

**ExxonMobil**

Taking on the world's toughest energy challenges.™

# Estimulación hidráulica y tecnología de completamiento para pozos no convencionales de lutitas



Kris J. Nygaard, Consultor Sr. de Estimulación  
ExxonMobil Production Company

**Diciembre 3, 2012**

**TALLER**

**AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS**

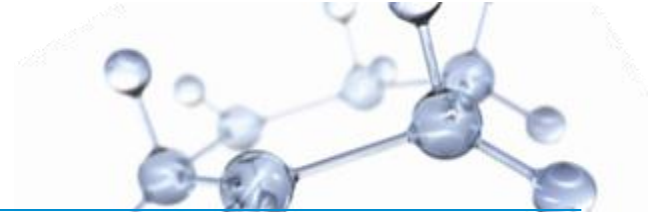
**Bogotá, Colombia**

This presentation includes forward-looking statements. Actual future conditions (including economic conditions, energy demand, and energy supply) could differ materially due to changes in technology, the development of new supply sources, political events, demographic changes, and other factors discussed herein (and in Item 1 of ExxonMobil's latest report on Form 10-K). This material is not to be reproduced without the permission of Exxon Mobil Corporation.

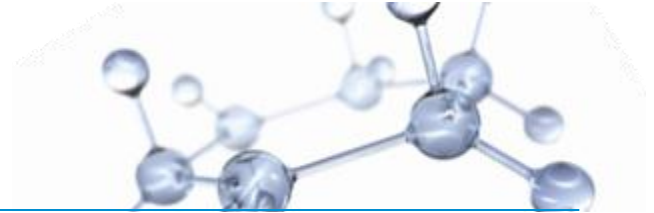
Exxon Mobil Corporation has numerous subsidiaries, many with names that include ExxonMobil, Exxon, Esso and Mobil. For convenience and simplicity in this presentation, the parent company and its subsidiaries may be referenced separately or collectively as "ExxonMobil." Abbreviated references describing global or regional operational organizations and global or regional business lines are also sometimes used for convenience and simplicity. Nothing in this presentation is intended to override the corporate separateness of these separate legal entities. Working relationships discussed in this presentation do not necessarily represent a reporting connection, but may reflect a functional guidance, stewardship, or service relationship.

## Ésta presentación discutirá

---



- **Por qué es necesaria la estimulación hidráulica de pozos**
- **Consideraciones fundamentales sobre diseño de completamiento y estimulación hidráulica**
- **Operaciones típicas de completamiento y estimulación hidráulica**
- **Consideraciones sobre pruebas de pozo, contraflujo y gestión de aguas.**
- **Consideraciones de infraestructura e impacto social**

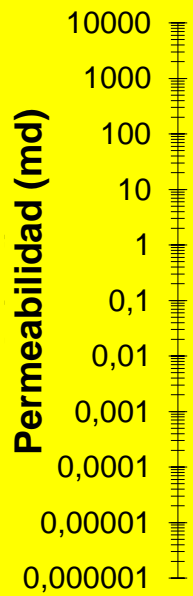
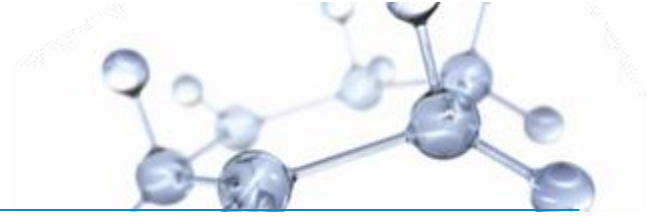


## Qué son recursos no convencionales

---

- **Recursos de petróleo o gas que requieren tecnologías especializadas de extracción para producir cantidades comerciales**
  - **Rocas tercas: “apretadas” o de baja permeabilidad**
    - a menudo necesitan estimulación hidráulica
  - **“Fluidos” tercos: desde alta viscosidad hasta kerógeno sólido**
    - a menudo necesitan estimulación térmica
  - **Amplia extensión areal**
    - a menudo se extienden más allá de los controles estructurales convencionales
- **Cada recurso tiene características únicas distintivas**
  - **Objetivo es casar la tecnología (evaluación, producción, transporte, refinación y mercadeo) a las características únicas**

# Gas no Convencional: Difícil de producir



**Yacimientos Convencionales**  
k = 1- 10000 md

**Acera de concreto**  
k = 0.1 - 1 md

**Arena gasífera apretada**  
k = 0.001 - 1 md

**Lutita Gasífera**  
k = 0.00001- 0.0005 md



Si una molécula de gas viaja de Bogotá a Cartagena en el mismo tiempo y con condiciones similares...



Viajaría del Hotel Royal Park al Aeropuerto de Bogotá

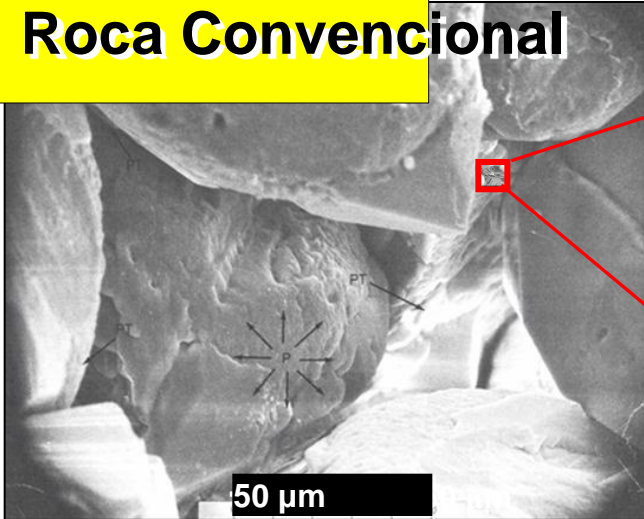


Viajaría ~4 canchas de fútbol (Reglas FIFA)  
En las rocas más apretadas....



Viajaría solo unos pocos metros

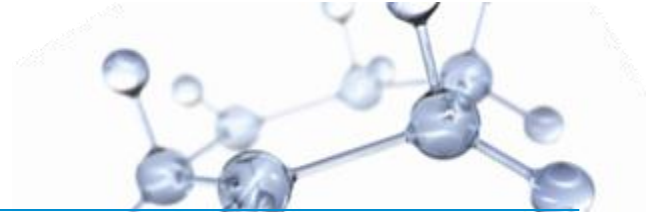
**Roca Convencional**



**Roca Lutita Gasífera**



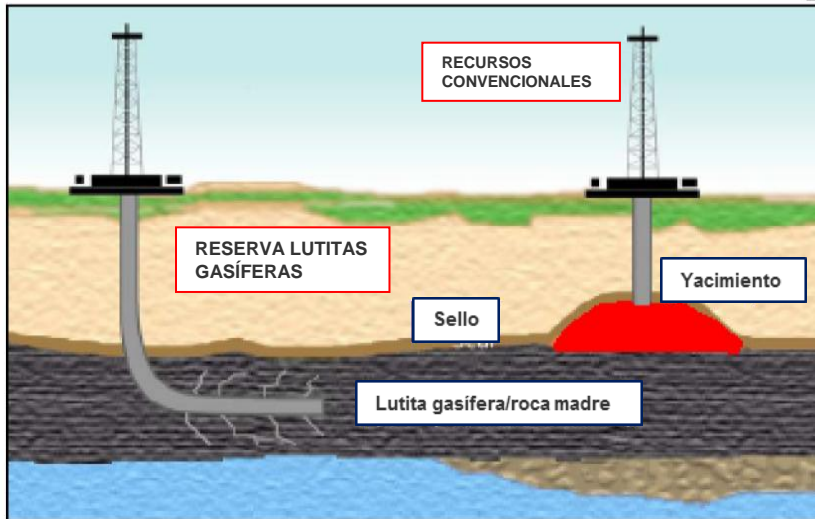
# Lutita gasífera



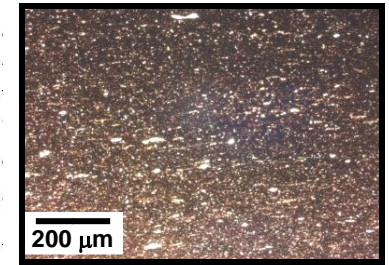
## Características

- Gas atrapado en rocas de grano fino
- De fácil fracturamiento (hidráulicamente)
- Gas in situ significativo

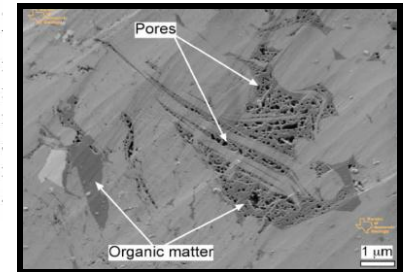
## Desarrollo de lutitas gasíferas con pozos horizontales



Lutita con alto contenido orgánico



Vista microscópica de lutita



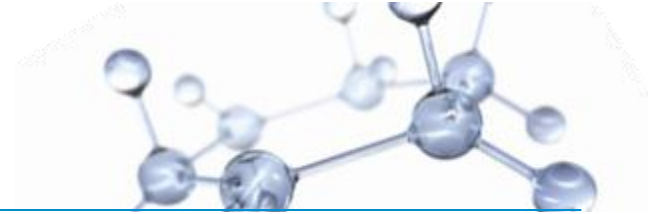
Vista microscópica de materia orgánica

## Requerimientos de desarrollo

- Pozos horizontales con espaciamiento corto
- Estimulación hidráulica
- Áreas extensas y tiempo adecuado de evaluación
- Régimen fiscal estable (precio, regalías, impuestos, etc.) que dé incentivos a inversiones sostenidas



# Petróleo apretado

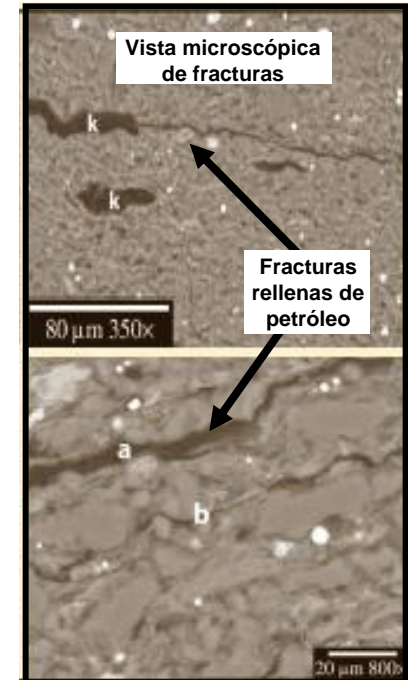


## Características

- Petróleo atrapado en rocas de grano fino fracturadas y/o mejoradas con limos intercalados
- De fácil fracturamiento (hidráulicamente)
- Petróleo in situ significativo

