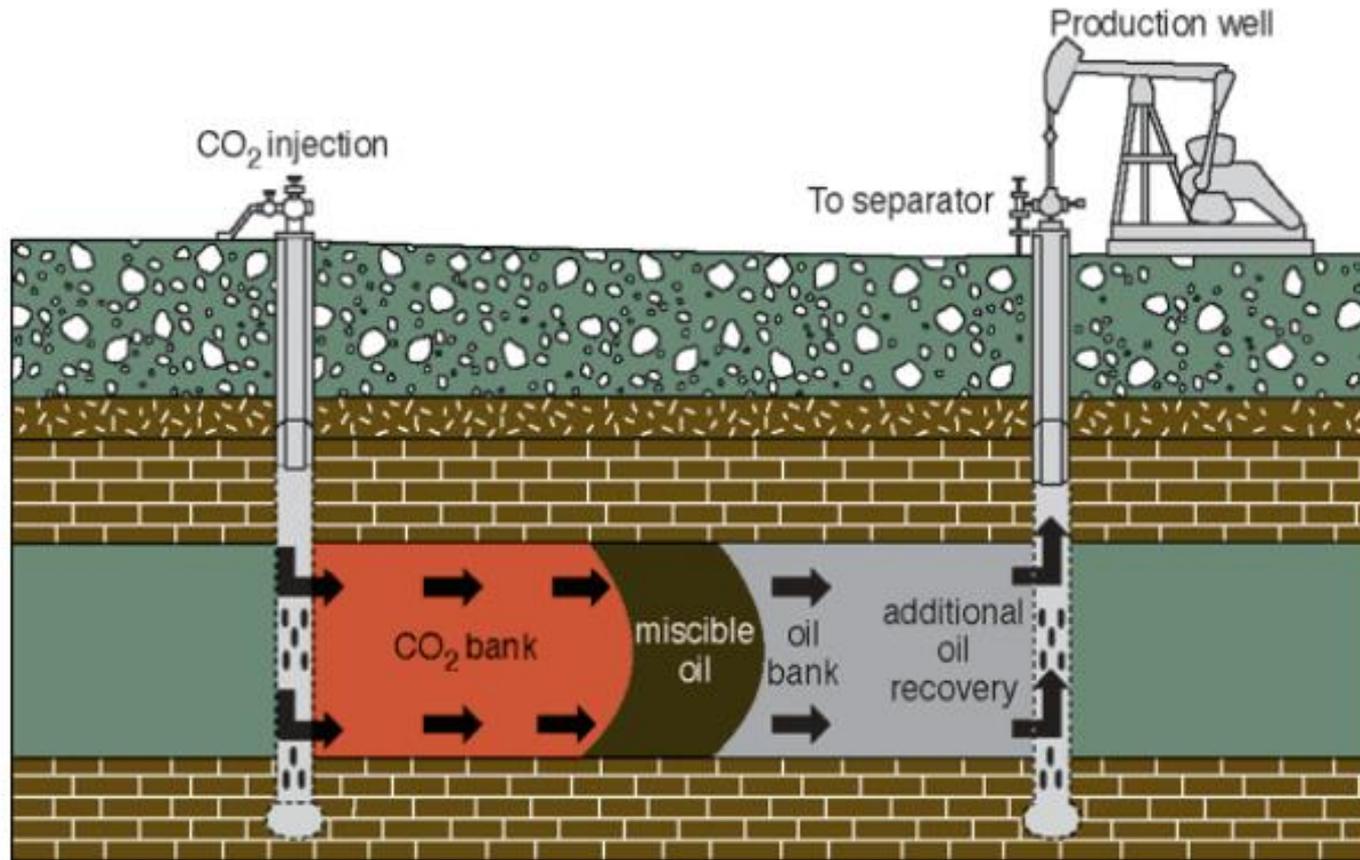


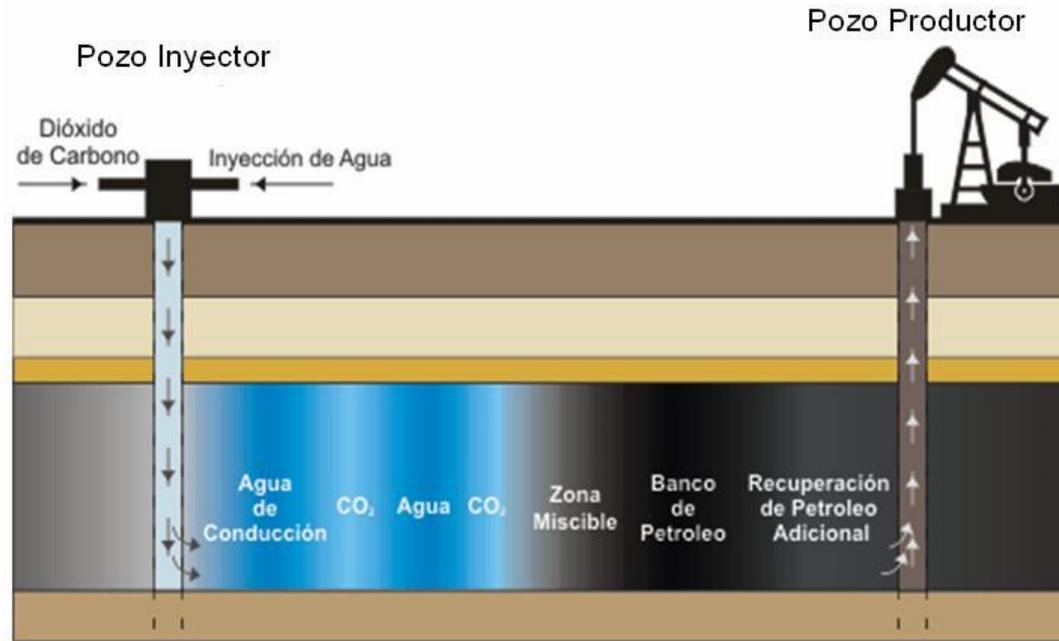
Figura N° 8: Proceso de Inyección de CO<sub>2</sub>

**Reducir el SOR**

Fuente: KGS

**Aumentar el % FR**

# Inyección Continua de CO2

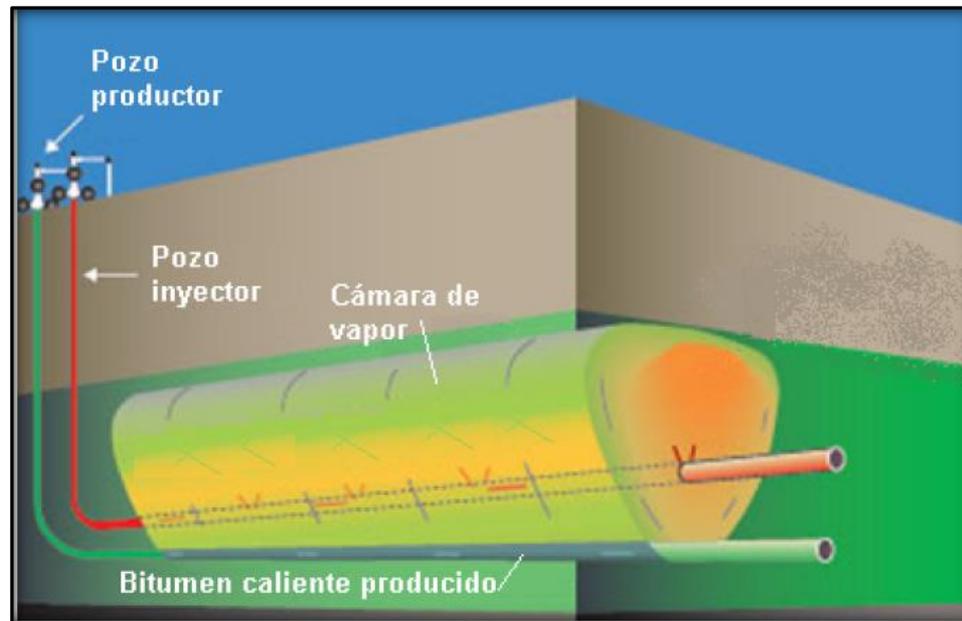


## Formas de Inyección:

- Inyección continua de CO2.
- Inyección de mezclas de agua y CO2
- Inyección de CO2 seguida de la inyección de agua.
- Inyección de CO2 seguida de la inyección de Gas Alternante con Agua (WAG)
- Inyección Alternada (proceso de Huff and Puff)

# VAPEX (Vapor Extraction)

Es un proceso no térmico, el cual utiliza solventes gaseosos de bajo peso molecular (Ejemplo: etano, metano, propano y butano), para reducir la viscosidad del petróleo pesado y bituminoso permitiendo su desplazamiento mediante drenaje gravitacional hacia el pozo productor.



