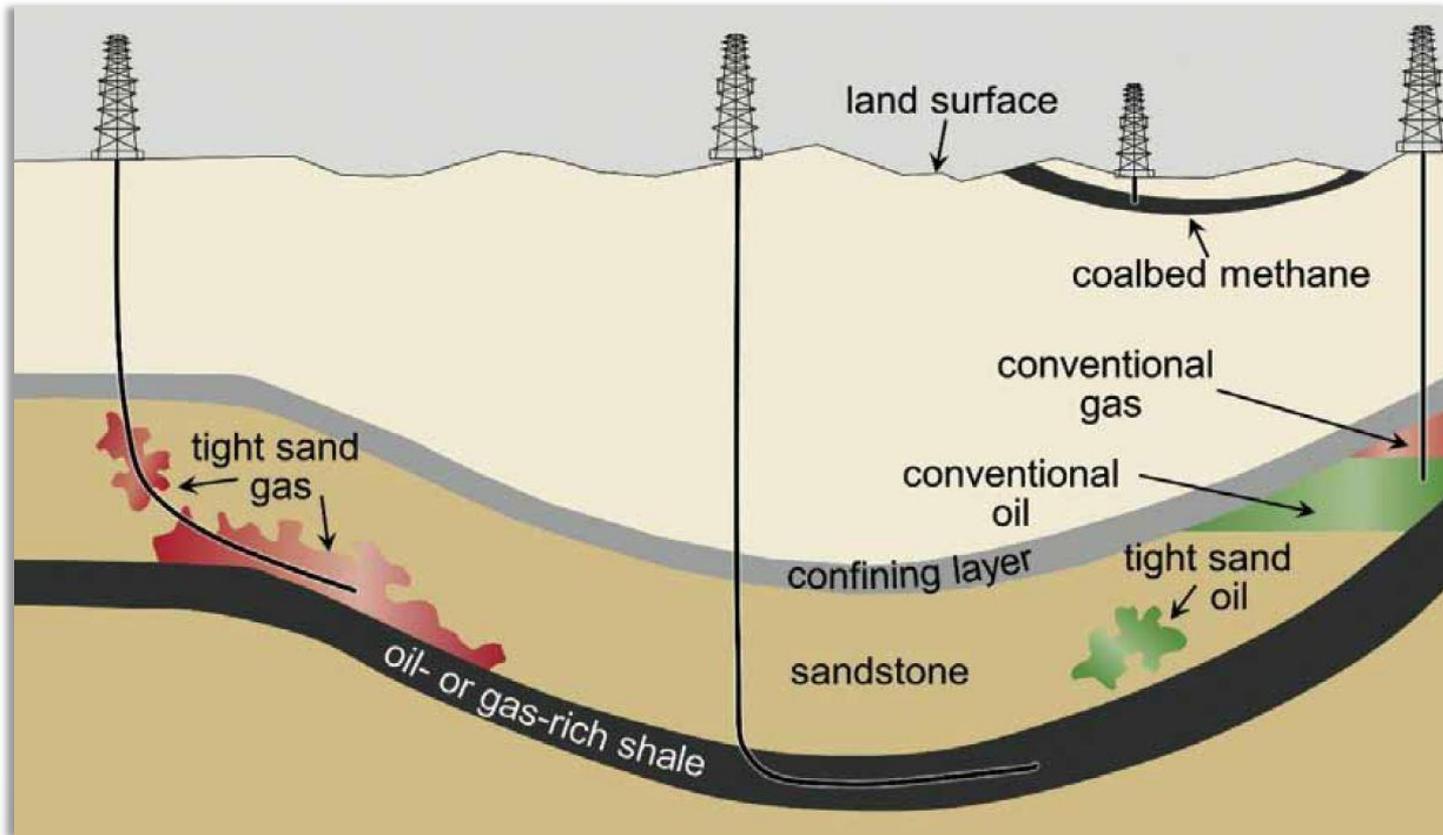


## *Tema I: Yacimientos tipo Shale oil & gas*



# CUENCAS CON POTENCIAL SHALE OIL & GAS



## EXPLORACIÓN

### No convencional

#### Cuencas con potencial testeadas y productivas

- Vaca Muerta (shale oil/gas)
- Lajas (light gas)
- Mulichinco (light oil/gas)
- D-129 (shale oil-light oil)

#### Otras oportunidades

- Neuquina Los Molles (shale/light gas)  
Agrío (shale oil)
- Cuyana Cacheuta (shale oil)  
Potrerillos (light oil)
- Golfo de San Jorge Neocomiano (shale oil/gas)
- Noroeste-Creláceo Yacoraite (shale/light oil-gas)
- Noroeste-Tarija Los Monos (shale gas)
- Austral Inoceramus
- Chaco Paranaense Devonico-Permico (shale oil)



FUENTE: YPF

iProfesional

# Yacimientos No Convencionales

## SISTEMA PETROLERO

### Sistema: Interdependencia



- Roca Madre
- Roca Reservorio
- Roca Sello
- Carga Geoestática

### Procesos

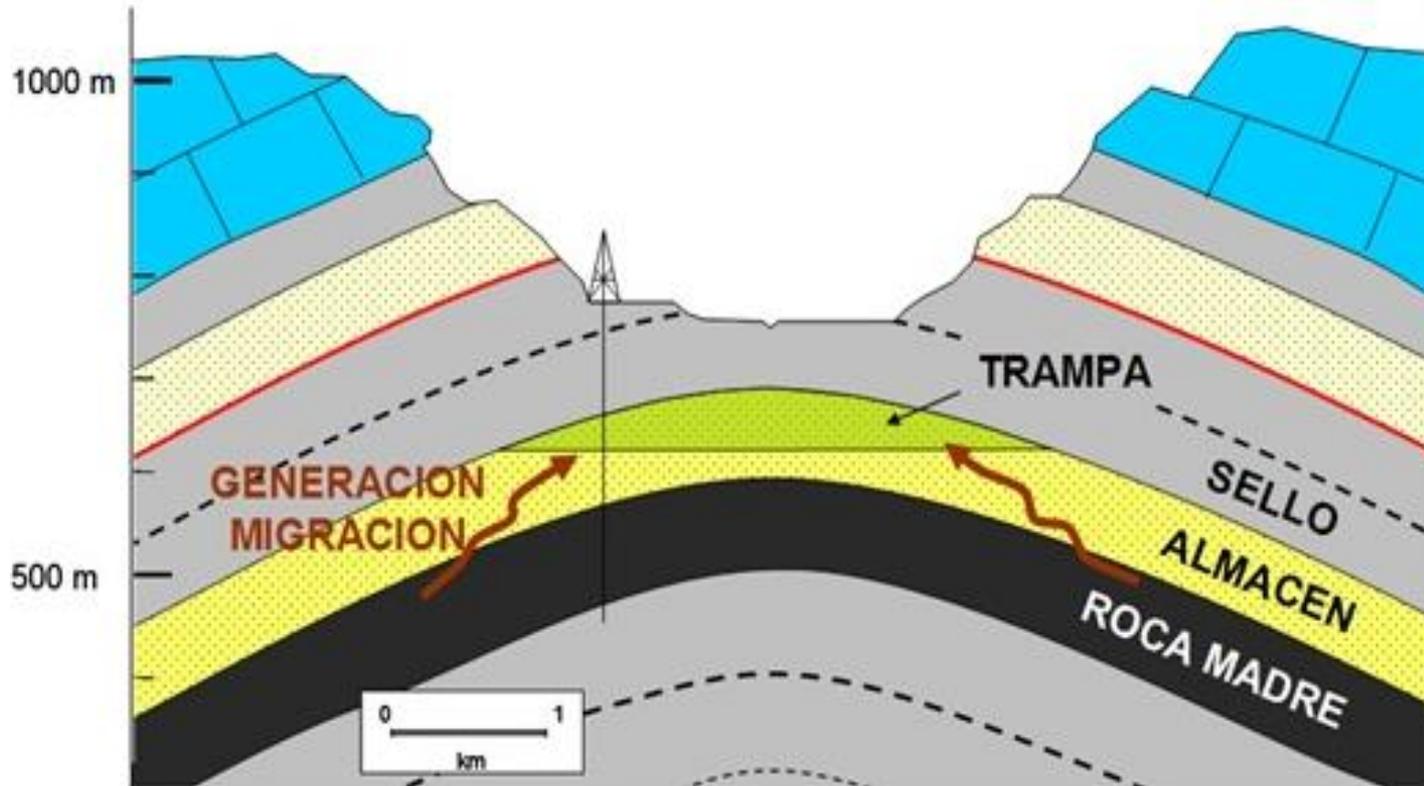


- Formación de Trampas y Generación.
- Migración y Acumulación de HC.

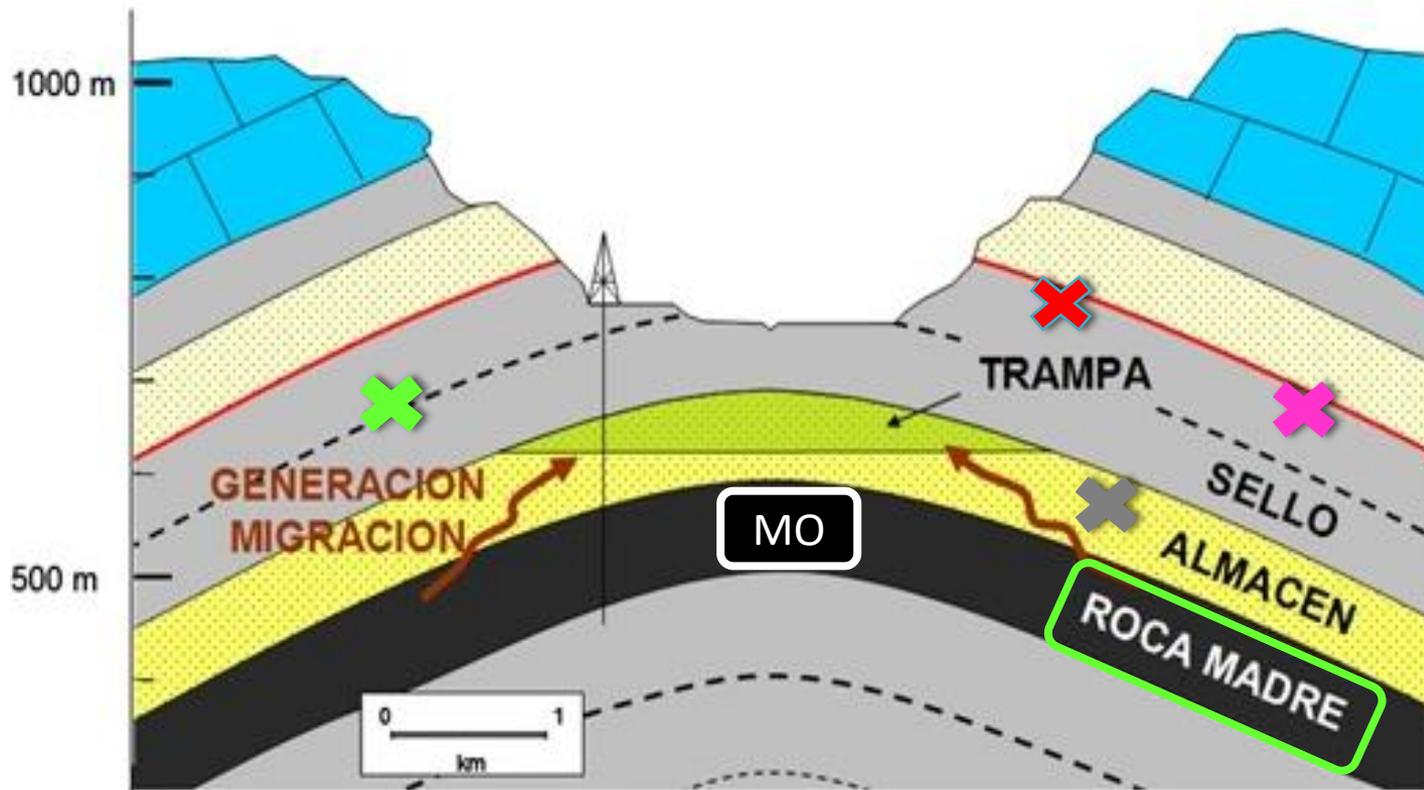


Todo en un marco temporal apropiado

# SISTEMA PETROLERO CONVENCIONAL



# SISTEMA PETROLERO NO CONVENCIONAL



## ROCA MADRE O GENERADORA

Bajo el término “roca madre” o “generadora” se engloba a todas las rocas sedimentarias de tamaño de grano fino (limos y/o arcillas) con alto contenido de materia orgánica.