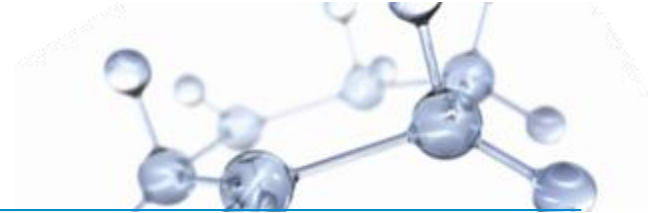
## Requerimientos de desarrollo

- Pozos verticales u horizontales con corto espaciamiento
- Estimulación hidráulica
- Áreas extensas y tiempo de evaluación adecuado
- Régimen fiscal estable (precio, regalías, impuestos, etc.) que dé incentivos a inversiones sostenidas



# Etapas de desarrollo

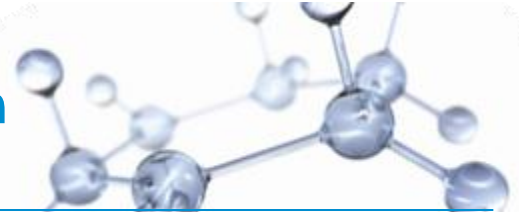
---



1. Perforación
- 2. Completamiento y estimulación**
3. Producción
4. Tratamiento y transporte de gas



# Amplia experiencia mundial con estimulación hidráulica



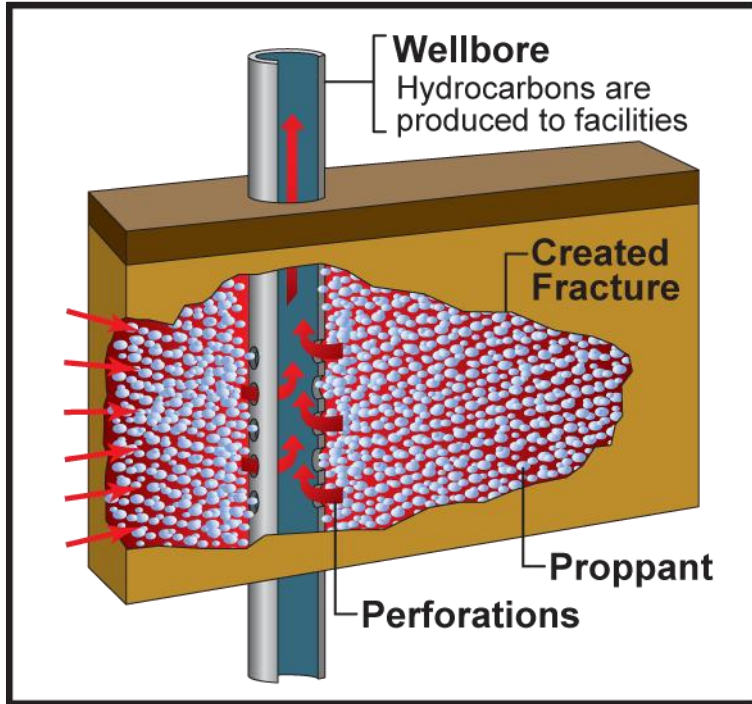
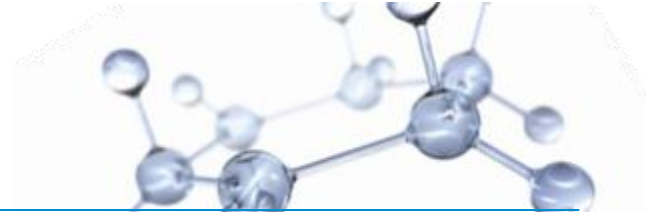
- Gas apretado, lutitas gasíferas, petróleo apretado y metano asociado al carbón
- Décadas de experiencia
- Miles de pozos se han estimulado sin accidentes



*Lista abreviada con algunos ejemplos de EM; la estimulación hidráulica se ha efectuado en muchos otros yacimientos*



# Resumen: Anatomía de un tratamiento de estimulación hidráulica

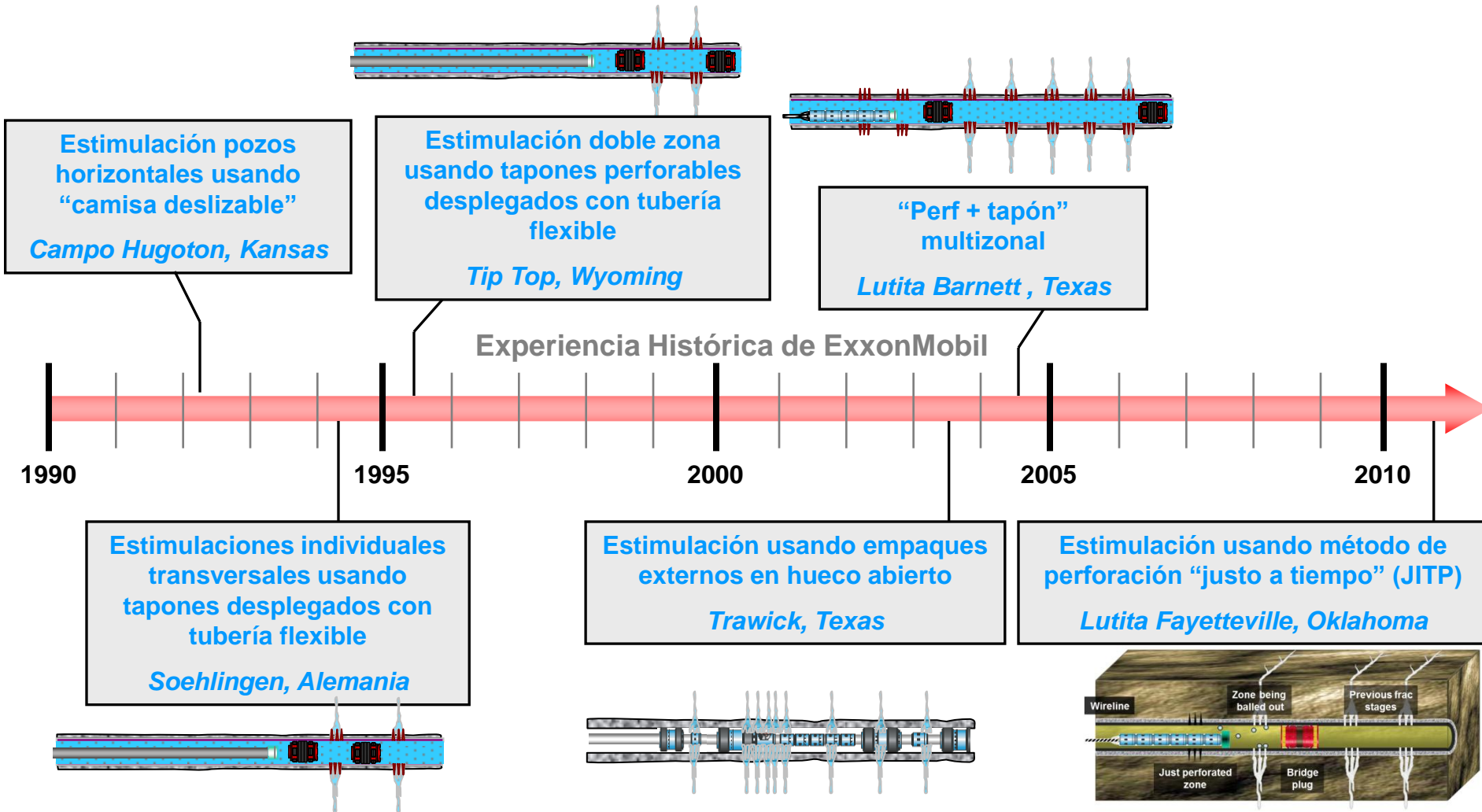
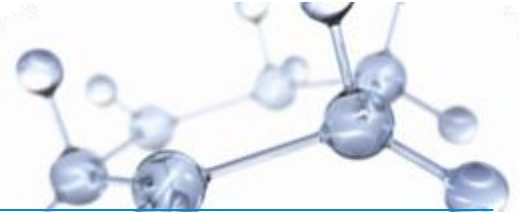


- Fluidos, apuntalante y aditivos químicos especiales
- Equipo de bombeo para inyectar lechadas a presión suficiente para propagar fracturas en el yacimiento



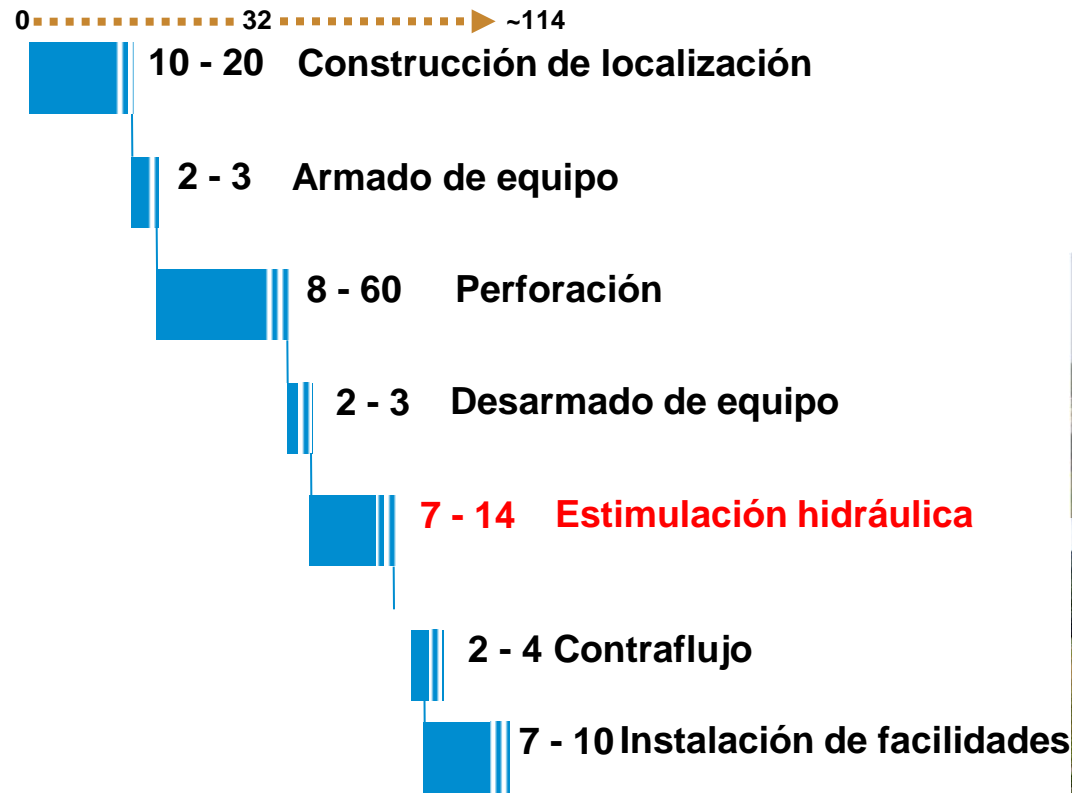
**Nota: Apuntalante son pequeños granos de arena o cuentas de cerámica que se usan para mantener abiertas las minifisuras**