# VAPEX (Vapor Extraction): Desplazamiento Miscibles

**Dos fluidos son miscibles** si pueden mezclarse en todas proporciones y permanecer en una sola fase.

**Esto dependerá:**

- ✓ Tipo de solvente.
- ✓ La presión y temperatura.
- ✓ Composición del petróleo.

**(Arriola, A., & Arteaga, M., 1993).**

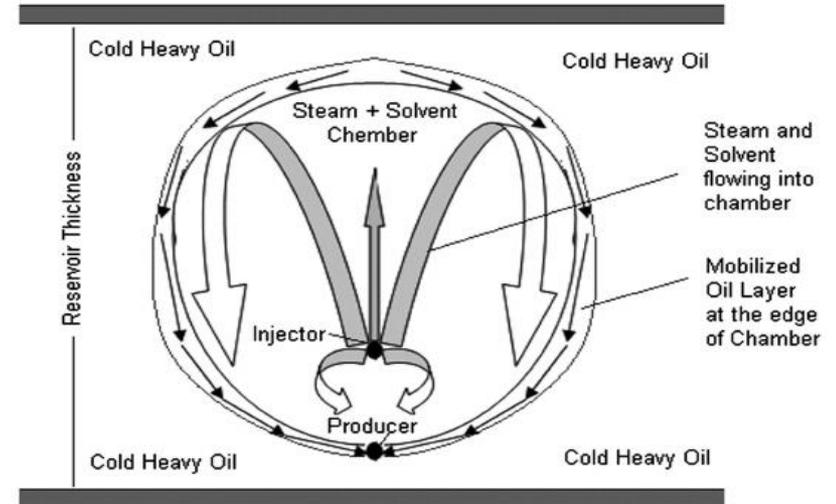
Son procesos en los cuales las condiciones de miscibilidad se generan en el reservorio a través de los cambios de composición in situ que resulta de múltiples contactos y transferencia de masas entre el petróleo y el fluido inyectado.