Tamaño mm	Nombre de los individuos	Nombre del sedimento Agregado no consolidado	Nombre de roca Agregado consolidado		
256	Bloque	Aglomerado	Aglomerado		
64	Canto rodado	Grava	Gruesa	Conglomerado	Psefita
16			Mediana		
4			Fina		
2	Grano	Arena	Gruesa	Arenisca	Psamita
1			Mediana		
1/2			Mediana		
1/4			Fina		
1/8			Fina		
1/16	Partícula	Limo	Limolita	Pelita	
1/256		Arcilla	Arcilla		

Clasificación de las rocas sedimentarias clásticas de Udden-Wentworth (modificada de Pettijohn, 1963).

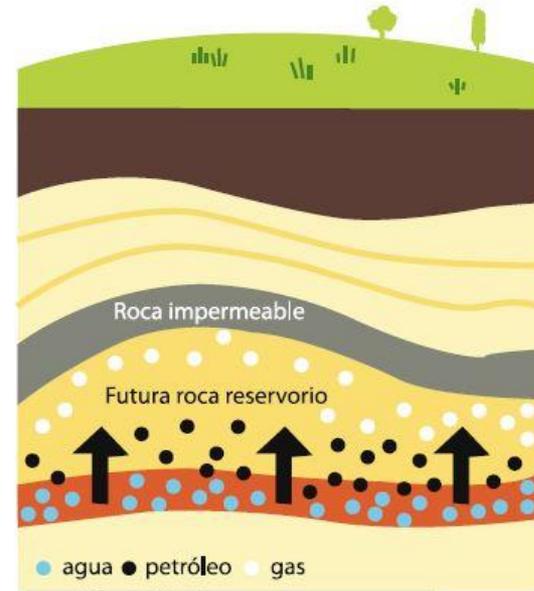
# FORMACIÓN DE UNA ROCA MADRE



Depósitos en el fondo de una cuenca sedimentaria

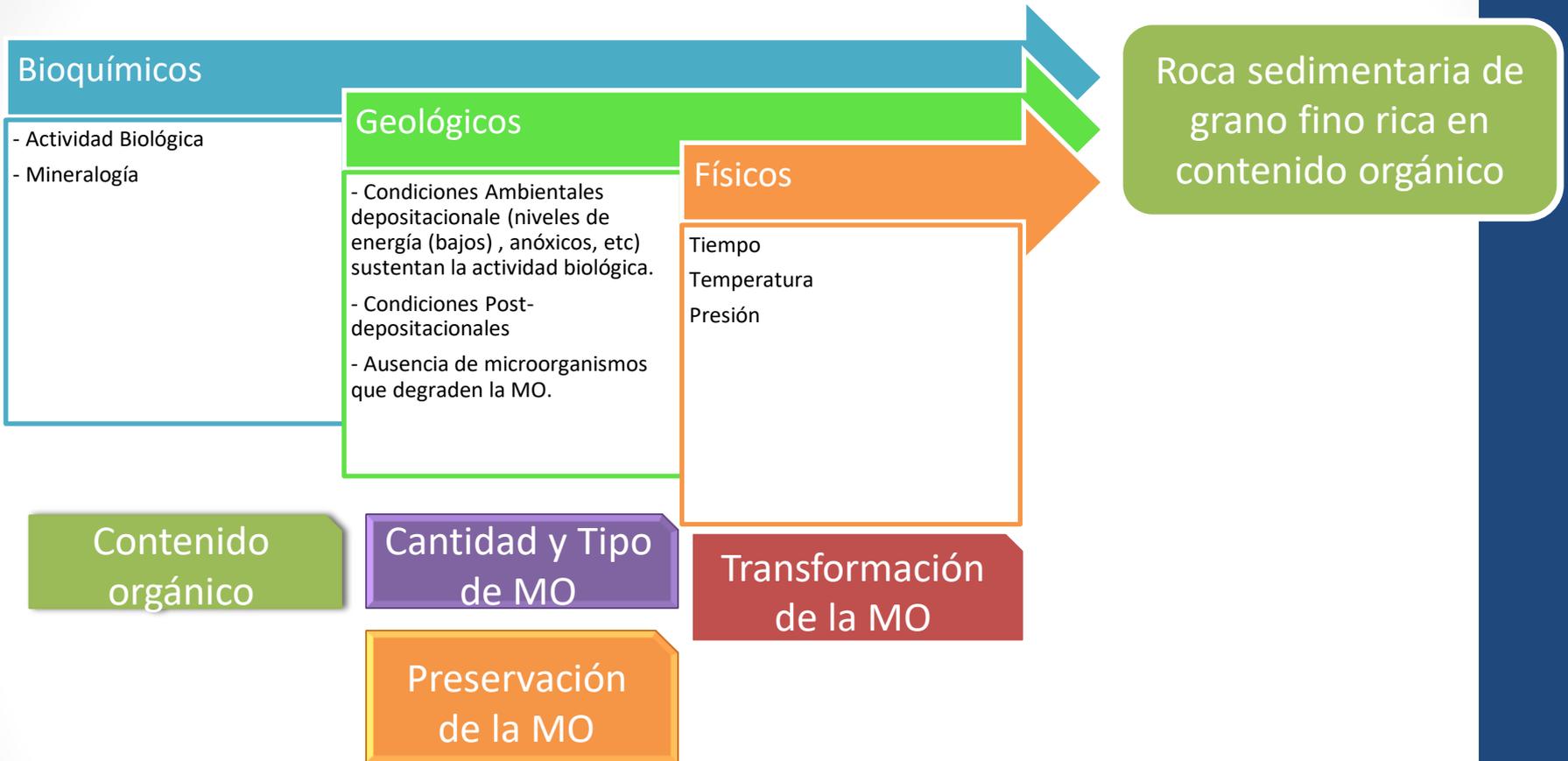


Transformación de la materia orgánica



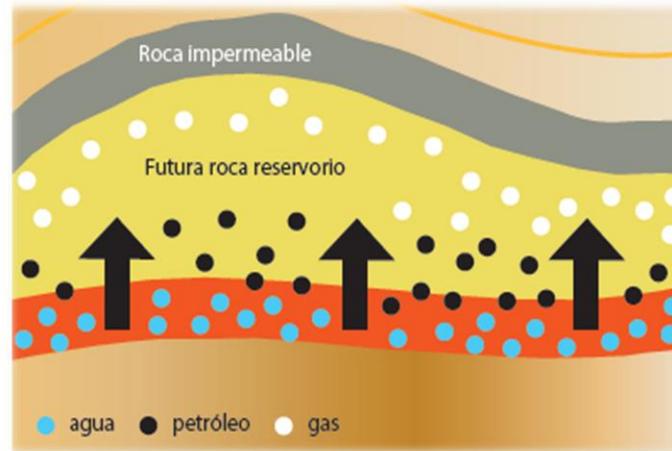
● agua ● petróleo ● gas  
Migración de gas y petróleo

# ROCA MADRE

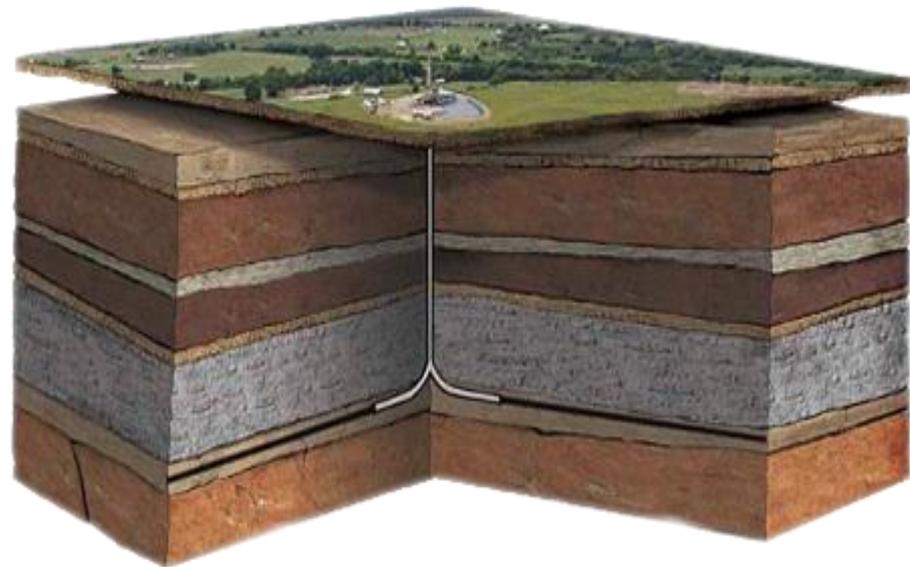
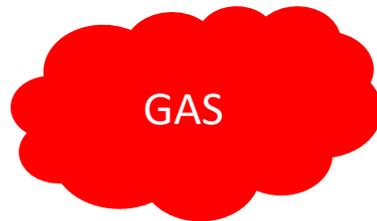
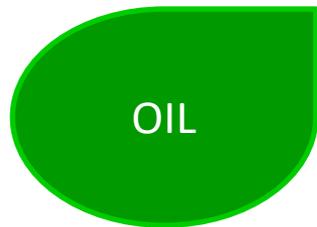