# Estimulación de pozos horizontales no es nueva. Existe una experiencia histórica muy importante



# Cronograma típico: la estimulación hidráulica ocurre en periodos muy cortos

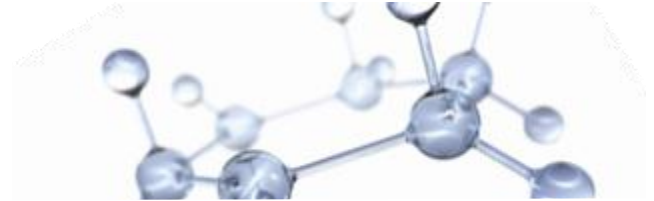
## Días para perforar/Completar un pozo



## Años de producción

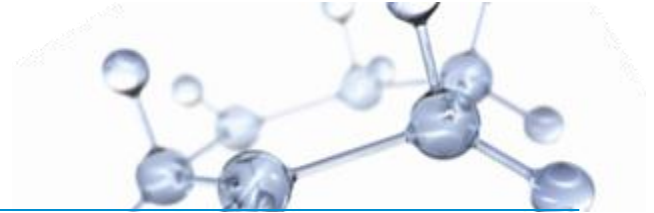






# Consideraciones fundamentales sobre diseño de completamiento y estimulaciones

# Estimulación hidráulica: Una perspectiva de subsuelo

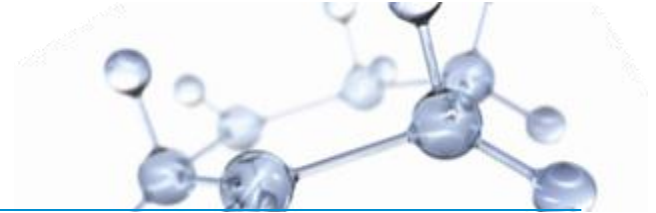


Play Video



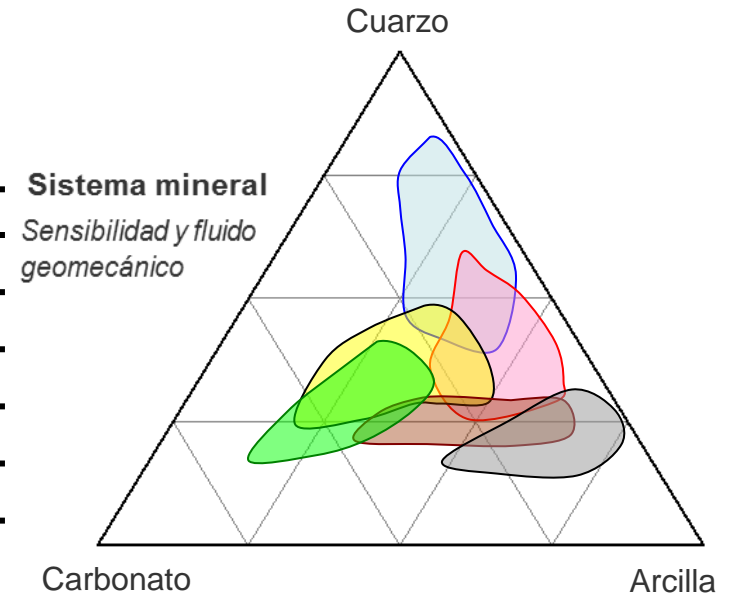
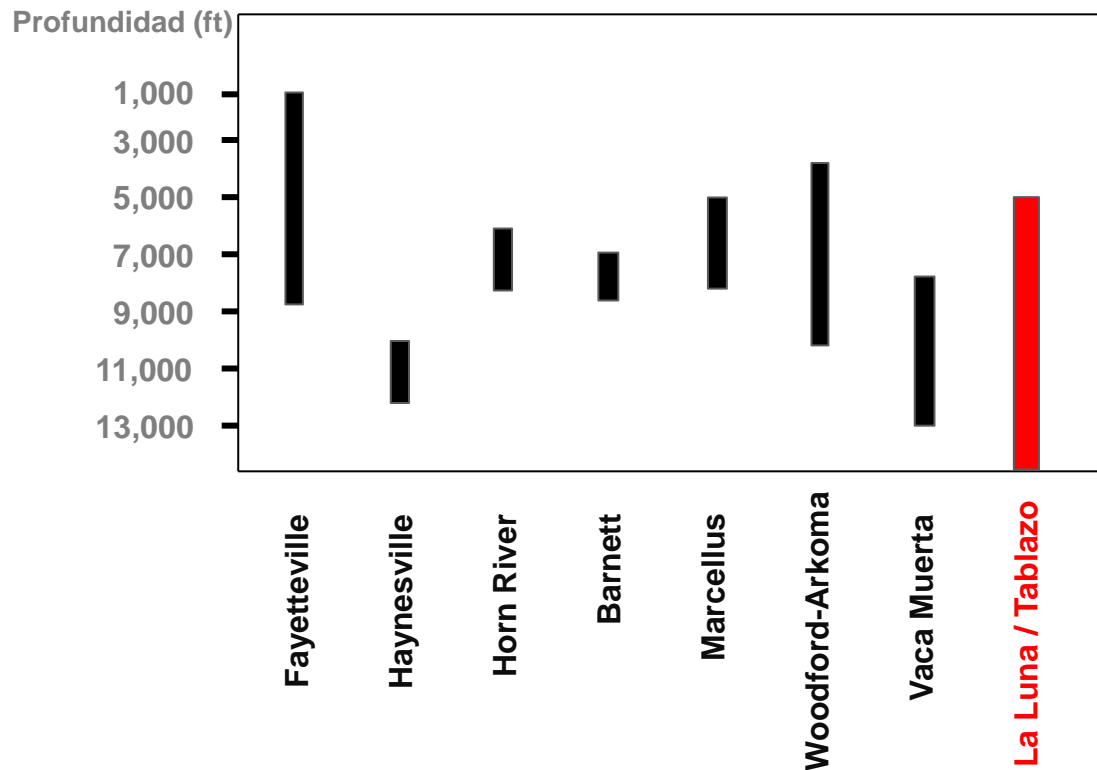


# Diseño de estimulación hidráulica: No hay dos lutitas iguales...



## Ejemplo: Variabilidad mineralógica

## Ejemplo: variabilidad de profundidad

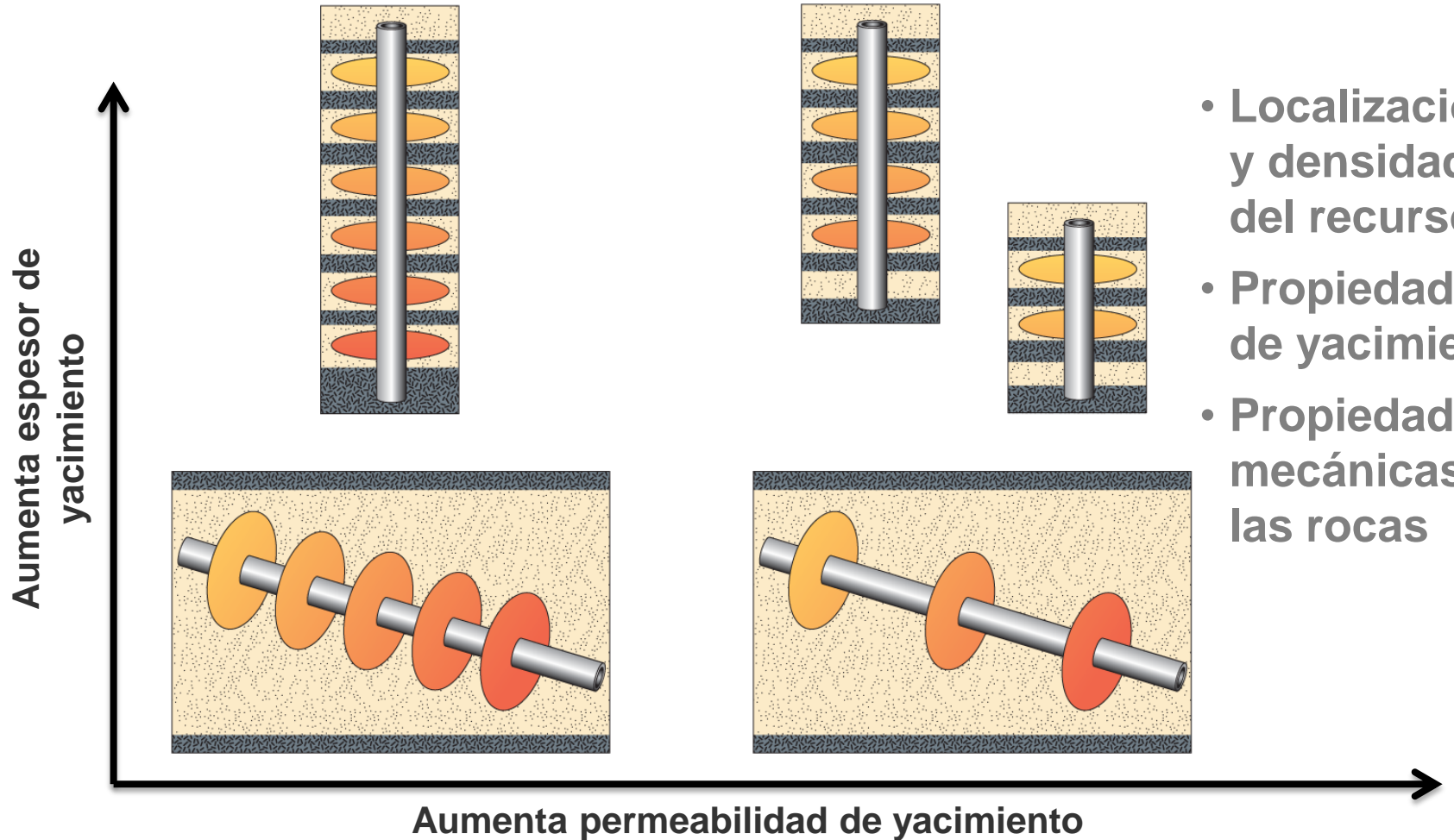
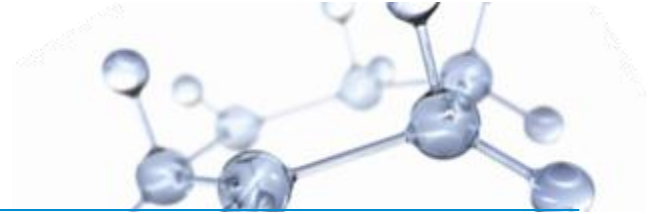