# VAPEX (Vapor Extraction)

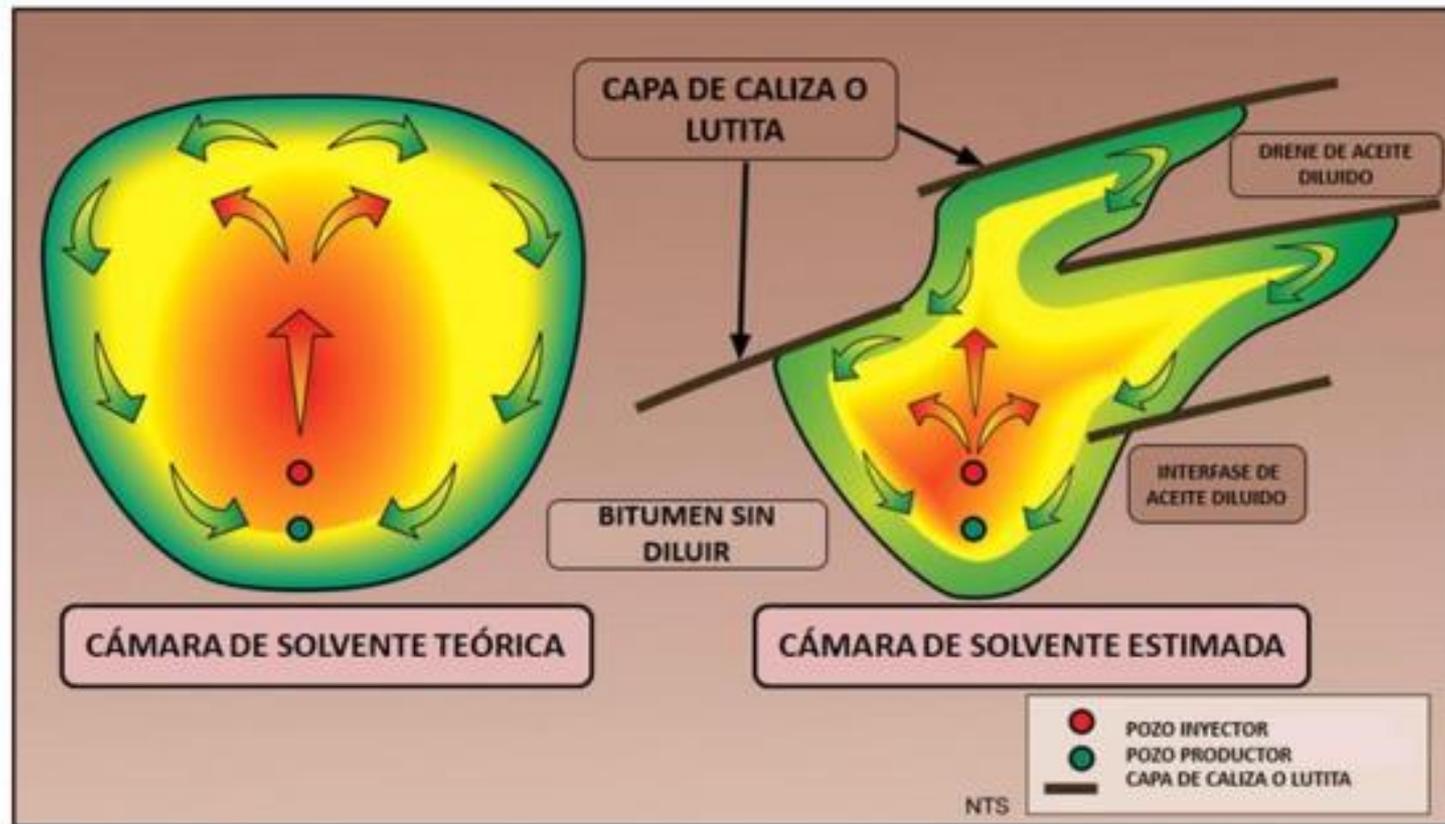
El solvente inyectado expande y diluye el petróleo pesado o betún por contacto.

El solvente o los solventes deben mantenerse en fase gaseosa cercana a su presión de vapor el mayor tiempo posible.

En este proceso el principal mecanismo de recuperación de petróleo es la reducción significativa de la viscosidad debido a la disolución del solvente.



# VAPEX (Vapor Extraction)

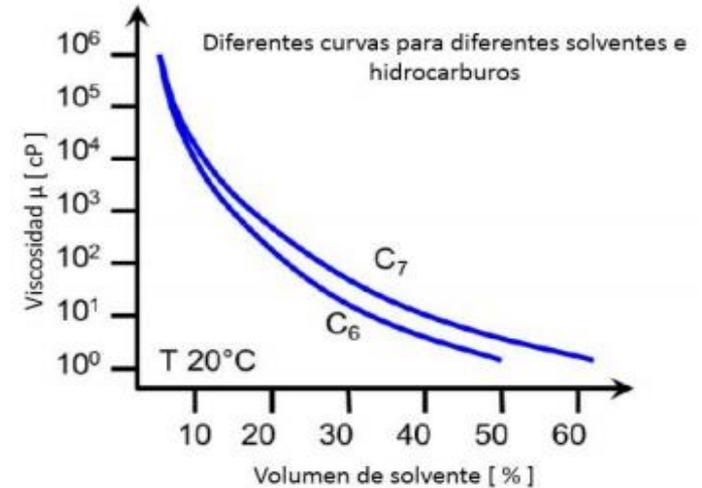


Fuente: Cámara de solvente (Peacock, 2010)

# VAPEX (Vapor Extraction): Desplazamiento Miscibles

## Selección del Solvente:

- El solvente debe ser estable e inerte químicamente frente a los demás componentes del sistema.
- Deber ser de una composición rica en componentes ligeros, de esta manera se tendrá un intercambio de masa efectivo.



Fuente: Marin, 2015.