## RESERVORIOS SHALE

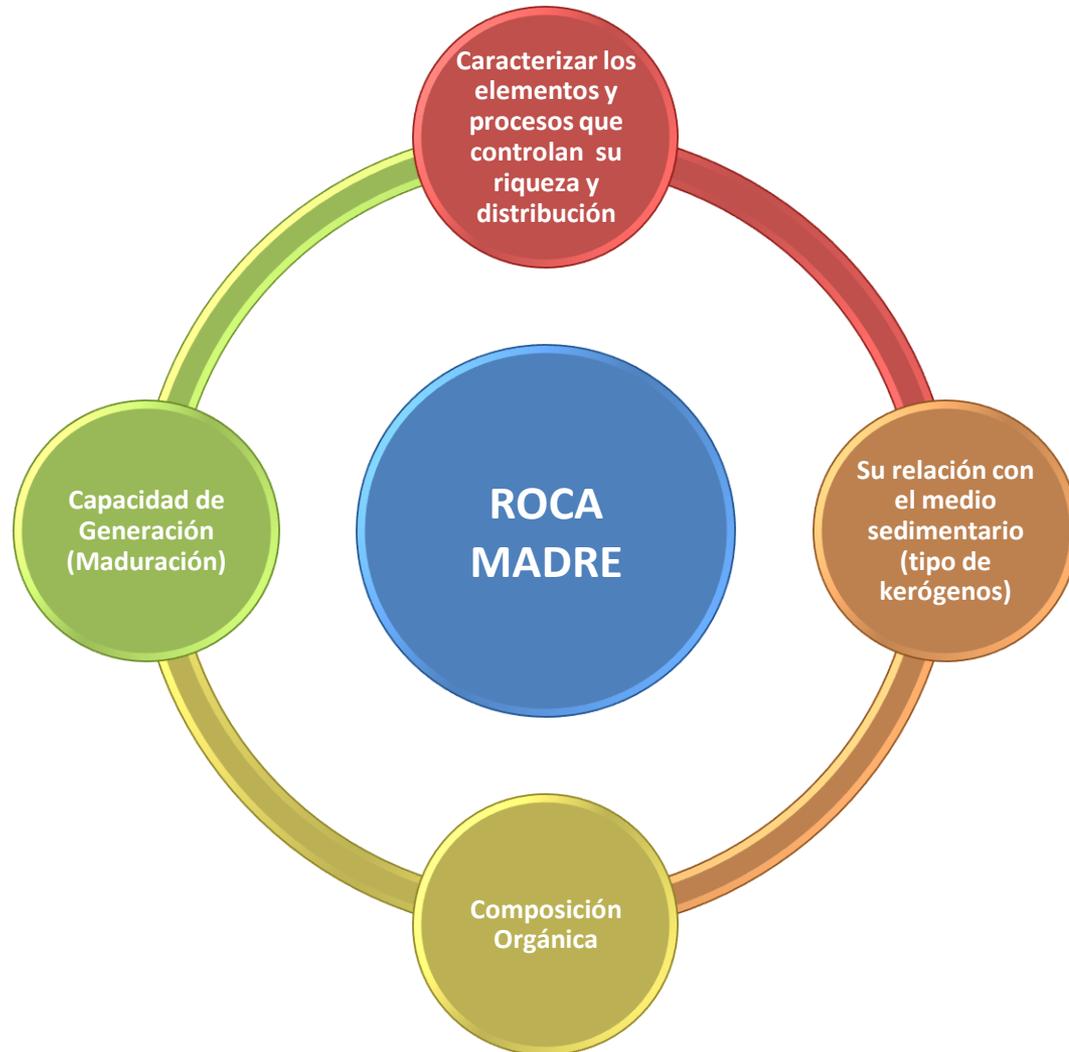
Son acumulaciones de sedimentos de granos finos que en conjunto con la materia orgánica y su posterior preservación, bajo condiciones anaeróbicas, alta presiones y temperaturas, evolucionan a lo largo del tiempo en rocas con un gran potencial de producir hidrocarburos.



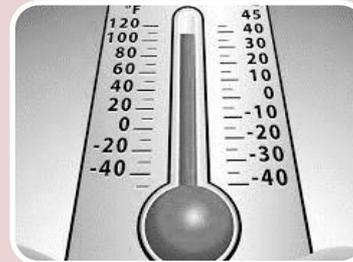
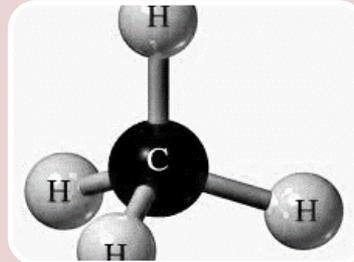
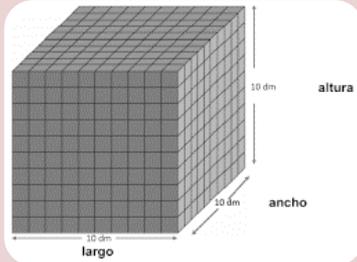
# GEOQUÍMICA DEL PETRÓLEO



# GEOQUÍMICA DEL PETRÓLEO



# POTENCIAL DE GENERACIÓN

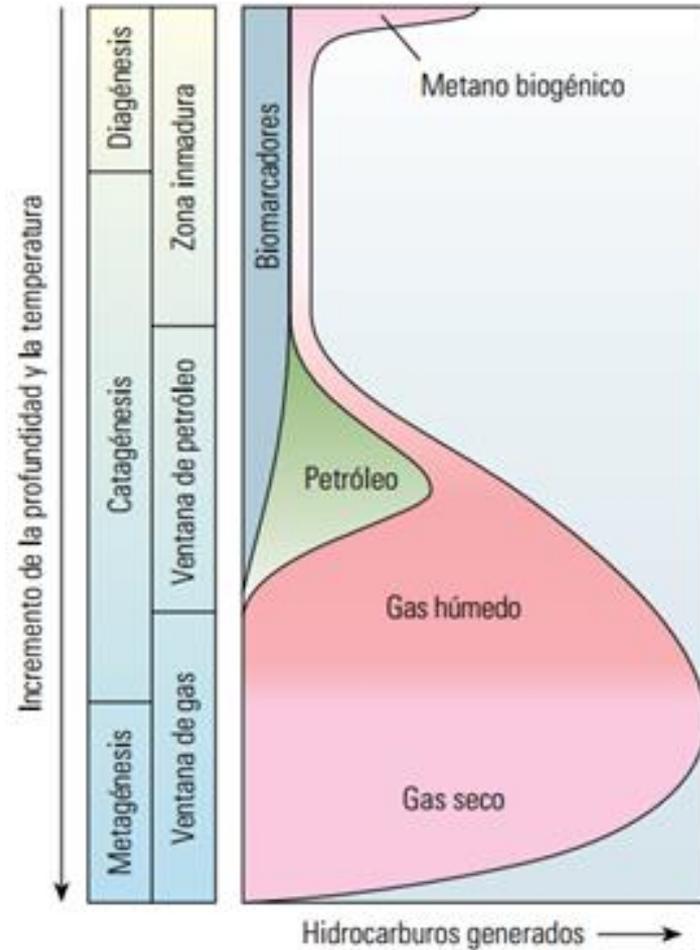
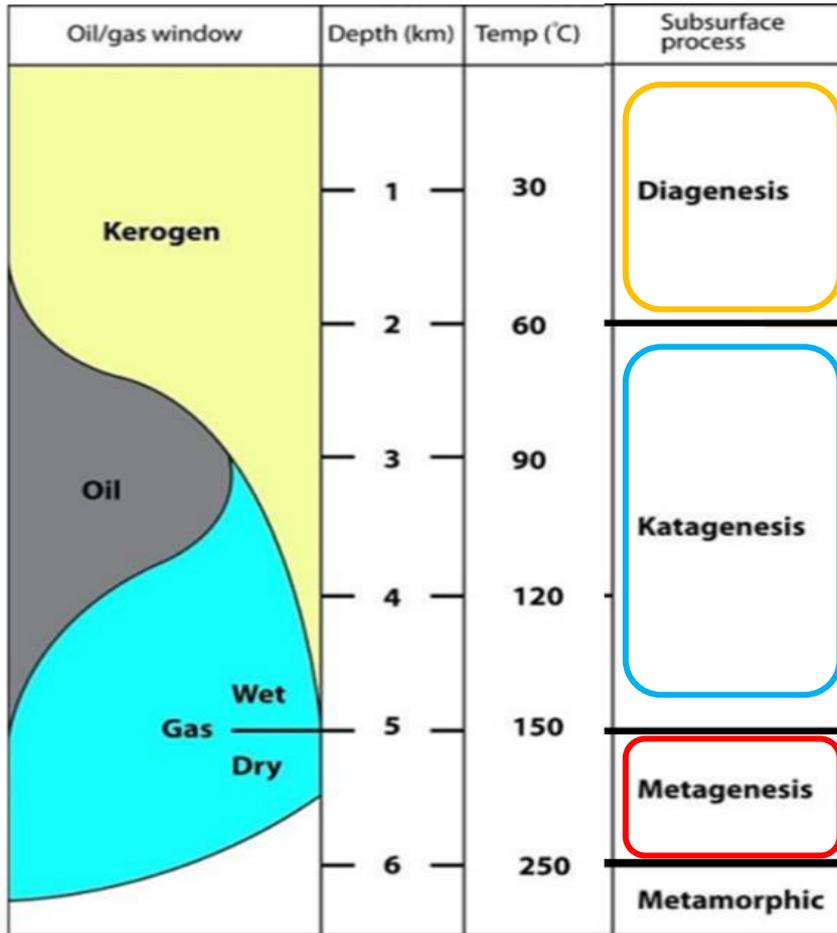