## Implicaciones:

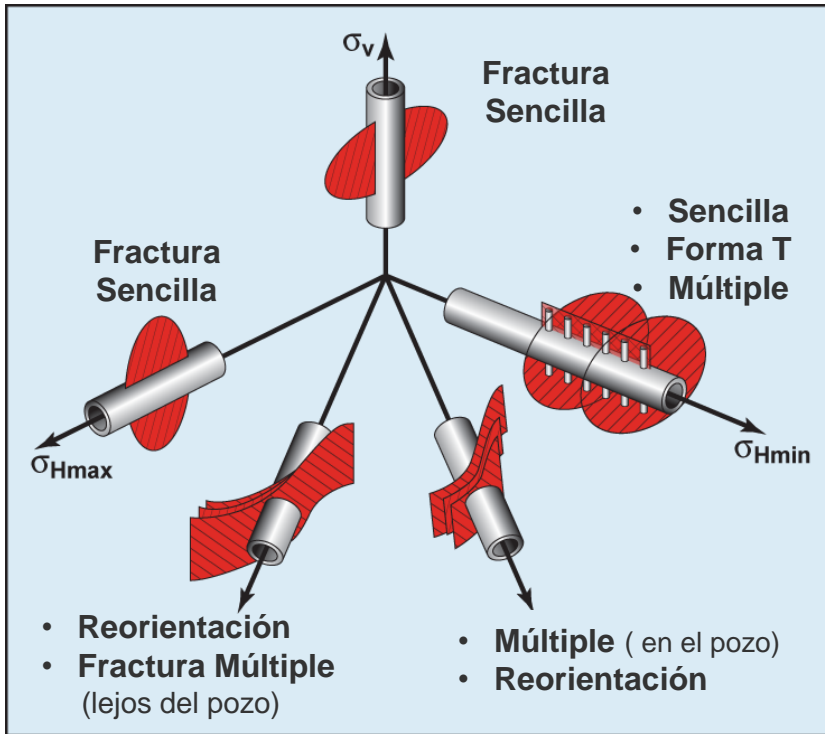
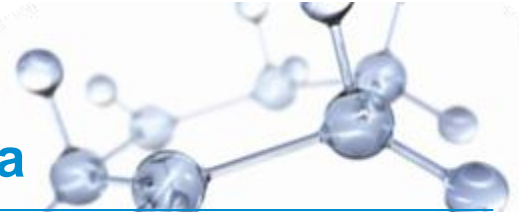
- Arquitectura del pozo
- Diseño de fracturamiento hidráulico
- Cada play tiene claves propias para su éxito o fracaso comercial

# Factores claves de diseño

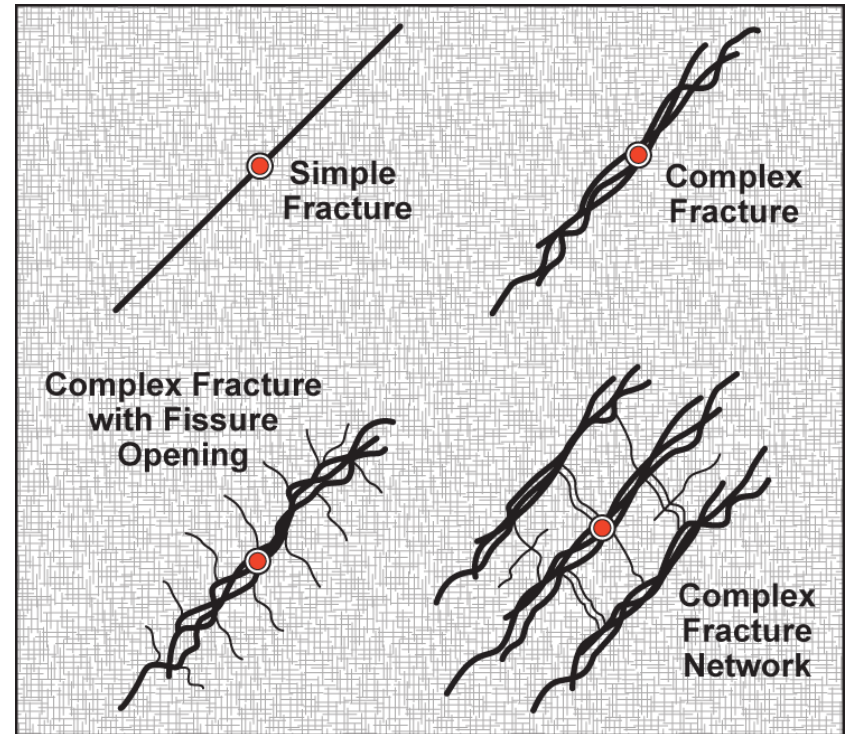
## Pozos verticales vs. pozos horizontales



# Consideraciones en diseño de estimulación Esfuerzo de yacimiento y propiedades de roca

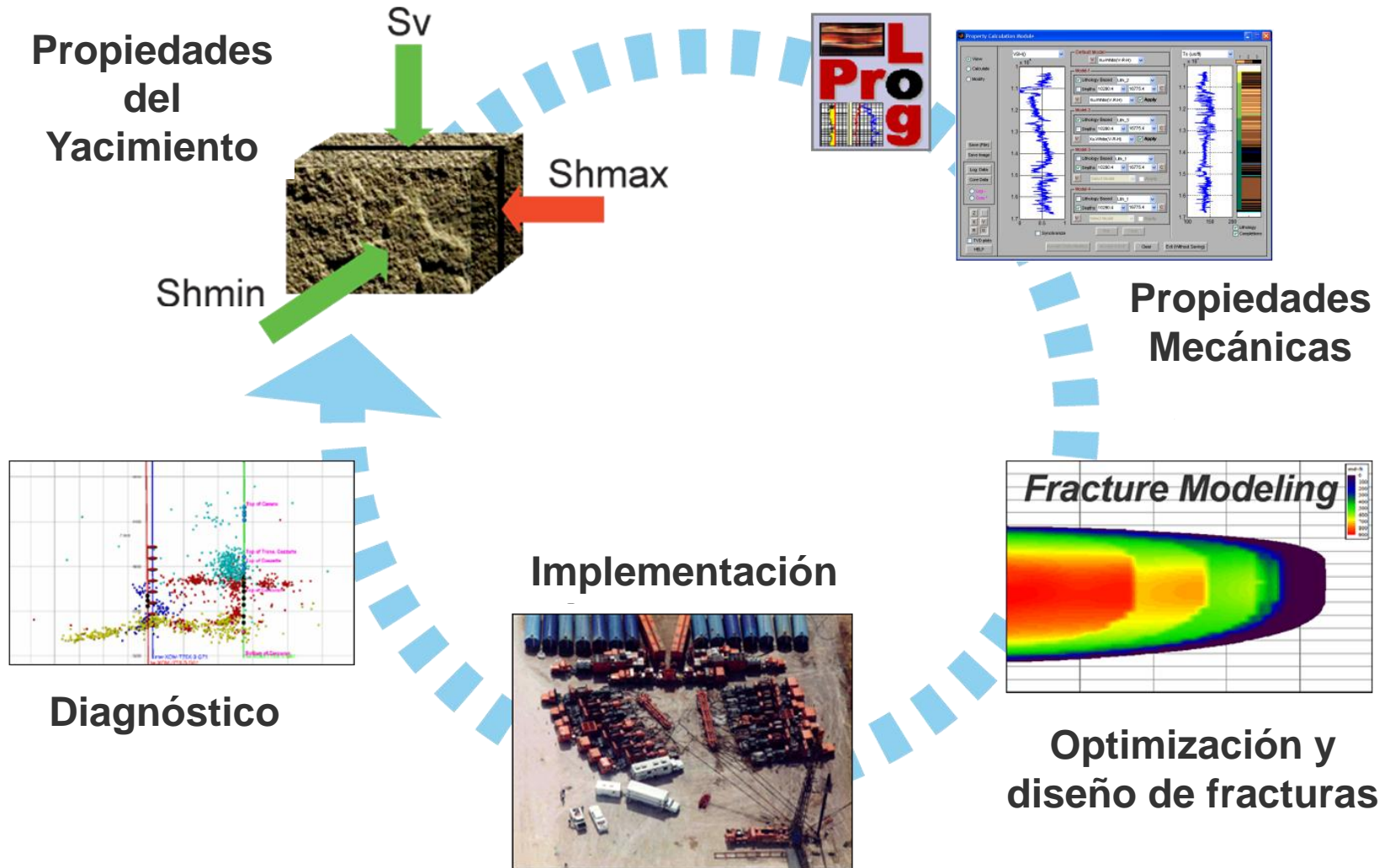
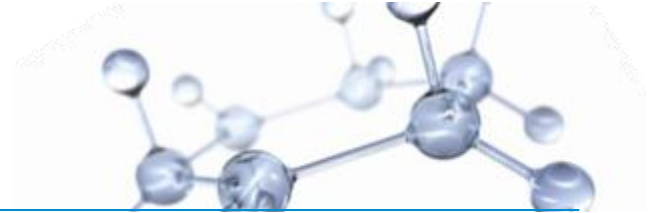


de Abass, et al.