# VAPEX (Vapor Extraction): Desplazamiento Miscibles

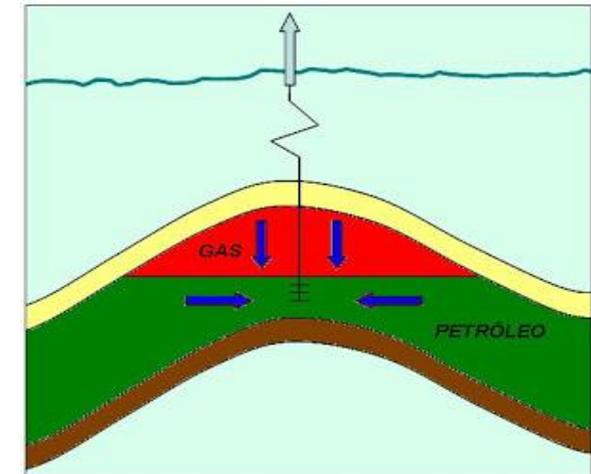
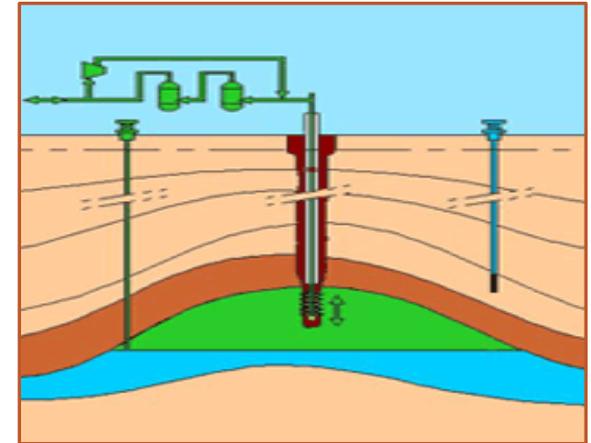
## Yacimientos con Acuíferos

Algunos yacimientos de petróleo pesado están en contacto con capas de agua, que por lo general se encuentran por debajo de la zona de petróleo, pero en el caso de crudos pesados puede estar sobre ellos.