Volumen

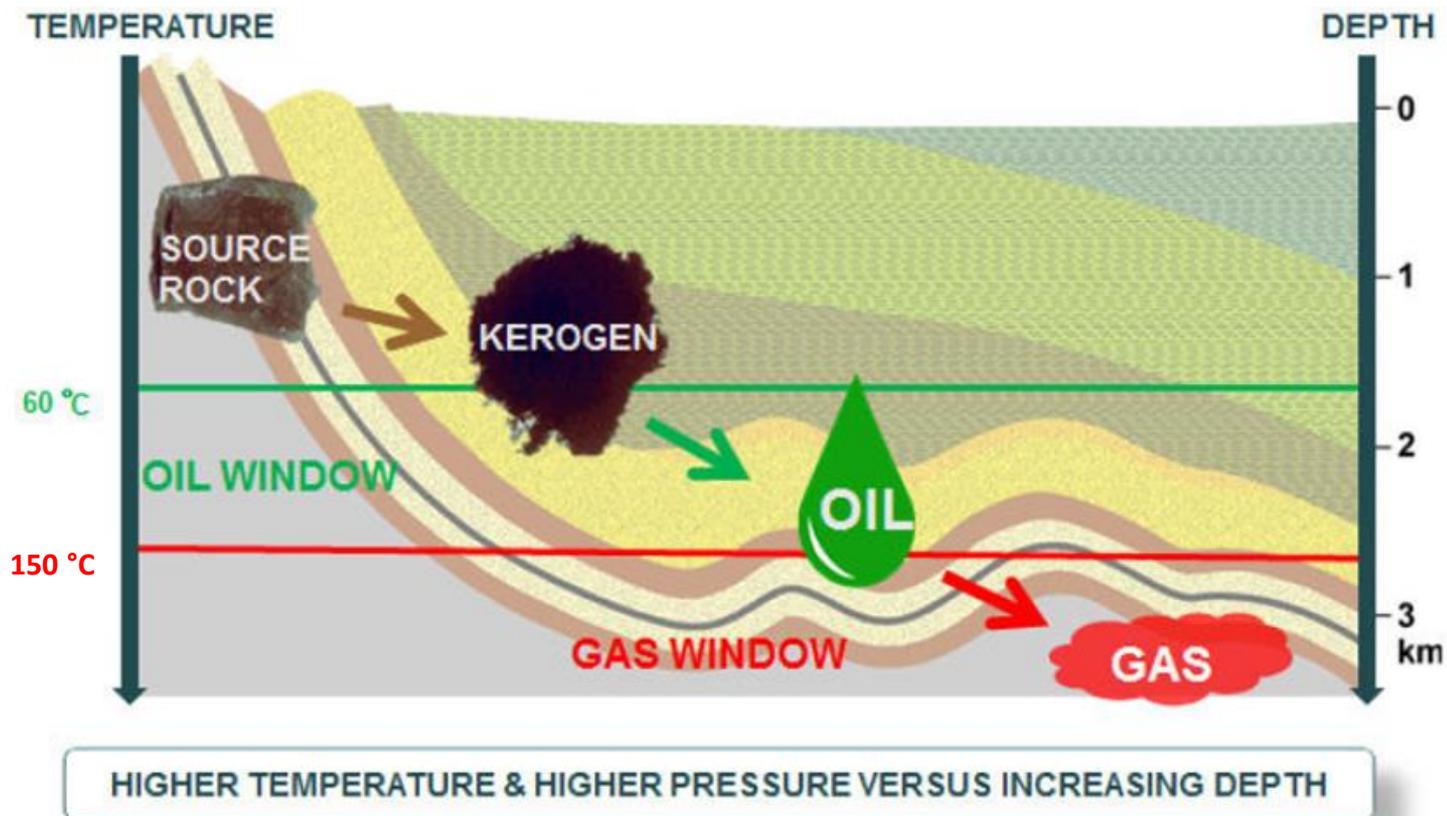
Riqueza  
Orgánica

Madurez  
Térmica

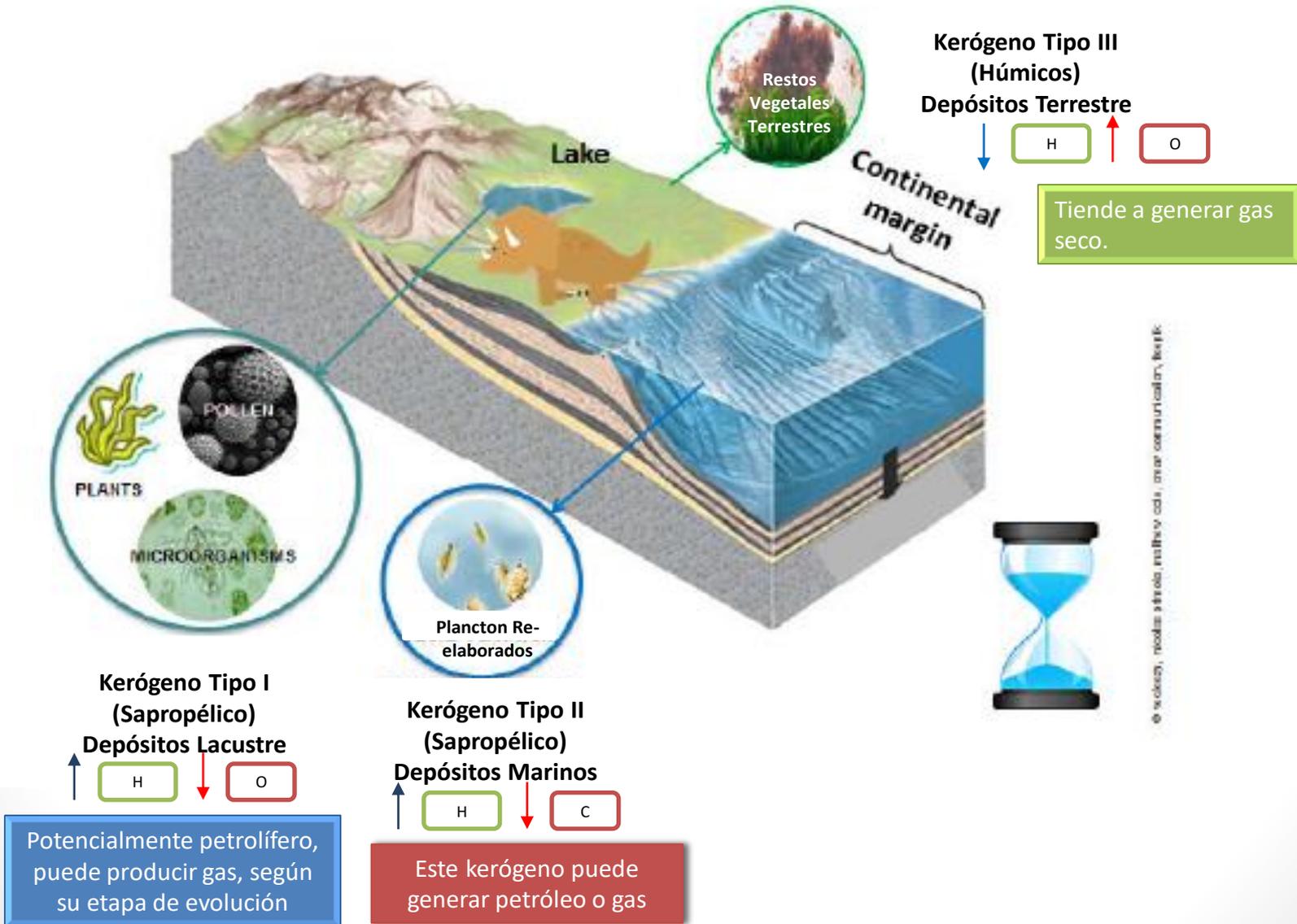
# TRANSFORMACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA



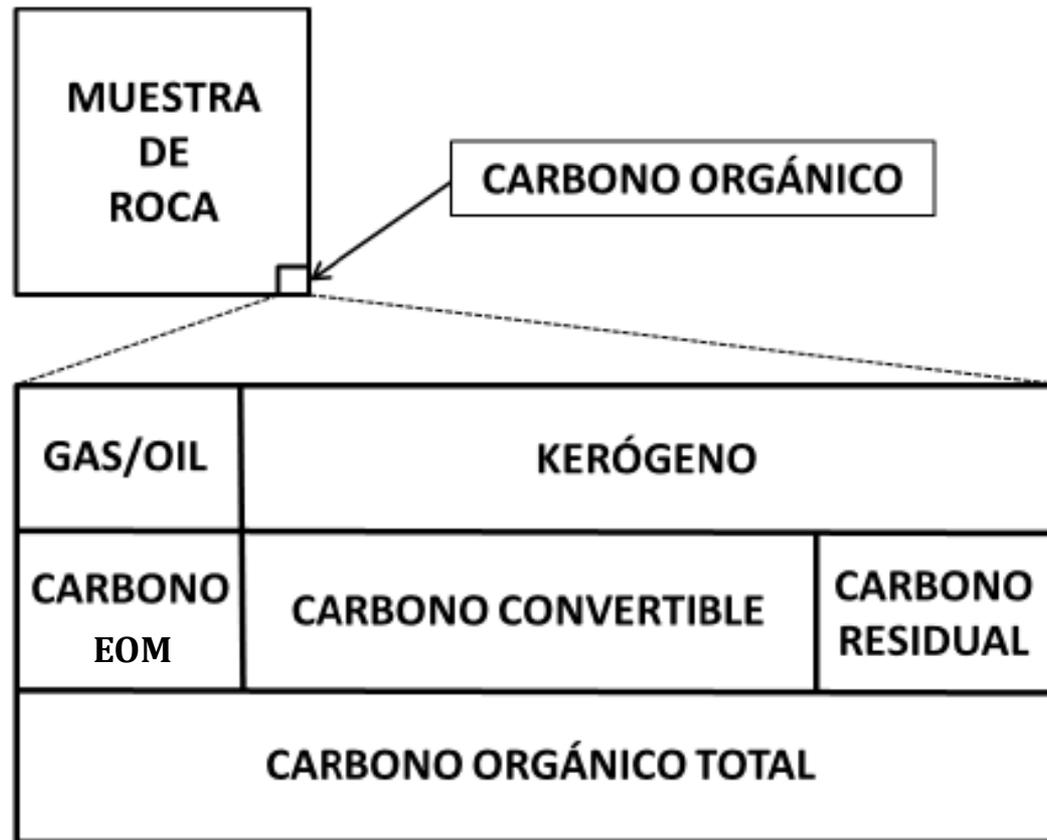
# VENTANAS DE GENERACIÓN



# TIPOS DE KERÓGENOS



# CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA



*Jarvie (1991)*

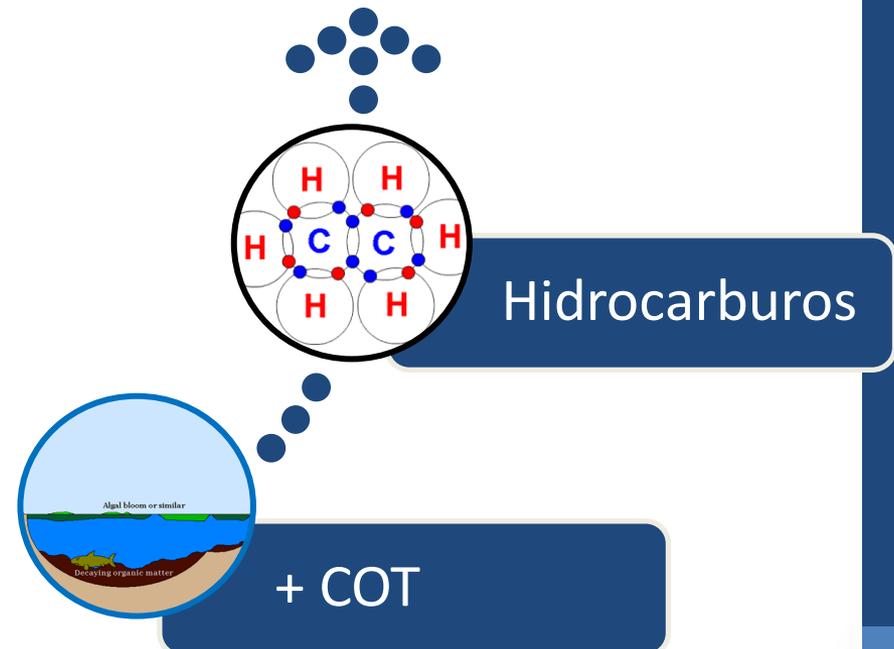
# CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

(COT O TOC por sus siglas en inglés)

*Representa la cantidad en peso de materia orgánica contenida en una roca sedimentaria*

Potencial Petrolífero	TOC [% en peso]
Pobre	0-0.5
Regular	0.5-1
Bueno	1-2
Muy Bueno	2-4
Excelente	> 4

Peters, 2005.