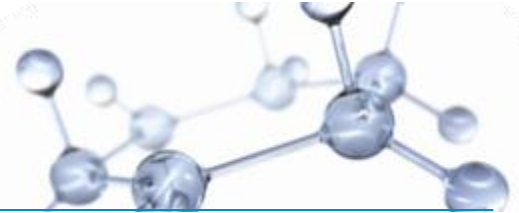


de Mayerhofer, et al.

# Flujo típico en diseño de estimulación



# Diseño de estimulación hidráulica: Apuntalante – Pequeños granos de “arena”



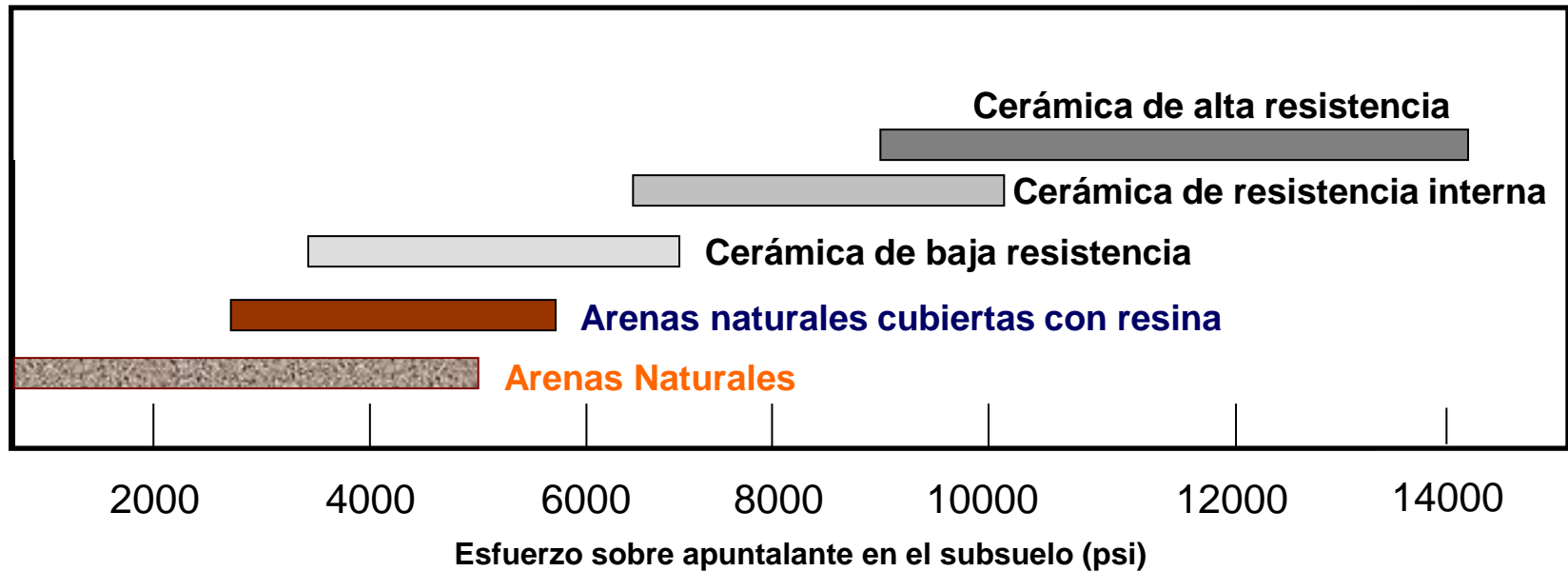
## Tamaño / Concentración

- Mitiga concentración de apuntalante en lutitas ricas en arcillas
- Asegura conductividad de fracturas
- Mitiga “puenteo” prematuro del apuntalante



## Resistencia:

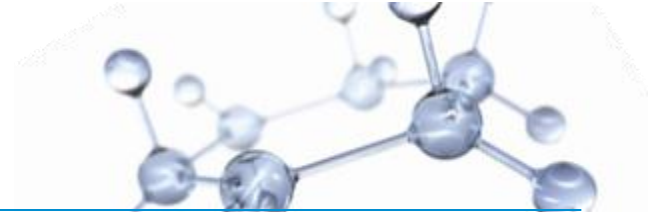
- Evita trituración de apuntalante bajo esfuerzos





# Diseño de tratamiento de estimulación: Guías para selección de material

---



## Selección de apuntalante:

- Debe ser de suficiente cantidad, diámetro y resistencia para que logre mantener conductivas las fracturas durante la vida útil del pozo a condiciones de subsuelo.

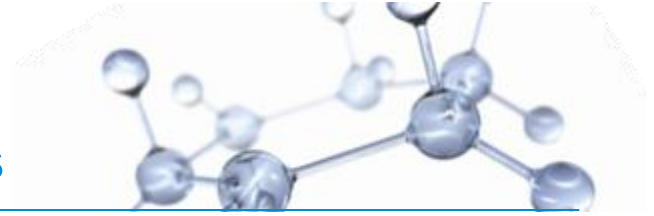
## Aditivos químicos:

- Dan suficiente viscosidad al fluido para suspender apuntalante de diámetro pequeño
- Aseguran que no ocurra crecimiento bacteriano, formación de escamas, corrosión y reacciones químicas adversas a condiciones de yacimiento
- Minimizan cantidad y volumen de aditivos químicos

## Agua:

- En lo posible maximizar uso de agua producida y reciclada
- Minimizar en lo posible el uso de agua dulce

# Diseño de estimulación: Consideraciones sobre altura de fracturas



## La tecnología de medición de micro sismos muestra claramente que las fracturas hidráulicas están lejos de acuíferos

Miles de mediciones de micro sismos han sido hechas por Pinnacle (servicio de Halliburton) para muchos operadores en muchas cuencas y no muestran eventos cerca de acuíferos

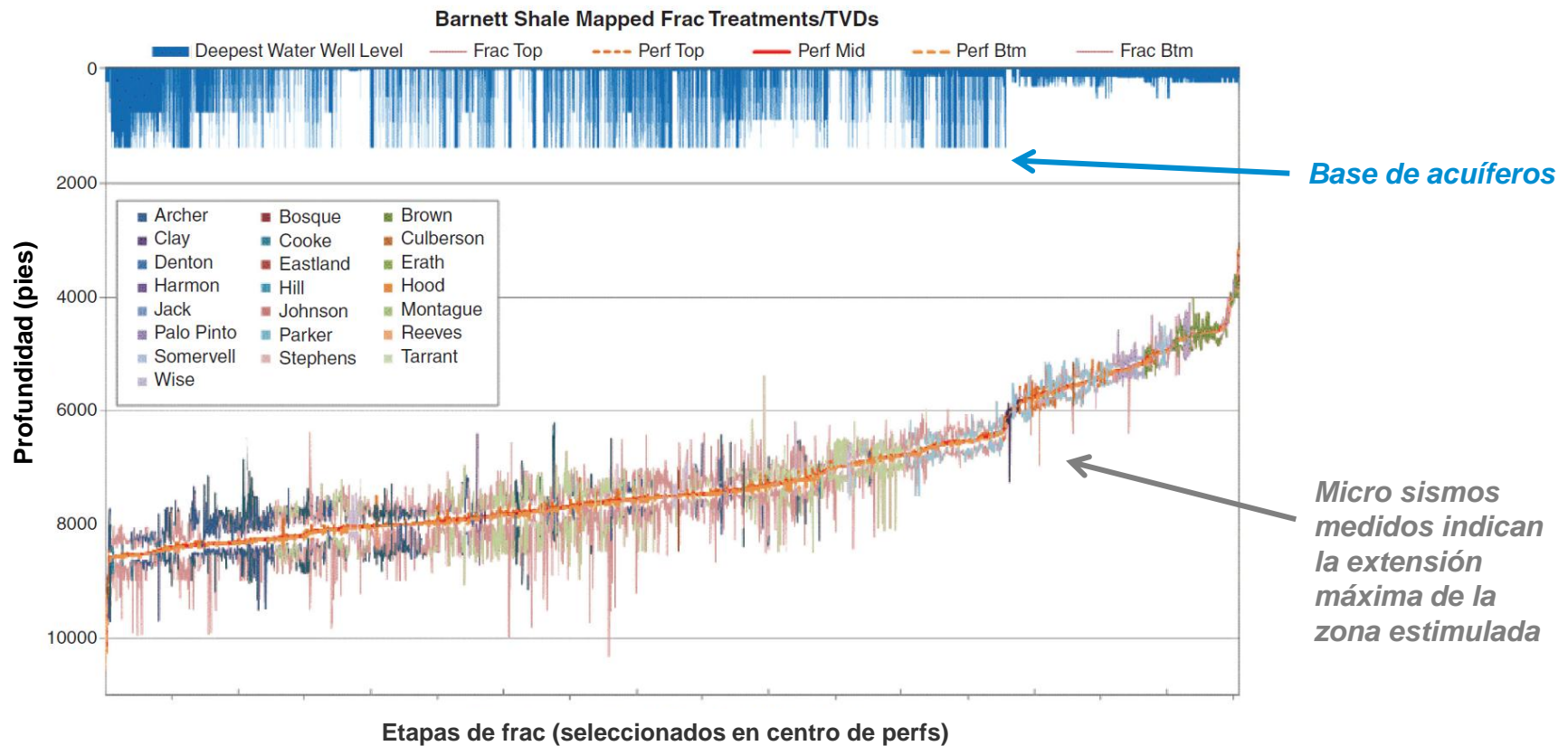
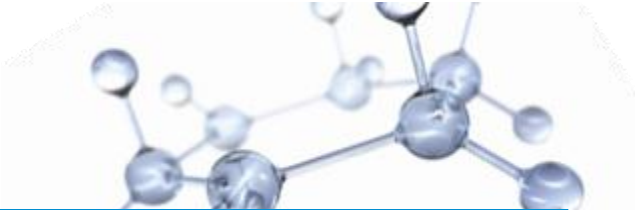


Imagen cortesía de Pinnacle, Halliburton (ver más información en SPE Paper No. 145949)