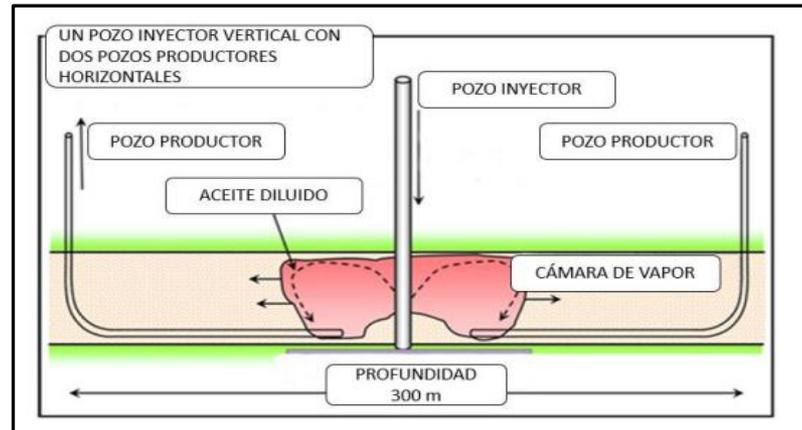
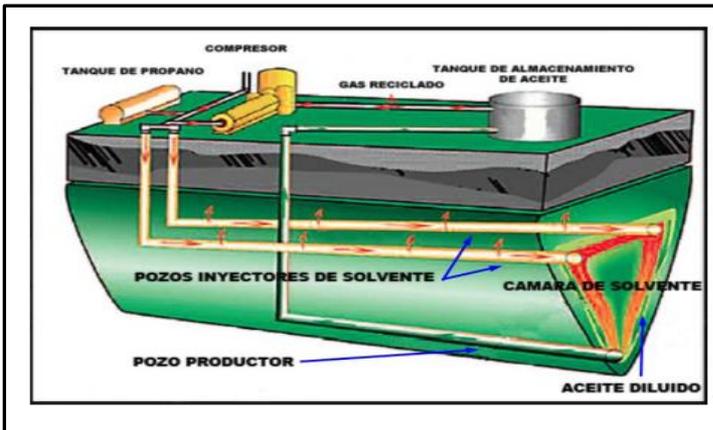
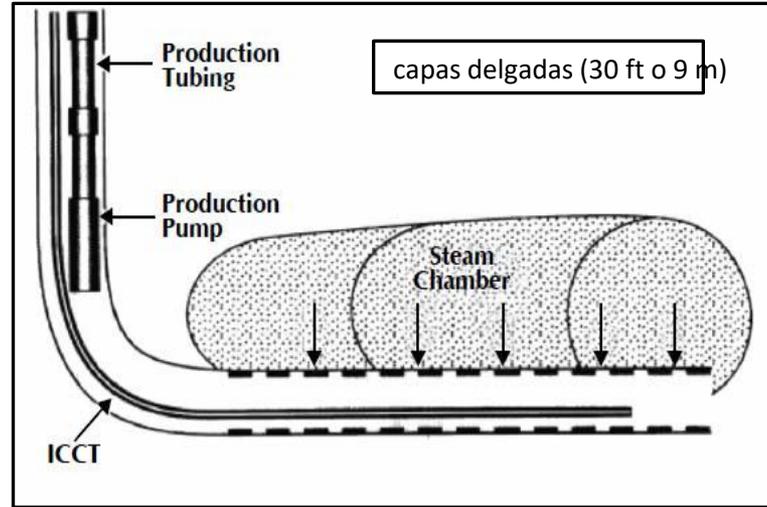
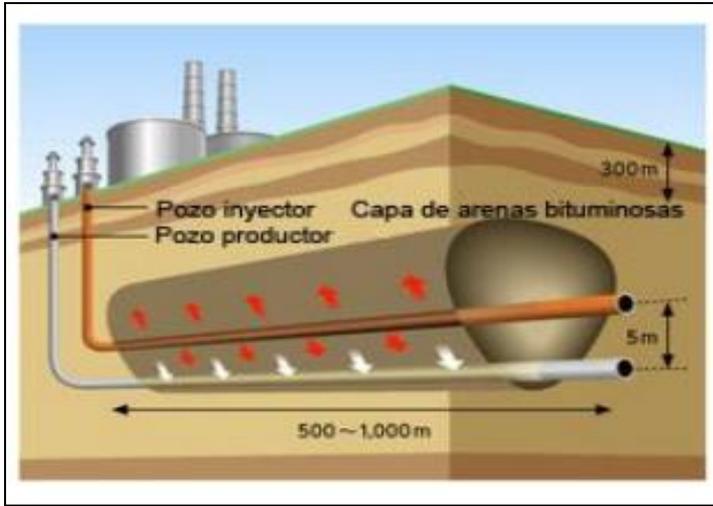
El VAPEX en este caso no tiene problemas de pérdida de calor hacia el acuífero ya que el solvente no entraría en un fácil proceso de disolución con éste.

## Yacimientos con Capas de Gas

En este tipo de yacimientos el VAPEX es eficiente ya que el solvente inyectado está en fase gaseosa, por tanto, al mezclarse con éste no sería una pérdida de fluido sino incluso se puede acelerar la transferencia de masa ayudando al proceso de recuperación.



# VAPEX (Vapor Extraction): Desplazamiento Miscibles



## Métodos Químicos: Inyección de Polímeros

En 1977, dos científicos de la compañía Marathon Oil Company (Canadiense) pioneros en la investigación de la recuperación de petróleo pesado con polímeros.