# MEDICIÓN DEL COT/TOC

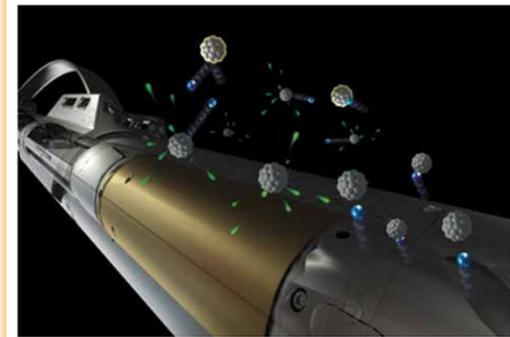
## Experimental

- Combustión Directa
- Pirólisis



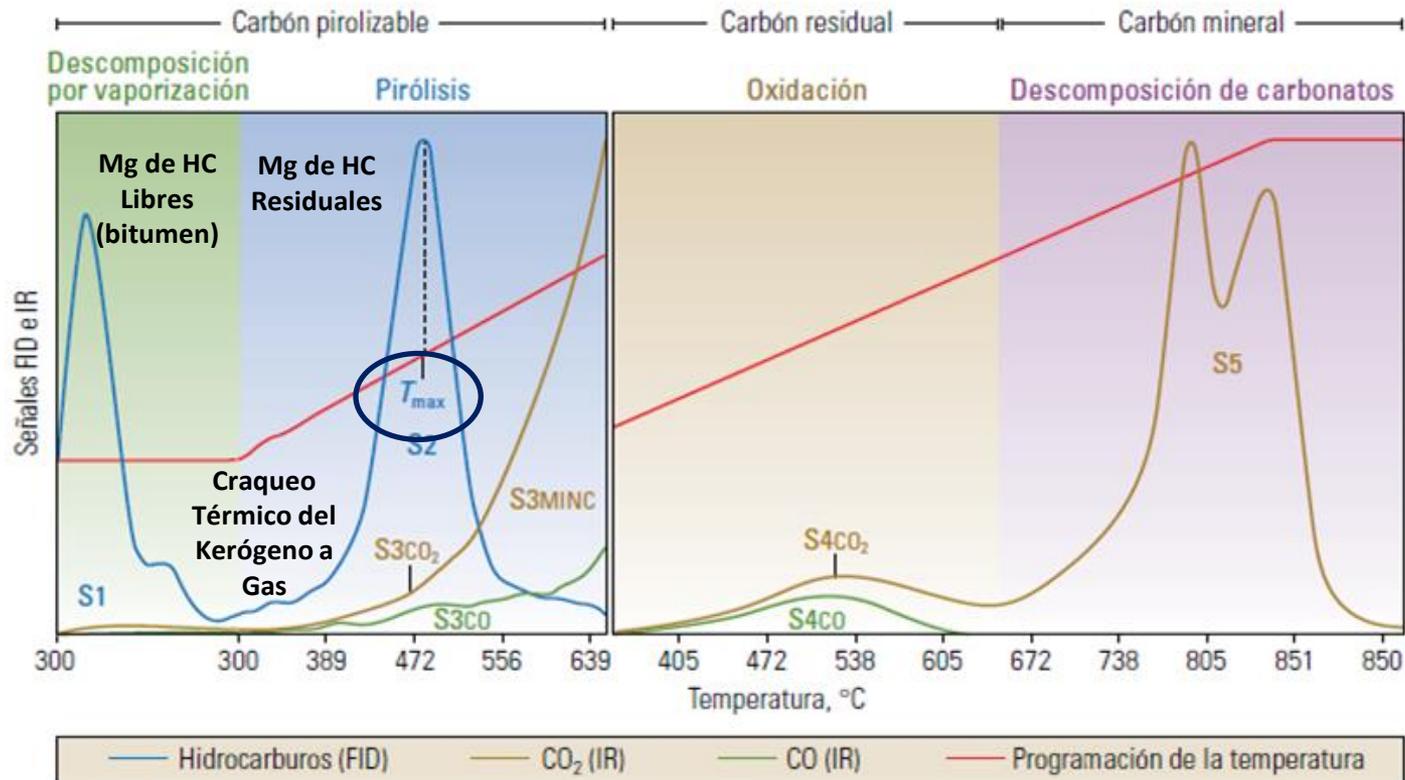
## Registros Eléctricos:

- Espectroscopia de Rayos Gamma
- Rayos Gamma Espectral
- Combinación del Perfil sónico con Resistividad



# PIRÓLISIS (ROCK EVAL)

## PIROGRAMA



# PIRÓLISIS (ROCK EVAL)

**HI**

**100 x  
S2/TOC**

Valores altos de HI indican mayor Potencial de generación de petróleo

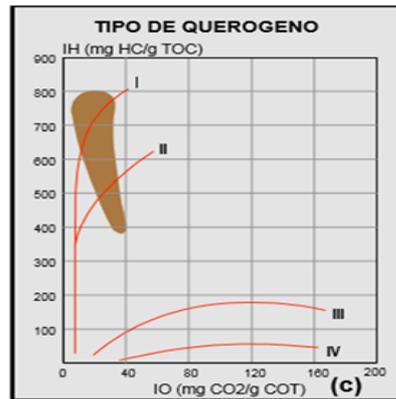
Tipo de producto	Índice de hidrógeno
Gas	50 a 200
Gas y petróleo	200 a 300
Petróleo	> 300

Kerogen	HI	Product
I	>600	Oil
II	300-600	Oil + gas
II/III	200-300	Gas + oil
III	50-200	Gas
IV	<50	None

**OI**

**100 x  
S3/TOC**

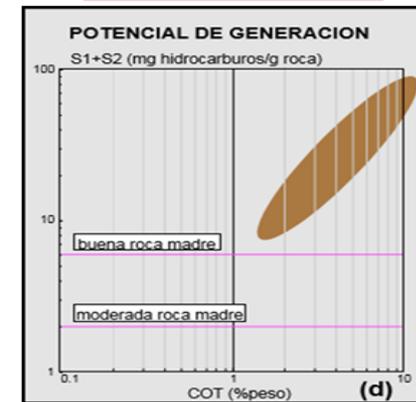
Valores altos de OI indican mayor potencial de generación de gas



**PG**

**(S1 + S2)**

La cantidad máxima de HC que podría originar una roca generadora suficientemente madura



# PIRÓLISIS (ROCK EVAL)

	Notación	Definición	Ecuación	Clasificación
Índice de producción	IP	Índice de producción	$\frac{S_1}{S_1 + S_2}$	<0,1 inmaduro 0,1-0,4 petróleo >0,4 gas
Tipo de kerógeno		Tipo de kerógeno	$S_2 / S_3$	<3 gas 3-5 gas/petróleo >5 petróleo
Índice de carbono reactivo		ICR (mg HC/g roca)	$\frac{(S_1 + S_2) * 10}{COI}$	Función de la madurez, para $R_o > 1,5\%$ o $T_{máx.} > 475^\circ C$ es poco significativo
Madurez térmica	$T_{máx.} (^\circ C)$	Temperatura del máximo del pico $S_2$		<435 Inmaduro 435-470 Maduro >470 Tardío

$$SPI = \frac{h (S_1 + S_2) d}{1000}$$

Donde:

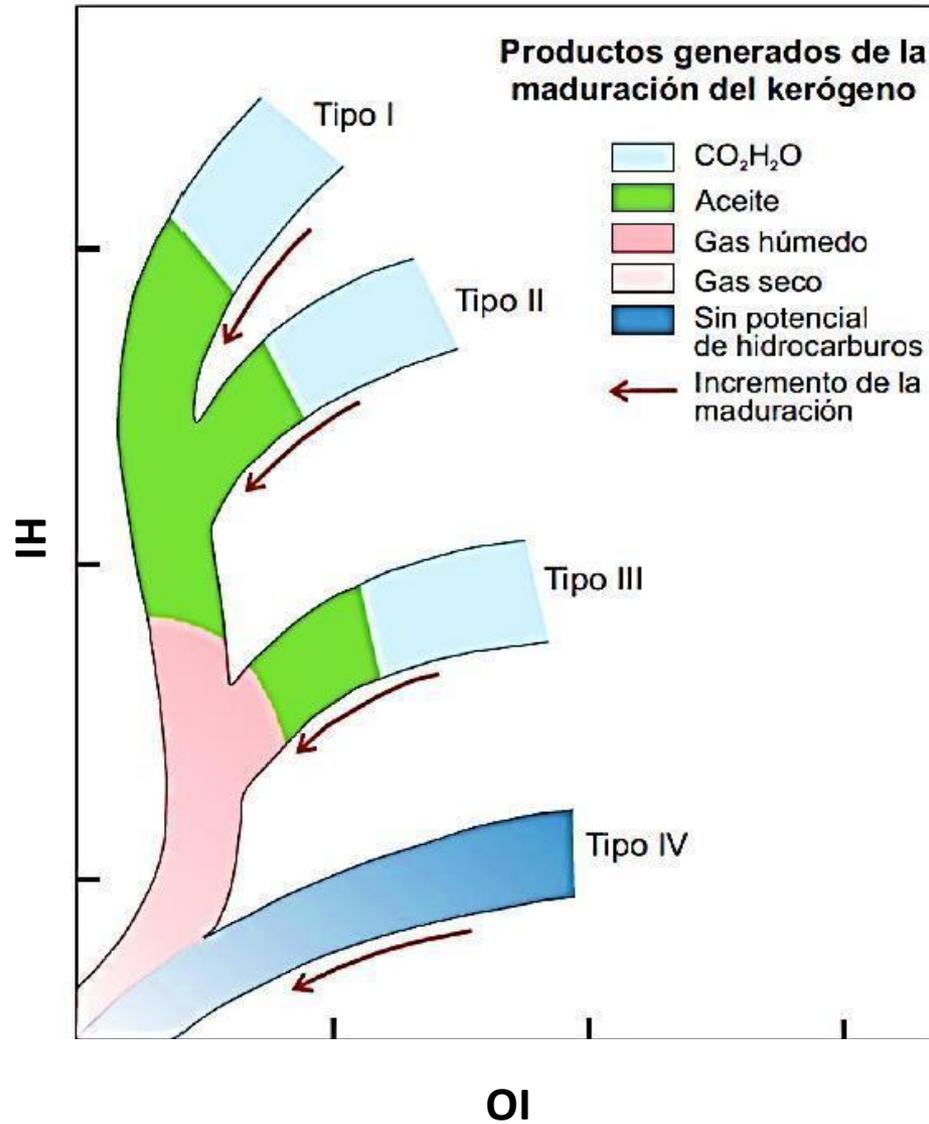
h : Espesor de la Roca Madre ( metros)