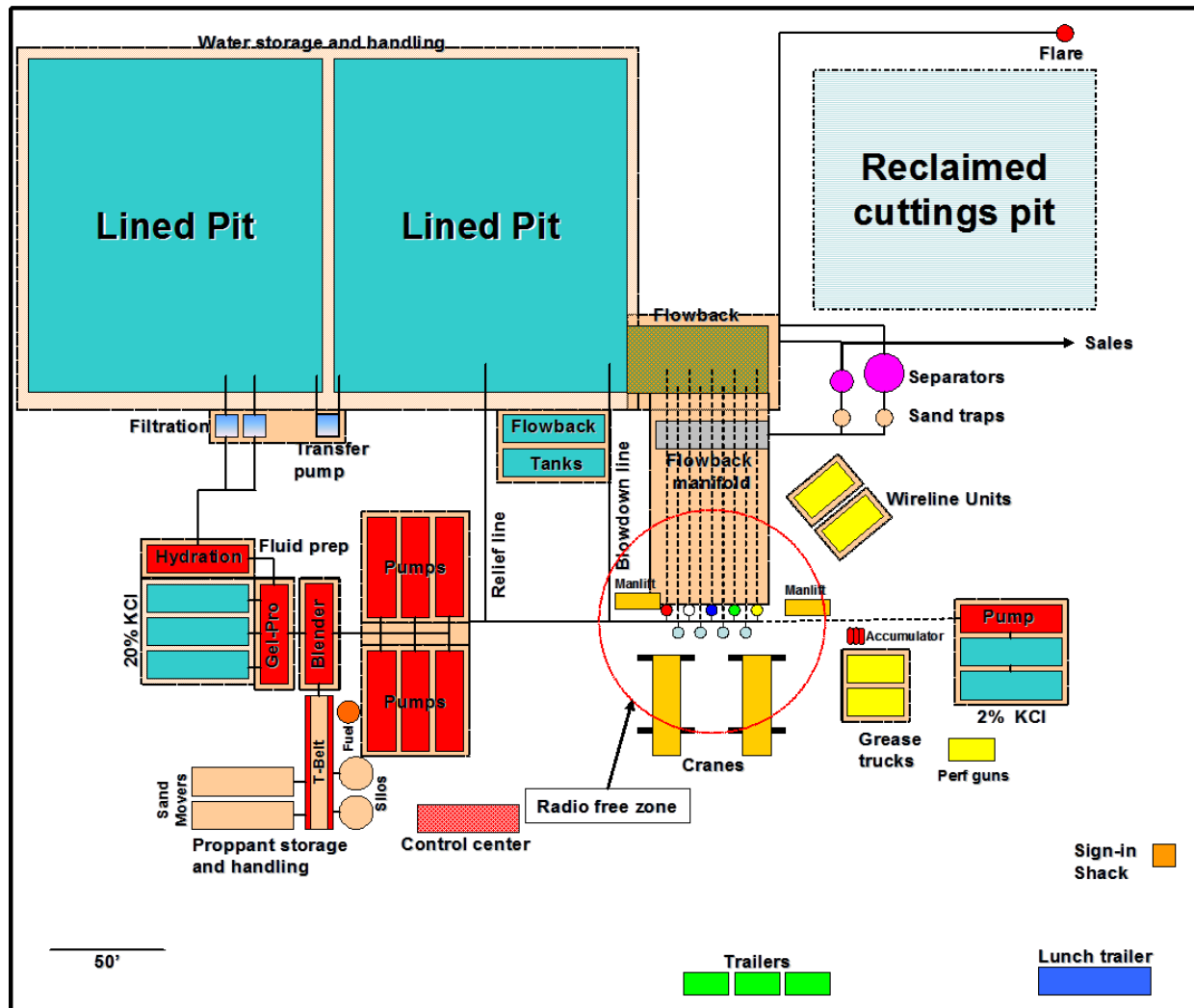
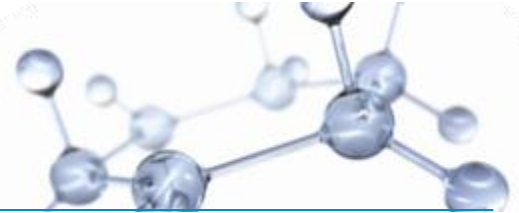


# Operaciones típicas de completamiento & estimulación hidráulica

# Operaciones de estimulación: Ejemplo de sitio

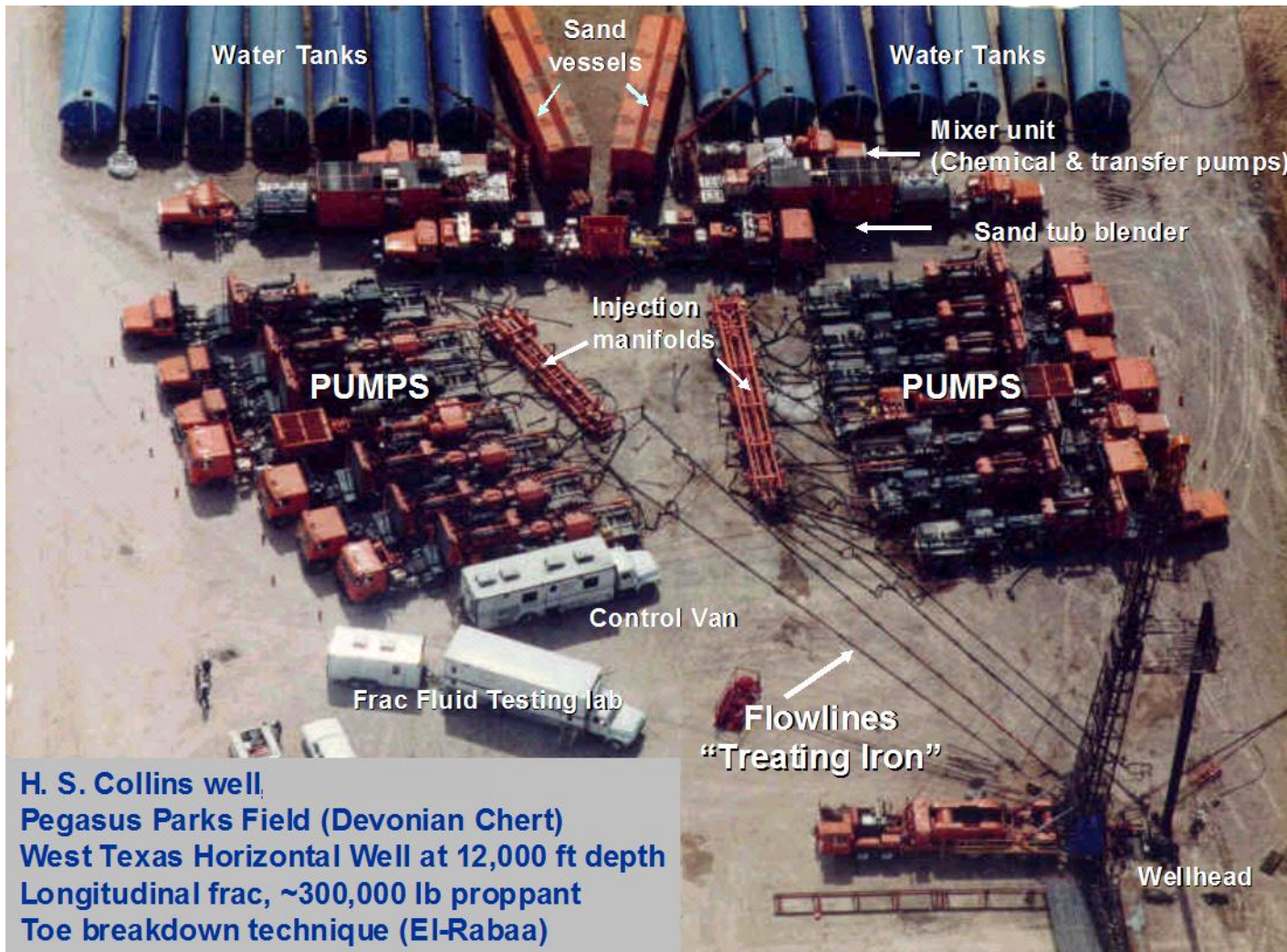
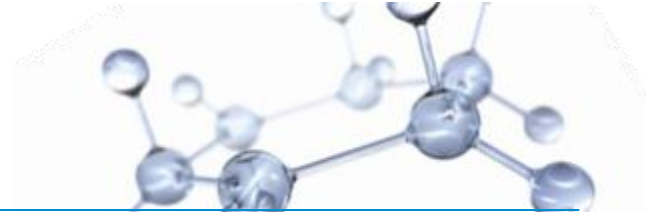


# Operaciones de estimulación: Cada sitio se diseña según las condiciones locales



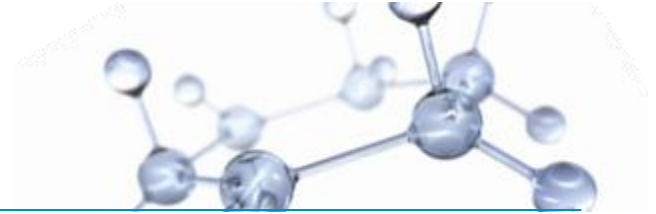


# Operaciones de estimulación: Equipos típicos en localización



**H. S. Collins well,  
Pegasus Parks Field (Devonian Chert)  
West Texas Horizontal Well at 12,000 ft depth  
Longitudinal frac, ~300,000 lb proppant  
Toe breakdown technique (El-Rabaa)**

# Estimulación hidráulica: Integridad vía diseño de equipo



*Ejemplo: Equipos de control de presión permiten confiable instalación y corrida de herramientas*





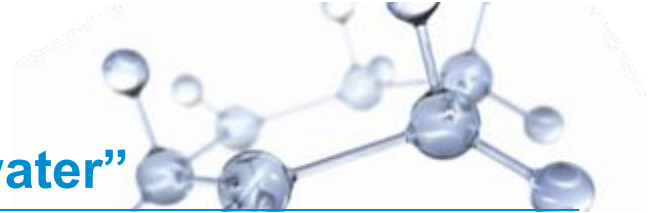
# Estimulación hidráulica: Los tratamientos de fractura son monitoreados cuidadosamente