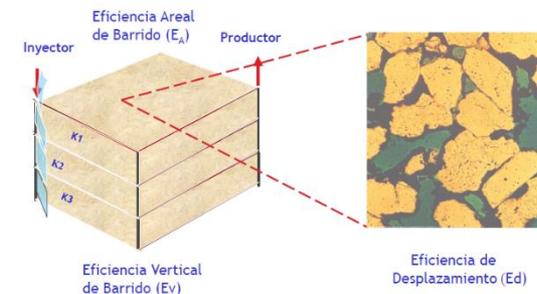
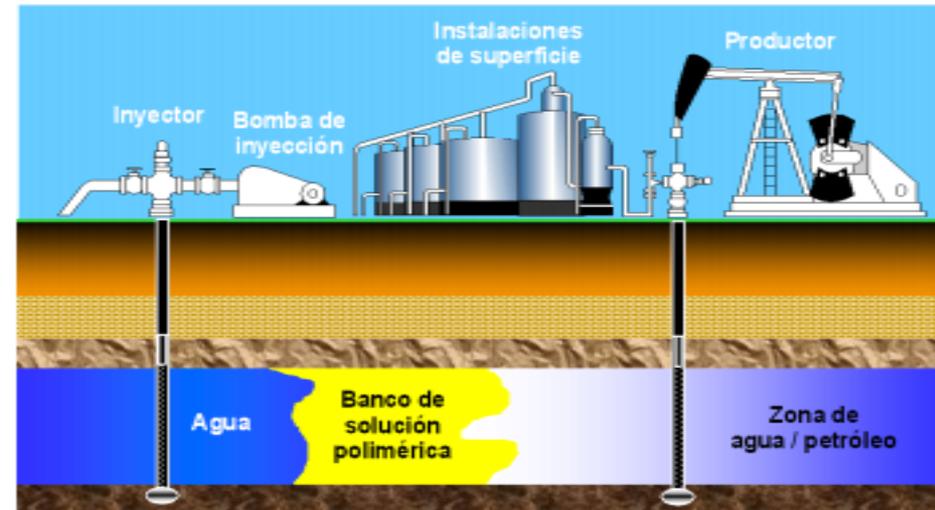
Investigaciones de laboratorio previas mostraron que los polímeros podían aumentar la recuperación de petróleo pesado en más del 20%.

Casos de campo en Canadá, China, Turquía y Omán demostraron el éxito de la inundación con polímero en campos de petróleo pesado.

# Métodos Químicos: Inyección de Polímeros

## Inyección de Polímeros

- incrementa el recobro por el aumento de la viscosidad del agua, disminución de su movilidad, es decir, reduce el tiempo en que llega al irrupimiento.
- Mejora la eficiencia del barrido areal y vertical.
- Los polímeros disminuirán la permeabilidad relativa del agua y aumentarán la relativa al petróleo.



# Métodos Químicos: Inyección de Polímeros

Los polímeros utilizados son solubles en agua:

- Las Poliácridamidas (sintéticos)
- La carboximetilcelulosa (CMC) y la hidroxietilcelulosa (HEC) (semi-sintéticos)
- Los Biopolímeros y sus derivados (naturales).

# Métodos Químicos: Inyección de Polímeros

Además de la concentración y tipo de producto, los factores que más influyen para la obtención de la viscosidad deseada son:

## Retención/adsorción

- El Polímero se adhiere a las paredes de los poros de la matriz de la roca. (Volumen de poro innaccesible).
- La presencia de arcillas incrementan la adsorción del polímeros.

## Esfuerzos de Corte

- Cuando el polímero pasa por los poros de la roca que en ocasiones pueden ser mayores o menores dependiendo de la tasa de inyección. Las moléculas se quiebran en moléculas pequeñas, con esto se disminuye el peso molecular y por lo tanto la viscosidad aparente de la solución se reduce.

## Biológicos

- Se presenta cuando se destruye la cadena de carbohidratos disminuye la viscosidad en la solución polimérica.
- Generalmente cuando se inyecta biopolímeros se acompaña de un bactericida para inhibir el ataque bacteriano y así no precipite el polímero en la roca.

## Químicos

- Dureza del agua

## Degradación Térmica

- Altas temperaturas.

# Criterios Básicos para Inyección de Polímeros

## Crudo:

Gravedad API	> 10
Viscosidad	< 150 cp a C.Y.

## Yacimiento:

So (% VP)	> 50
Litología	Areniscas preferiblemente
K (mD)	> 100
Temp . (°F)	< 200 (evitar degradación)
Rel. Movilidad	2 a 40
Salinidades	Bajas (< 20g/l)

## Condiciones Desfavorables

- ✓ Alto Fracturamiento
- ✓ Acuíferos Activos
- ✓ Permeabilidad Variable
- ✓ Problemas de Inyectividad
- ✓ Alto contenido de Arcillas
- ✓ Alta dureza del Agua