S1 + S2: (kg de hidrocarburos/ ton

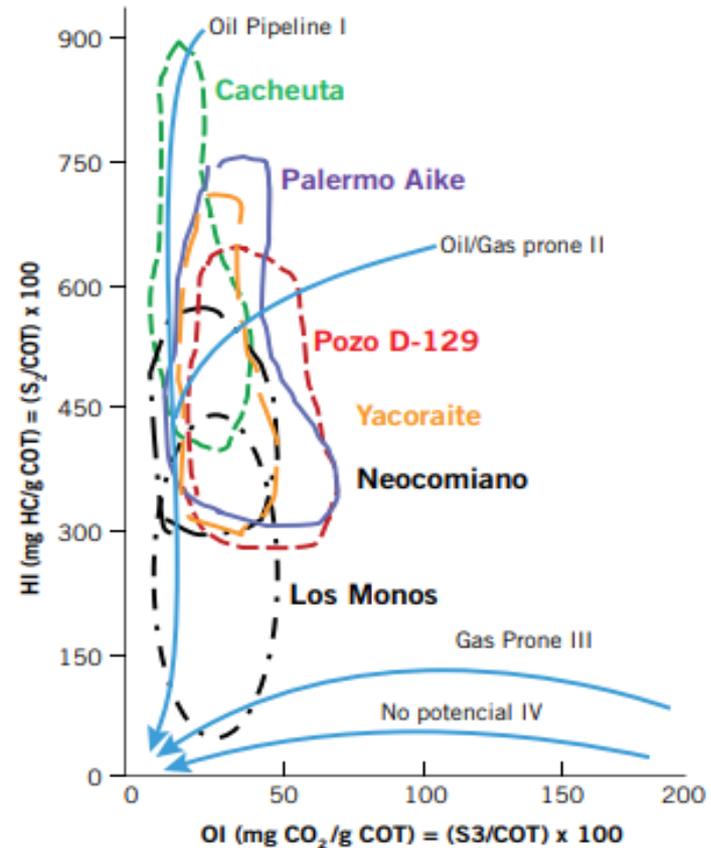
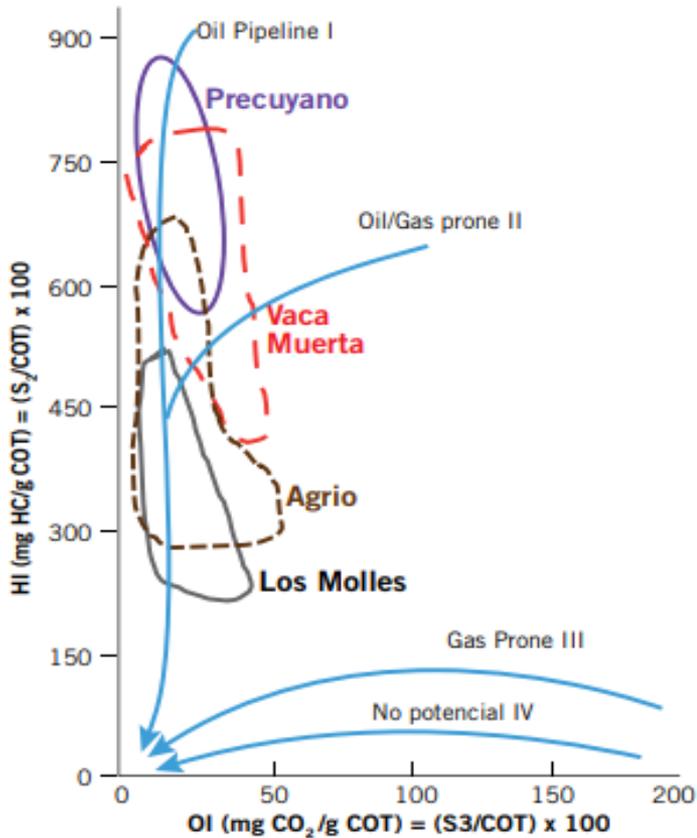
d : Densidad de la roca madre (tons/ m3).

Etapa	$T_{max}$
Inicio de la generación de petróleo	
Kerógeno Tipo I	~445°C
Kerógeno Tipo II	~435°C
Kerógeno Tipo III	~440°C
Inicio de la generación de gas	~460°C

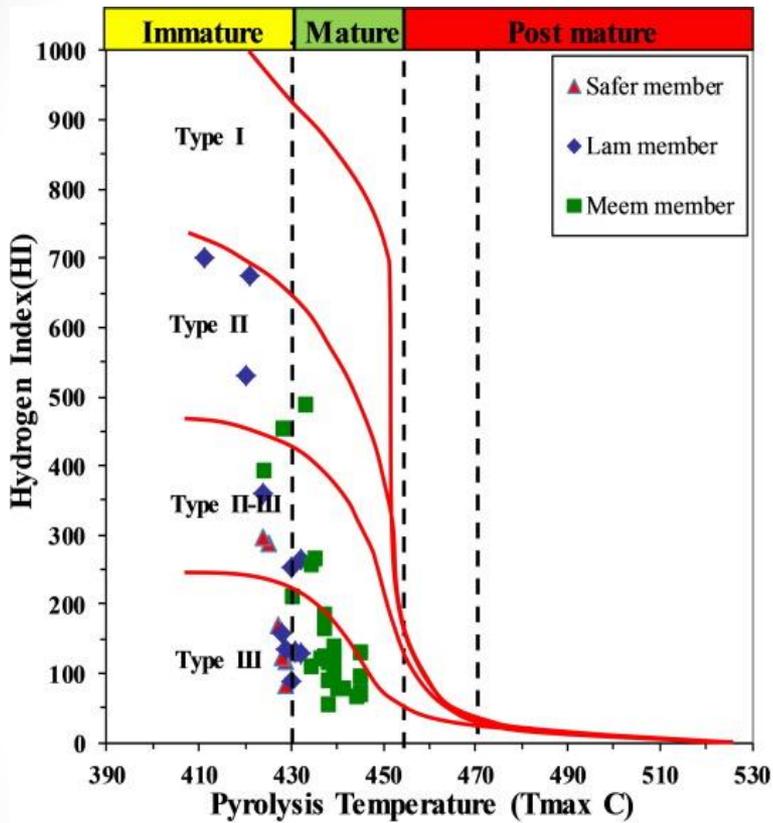
# Diagrama de Van Krevelen



# Tipo de Kerógenos (Ejemplos)



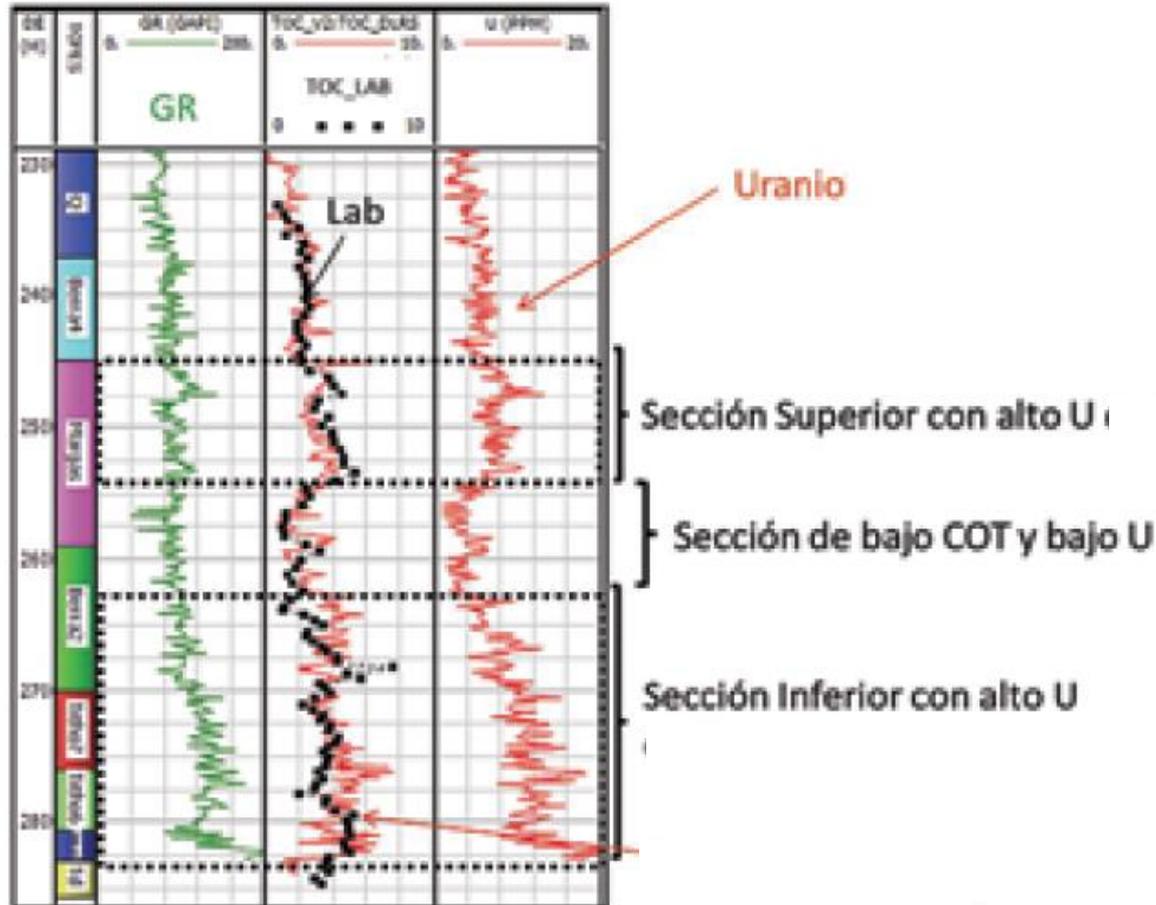
# %Ro y Tmax



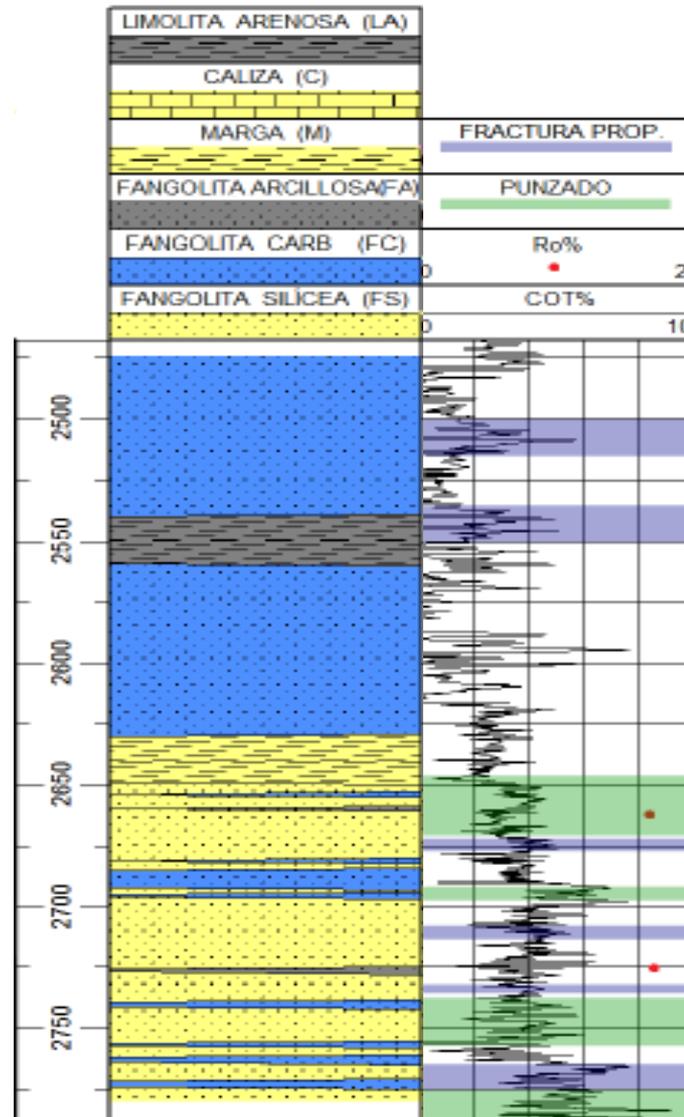
Madurez termal orgánica	Color de la materia orgánica	Ro%
Inmadura	(Lightest yellow)	0.2
	(Yellow)	0.3
	(Orange-yellow)	0.5
Madura (generación de hidrocarburos)	(Orange)	0.9
	(Dark orange)	1.3
	(Dark brown)	2.5
Gas seco	(Black)	> 2.5