Se controlan y monitorean con manómetros e instrumentos electrónicos



# Estimulación hidráulica: Evento de estimulación típica con “Slickwater”

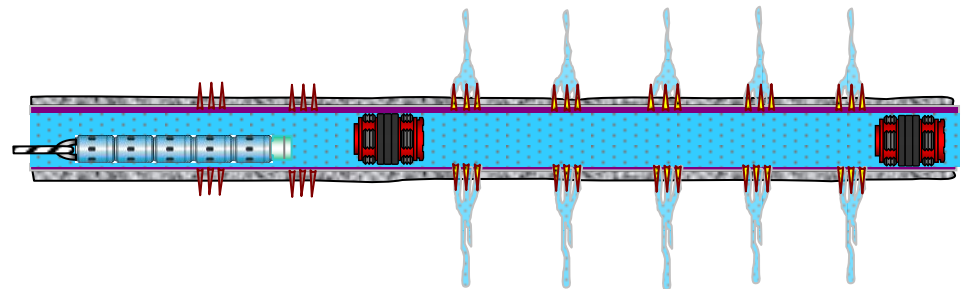


## Un evento de bombeo para estimulación puede incluir:

- Volumen pequeño de “slickwater” para iniciar rompimiento (~25-bbbls)
- Volumen pequeño de ácido hidroclorídrico (15%) para facilitar las fracturas (~50-bbbls)
- Cojín de Slickwater para propagar fractura (~1,000-bbbls)
- Lechada “slickwater” con apuntalante malla 100 (~2,000-bbbls)
- Lechada “slickwater” con apuntalante malla 40/70 (~10,000-bbbls)
- Bombeo de Slickwater para desplazar apuntalante del casing (~250-bbbls)
- Apuntalante ~360,000-lbs
- Numerosas repeticiones hasta completar una sección horizontal (e.g., ~10 – 20 veces)

## La lechada “slickwater” típicamente contiene unos pocos aditivos químicos:

- a. Reductor de fricción
- b. Inhibidor de escamas
- c. Bioácido
- d. Ácido
- e. Inhibidor de corrosión
- f. Aditivo KCl para estabilizar arcillas



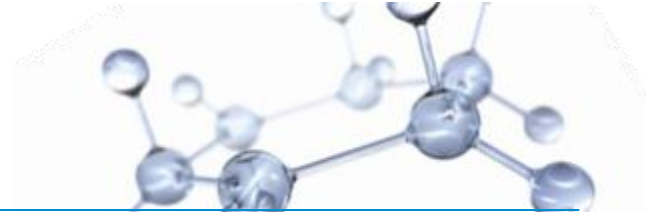
***Se usan aditivos cuando son técnicamente necesarios y en las menores cantidades posibles***



# Consideraciones sobre pruebas de pozos, contraflujo y manejo de agua



# Consideraciones sobre contraflujo

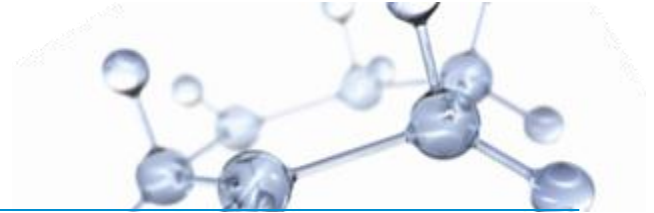


Los procedimientos y sistemas de contraflujo también se diseñan “a la medida” basado en consideraciones técnicas y operacionales:

- Tasa de flujo esperada, presión y condiciones de temperatura
- Composición del fluido producido
- Hidráulica de pozo
- Disponibilidad de líneas de flujo/tuberías y área disponible (fase de exploración vs. desarrollo)
- Quema vs. venteo de gas



# Consideraciones sobre pruebas de pozo



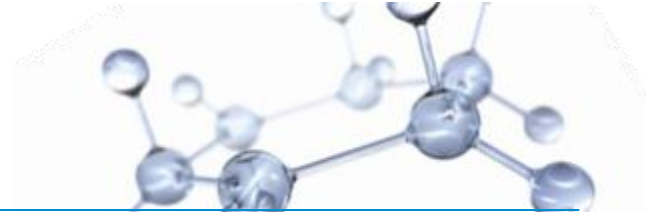
## Los procedimientos y sistemas se diseñan “a la medida” basado en consideraciones técnicas y operacionales:

- Intensidad operacional y sistemas de seguridad son aspectos fundamentales en todos los diseños de pruebas
- Los diseños de las pruebas son específicos para cada pozo
- Suficiente duración para permitir evaluación de comportamiento del pozo
- Medir tasa de flujo, presión superficial, temperatura y química del agua
- Se pueden usar registros de producción para evaluar desempeño y efectividad del trabajo
- Disponibilidad de instalaciones cerca a ductos





# Manejo de aguas: Fuentes hídricas para estimulación



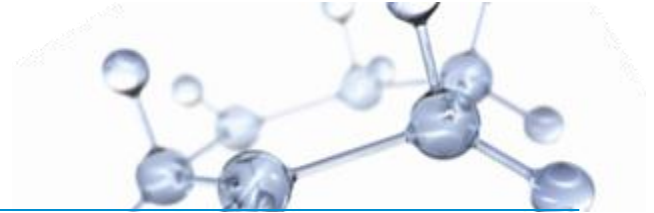
Fuente de agua dulce



Reciclaje de contraflujo

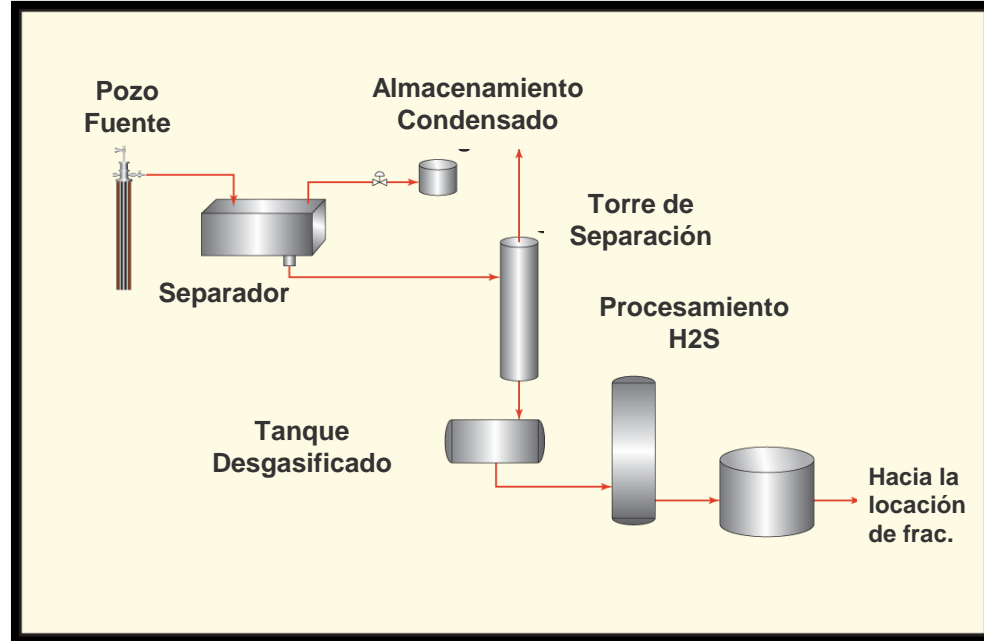


# Manejo de Aguas: Ejemplo de propuestas únicas



## Ejemplo en Colorado

Sistema de distribución de agua producida para perforación y fluidos de completamiento (cuenca Piceance ExxonMobil)



## Ejemplo en Canadá

Uso de yacimiento de aguas salobres como fuente de agua (Apache en cuenca Horn River Basin, referencia SPE 13822)

# Manejo de Aguas: Tratamiento seguro del agua después de su uso

## Las opciones dependen de condiciones locales

- Reciclada tratándola y mezclándola con agua fresca para su reutilización en operaciones futuras
- Envío a planta de tratamiento de aguas residuales
- Inyección al subsuelo en pozos especiales para su disposición



Sistema de distribución de agua

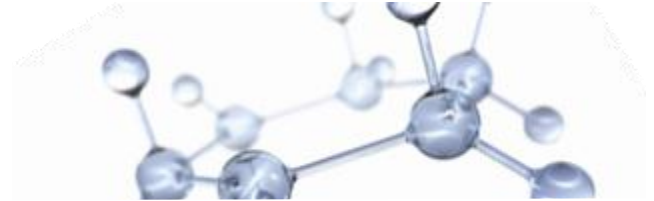
## Tanques de almacenamiento de agua



## Pozo de disposición

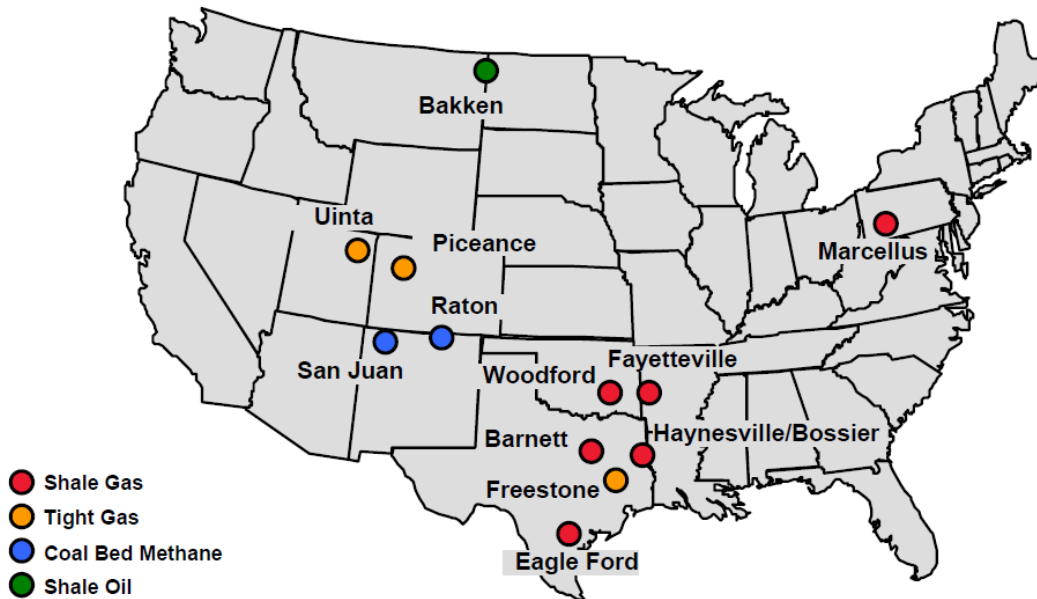
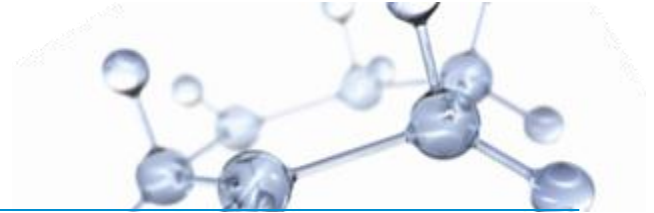






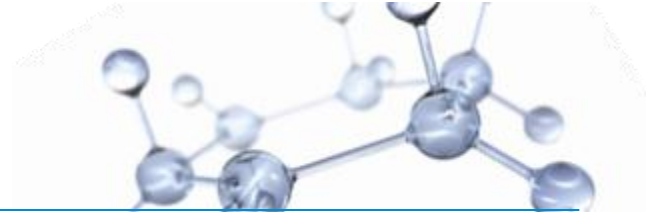
# Consideraciones de infraestructura e impacto local

# Infraestructura: Depende de condiciones locales



Campo	Ejemplo de volúmenes de Fluidos (galones)
Bakken	2,000,000
Barnett	4,000,000
Haynesville	11,000,000
Eagleford	4,000,000
Marcellus	5,600,000
Fayetteville	7,000,000
Piceance TG	2,000,000
San Juan / Raton CBM	220,000
Horn River (Canada)	16,000,000

## Infraestructura: Tamaño de las localizaciones



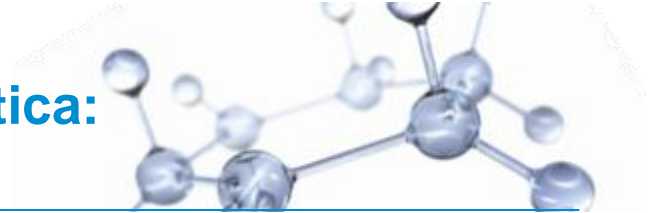
### El tamaño depende de muchos factores

- Lugar (terreno / topografía), número de pozos
- Típicamente de ~1.2 a 2.8 hectáreas para perforar múltiples pozos
- Típicamente accede a más de ~100's hasta > ~800 hectáreas de yacimientos en subsuelo
- Los pozos pueden ocupar < ~0.1 hectárea al terminar la operación



*Sitios cuidadosamente diseñados para minimizar la huella en superficie y el impacto a la comunidad*

# Consideraciones sobre materiales y logística: Ejemplo de un pozo de lutitas



## Agua

~5.000.000 galones

~8 piscinas olímpicas – (sustancialmente menos cuando se recicle el contraflujo en la fase de desarrollo)

## Apuntalante

~2.500 toneladas

~20 vagones y ~120 camiones

## Aditivos Químicos

~25.000 galones (~0.5% del agua del tratamiento de estimulación)

~6 camiones (pueden ser menos dependiendo de la situación específica y de la forma seca vs. líquida)

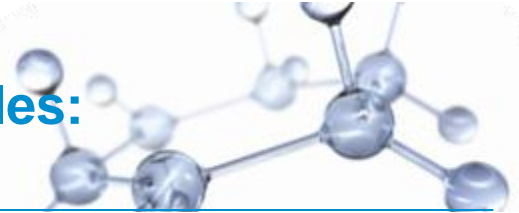
## Equipo de Estimulación

~20 a 30 camiones en la localización

## Tamaño de localización

~1.2 a ~2.8 hectáreas dependiendo de condiciones locales y del número de pozos (si se usan piscinas con membranas, un poco mayor dependiendo del diseño de las piscinas)

# Consideraciones para las comunidades locales: Cómo reducir el impacto superficial



## Minimizar los impactos superficiales:

- Selección y preparación cuidadosa de los sitios
- Técnicas contención de derrames
- Interface con la comunidad en relación a patrones de tráfico e itinerarios de transporte
- Barreras antiruido
- Cumplimiento de emisiones
- Paisajismo y reclamación

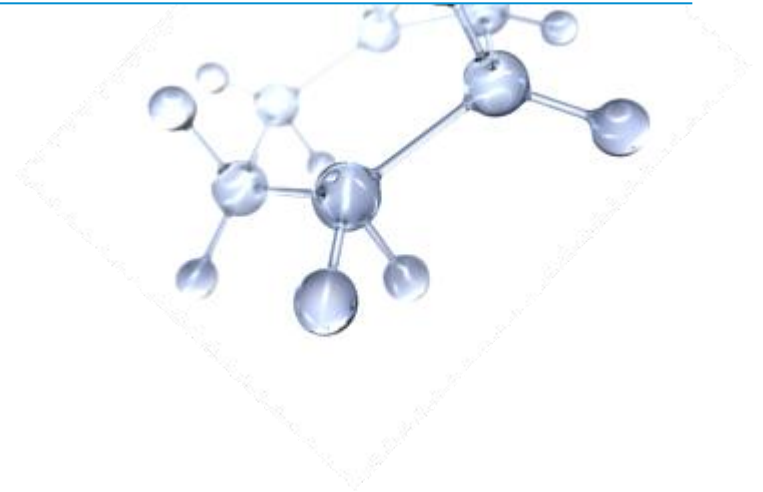




# ExxonMobil

Taking on the world's toughest energy challenges.™

---



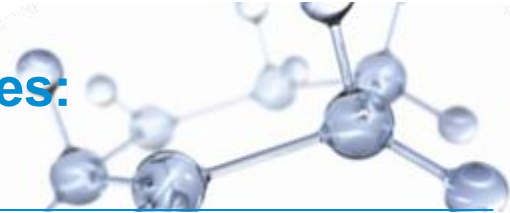
---

This presentation includes forward-looking statements. Actual future conditions (including economic conditions, energy demand, and energy supply) could differ materially due to changes in technology, the development of new supply sources, political events, demographic changes, and other factors discussed herein (and in Item 1 of ExxonMobil's latest report on Form 10-K). This material is not to be reproduced without the permission of Exxon Mobil Corporation.

# Consideraciones para las comunidades locales:

## Beneficios económicos

---



### Lutita Marcellus (2011: ~2.3 GPC/D)

- 2009: Los operadores en el “play” Marcellus invirtieron \$4.000 millones, esto resultó en \$7.170 millones en valor económico añadido. (Penn State, 2010)

### Lutita Barnett (2011: ~5.4 GPC/D)

- Periodo 2001-2011: Los operadores del “play” Barnett generaron \$11.100 millones de impuestos para los municipios y para el estado de Pennsylvania (Perryman Group, 2011)

*Se estima que la industria de lutitas gasíferas ha contribuido >600.000 empleos en el 2010 (IHS Global Insight, 2011)*

### Impacto Macroeconómico:

- Reducción y estabilidad en los precios de gas natural
- Balanza de pagos; eliminación de las importaciones de gas; reducción de las importaciones de crudo
- Resurgir de la industria manufacturera debido a los bajos costos energéticos
- Resurgir de la industria petroquímica debido a bajos costos energéticos y de insumos (ejemplo: etanol)

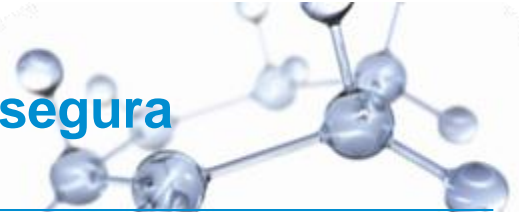


# RESUMEN

## La estimulación se puede realizar de manera segura

*Guías, Prácticas, & Estándares están disponibles*

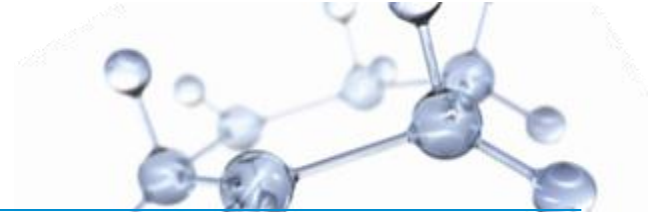
---



*Algunos ejemplos del Instituto Americano del Petróleo de recursos técnicos que se pueden consultar fácilmente, considerando condiciones locales.*

- **API HF1 “Operaciones de Fracturamiento Hidráulico – Construcción de Pozos y guías de integridad, Primera Edición”**
- **API HF2 “Manejo de aguas asociadas al fracturamiento hidráulico, Primera Edición”**
- **API HF3 “Prácticas para mitigar los impactos superficiales, asociados con el fracturamiento hidráulico, Primera Edición”**
- **Práctica recomendada API 51R “ Protección ambiental para operaciones en campos terrestres de petróleo y gas, Primera Edición”**
- **API Estándar 65 – Parte 2 “Cómo aislar zonas de flujo potencial durante la construcción de pozos, Segunda Edición”**

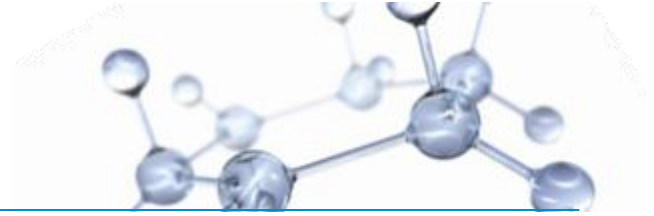
## Para cerrar...



- Cada play de lutitas es único y requiere su propio juego de soluciones creativas para su desarrollo
- Los pozos se pueden construir sin impacto adverso sobre los acuíferos, siempre y cuando se usen procedimientos de construcción y diseño adecuados
- La industria debe interactuar proactivamente con las comunidades locales para minimizar los impactos y reducir los “factores ruido” asociados con el desarrollo de gas natural
- Regulaciones razonables y transparentes permitirán desarrollar económicamente y en forma amigable con el medio ambiente abundantes fuentes de gas natural







---

# ExxonMobil

## Taking on the world's toughest energy challenges.™

*\*Exxon Mobil Corporation has numerous subsidiaries, many with names that include ExxonMobil, Exxon, Esso and Mobil. For convenience and simplicity in this presentation, the parent company and its subsidiaries may be referenced separately or collectively as "ExxonMobil." Abbreviated references describing global or regional operational organizations and global or regional business lines are also sometimes used for convenience and simplicity. Nothing in this paper is intended to override the corporate separateness of these separate legal entities. Working relationships discussed in this paper do not necessarily represent a reporting connection, but may reflect a functional guidance, stewardship, or service relationship.*