RO % REFLECTANCIA DE LA VITRINITA	TIPO DE HIDROCARBURO
0-0.55	inicio de la generación
0.55-0.9	pico de la producción
0.9-1.1	gas húmedo
1.2-1.4	gas húmedo o gas seco
1.4-2.1	sólo gas seco
>2.1	CO2

# Correlaciones Importantes (GR-COT-U)



# Correlaciones Importantes (COT-Ro%)



# COT a partir de Registros Eléctricos

Passey et al. (1990). Henderson (1999)

$$D \log R = \log_{10} (R/R_{base}) + 0,02 (Dt - Dt_{base})$$

con

**D log R** = separación de los registros medida en ciclos logarítmicos

**R** = lectura de resistividad del intervalo de interés (ohm-m)

**R<sub>base</sub>** = resistividad de base tomada en los niveles arcillosos (ohm-m)

**Dt** = tiempo de tránsito del intervalo de interés (µseg/pie)

**Dt<sub>base</sub>** = tiempo de tránsito correspondiente a los niveles arcillosos (µseg/pie)

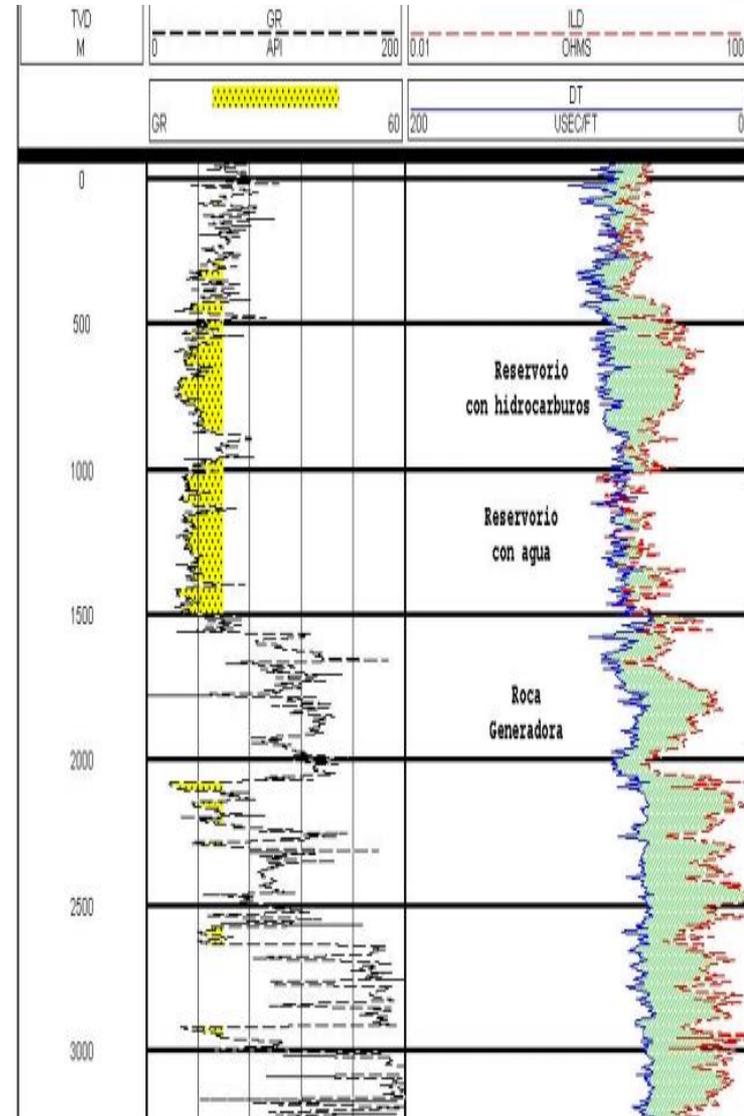
**0,02** = constante dada por la relación  $-50 \mu\text{pie}$  por ciclo de resistividad

$$COT = (D \log R) 10^{(2,297 - (0,1688 \times LOM))}$$

con

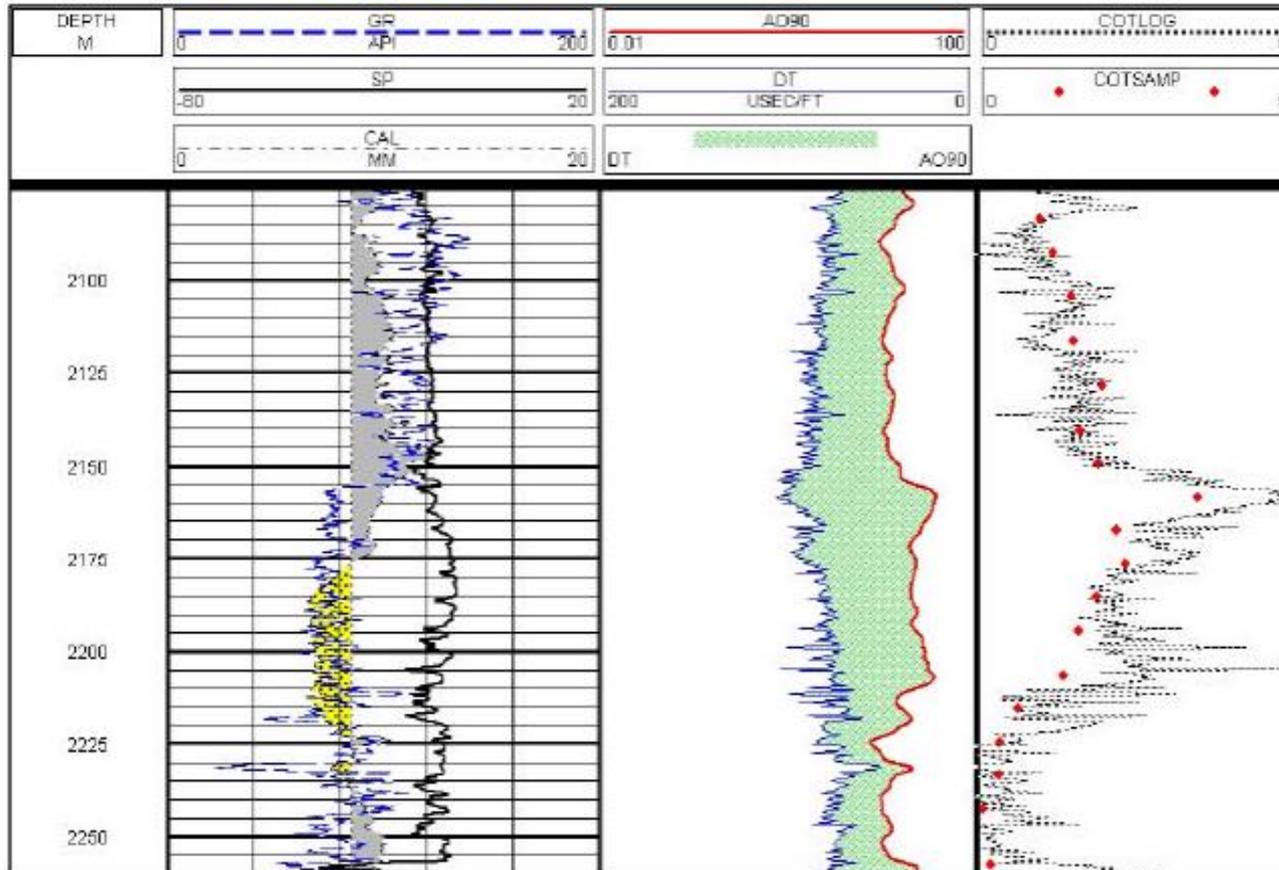
**COT** = medido en % en peso

**LOM** = nivel de metamorfismo orgánico



Nivel de metamorfismo orgánico se establece en base a la reflectancia de la vitrinita o con datos de laboratorio. Se puede obtener graficando los valores de S2 vs COT de laboratorio al valor que mejor ajustan se obtiene el LOM.

# COT a partir de Registros Eléctricos



Calibración de COT computados (COTLOG) Vs COT de Plugs (COTSAMP). (Fm. Los Molles; Las Chivas xp-1)

## COT a partir de Registros Eléctricos

***La densidad promedio del kerógeno*** suele estar en el orden de 1,28 g/cm<sup>3</sup> (Stankiewicz et al. 2015).

En el caso particular de la ***Formación Vaca Muerta***, un estudio realizado en la Cuenca Neuquina de pozos ubicados en la zona de gas seco reportaron densidad del kerógeno entre ***0,95 a 1,56*** g/cm<sup>3</sup> pero consideraron igualmente un valor promedio de ***1,28 g/cm<sup>3</sup>***

En cuanto a la densidad de matriz reportaron valores que oscilan entre ***2,54 y 2,66 g/cm<sup>3</sup>***.

Este es un parámetro muy importante para determinar ya que el kerógeno tiene una fuerte influencia en *la densidad total de la roca*. La presencia de kerógeno *disminuye la densidad de una roca* en comparación con una roca sin kerógeno.

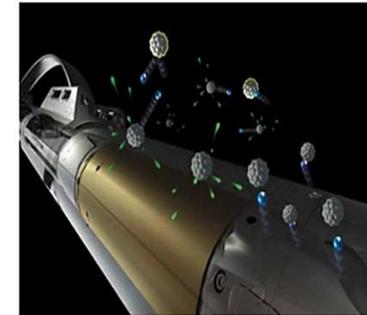
# COT a partir de Registros Eléctricos

## Espectroscopía de Rayos Gamma Inducida

Permite determinar de forma cuantitativa autónoma el COT, independiente del ambiente y el yacimiento.

La herramienta utiliza rayos gamma de captura para determinar las concentraciones de Al, Ca, Fe, Gd, K, S, Si y Ti, como lo hacen otras herramientas, pero también cuantifica las concentraciones de bario [Ba], cloro [Cl], hidrógeno [H], magnesio [Mg], manganeso [Mn], sodio [Na] y metales, tales como el cobre [Cu] y el níquel [Ni].

Elemento	Nombre del elemento	Captura	Inelástico
Al	Aluminio	●	●
Ba	Bario	●	●
C	Carbono		●
Ca	Calcio	●	●
Cl	Cloro	●	
Cu	Cobre	●	
Fe	Hierro	●	●
Gd	Gadolinio	●	
H	Hidrógeno	●	
K	Potasio	●	
Mg	Magnesio	●	●
Mn	Manganeso	●	
Na	Sodio	●	
Ni	Níquel	●	
O	Oxígeno		●
S	Azufre	●	●
Si	Silicio	●	●
Ti	Titanio	●	



# COT a partir de Registros Eléctricos

## Adquisición espectral

- Inelástica
- Captura

## Desdoblamiento espectral

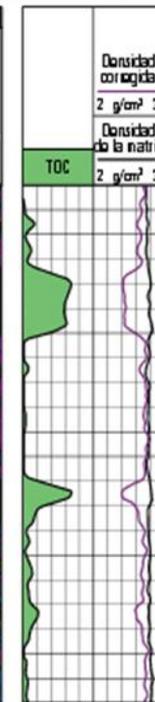
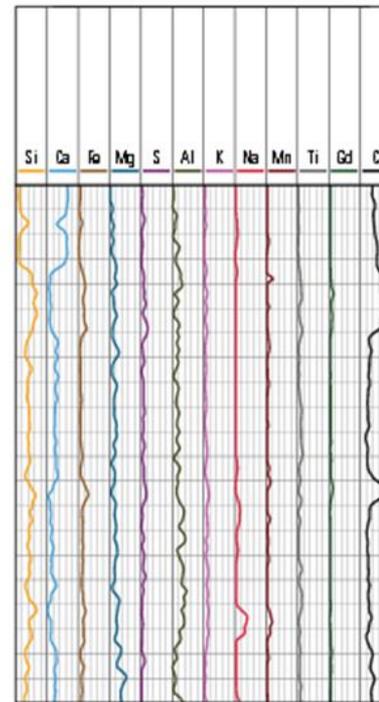
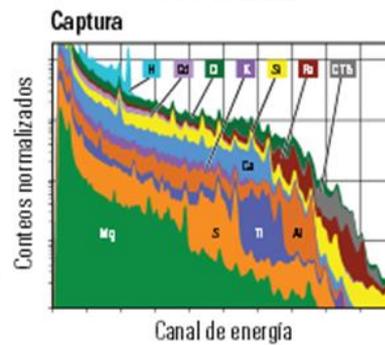
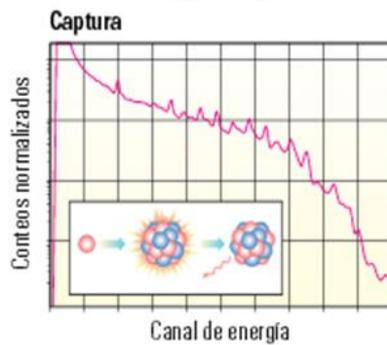
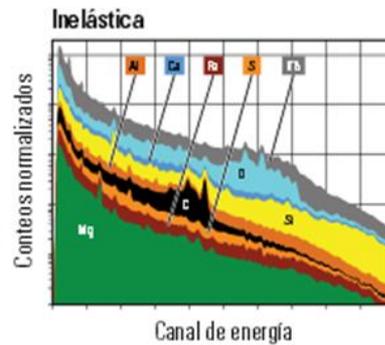
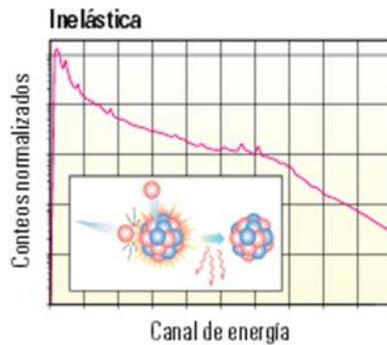
- Proporciones elementales

## Cierre de óxidos

- Fracciones elementales en peso

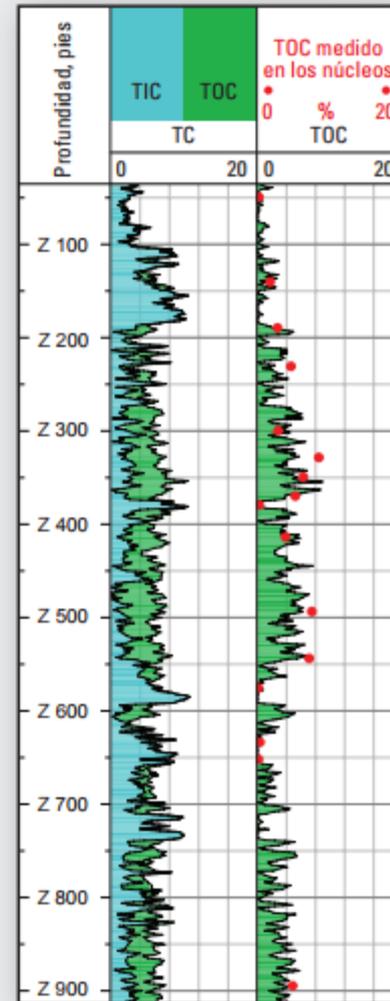
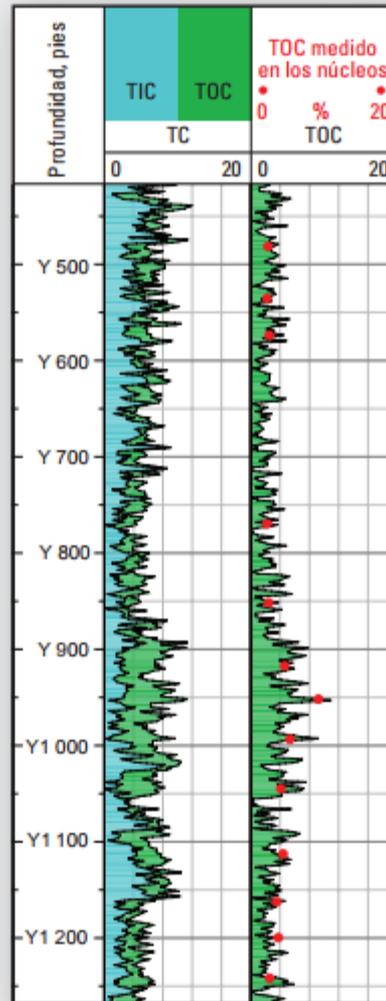
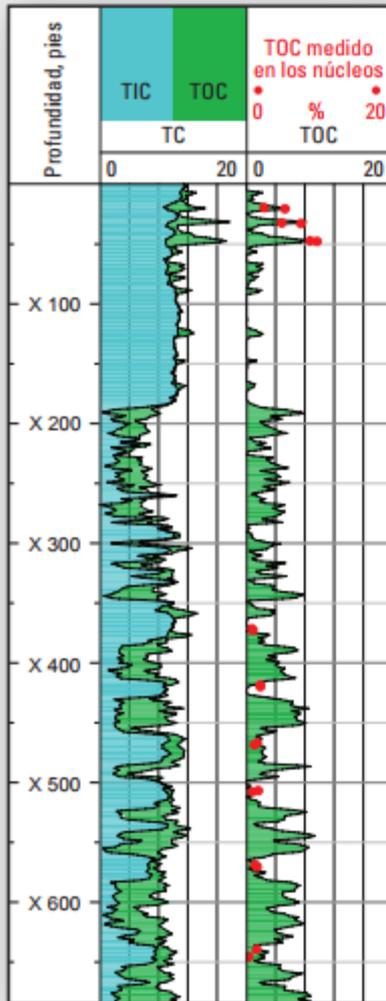
## Interpretación

- Minerales
- Carbono orgánico total (TOC)
- Propiedades de la matriz

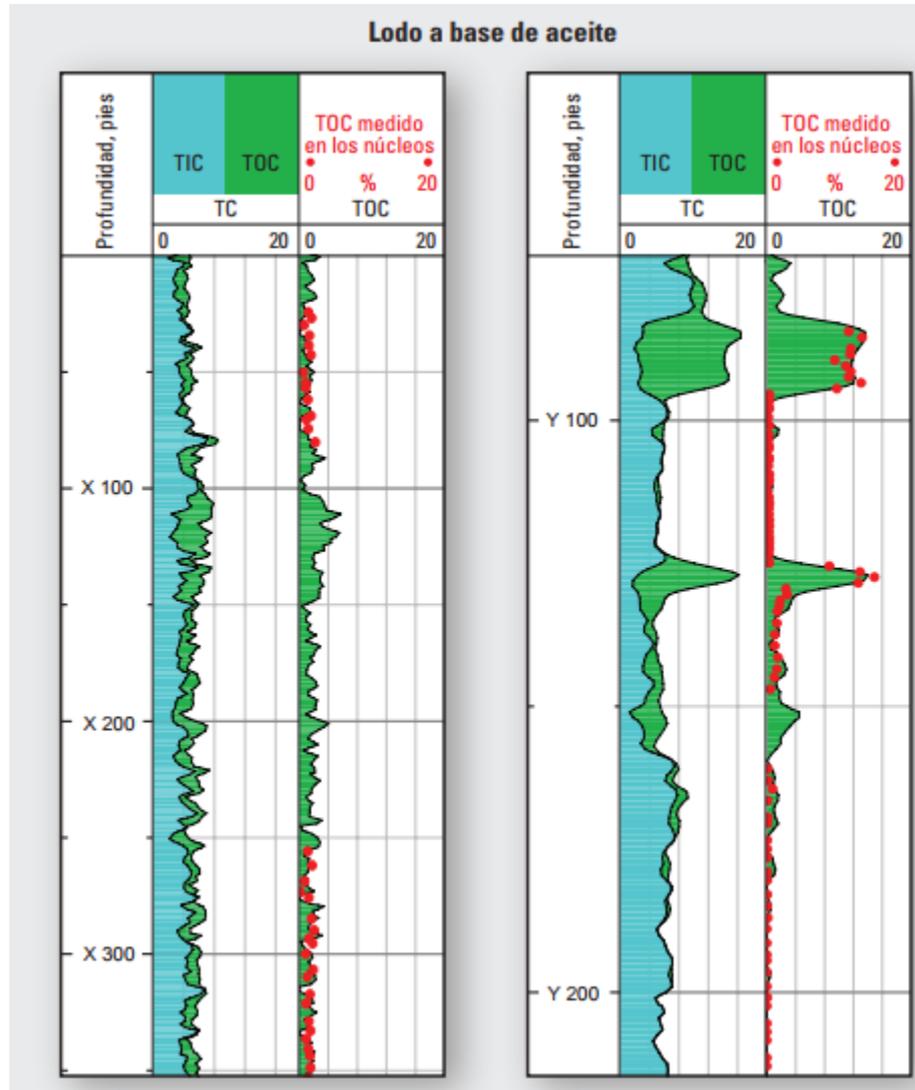


# COT a partir de Registros Eléctricos

Lodo a base de agua

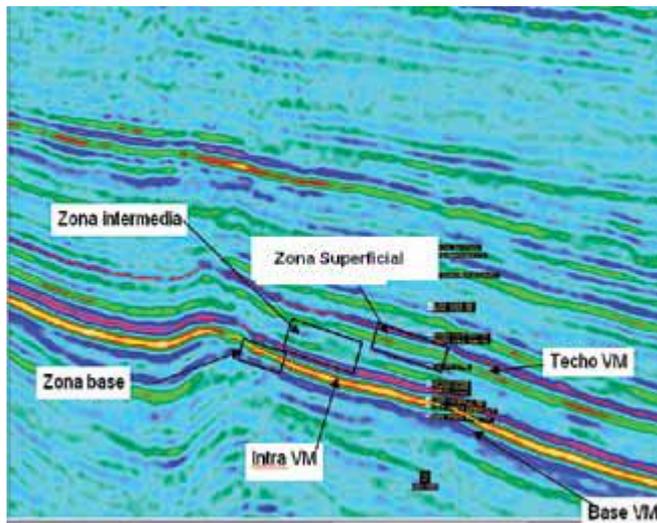


# COT a partir de Registros Eléctricos

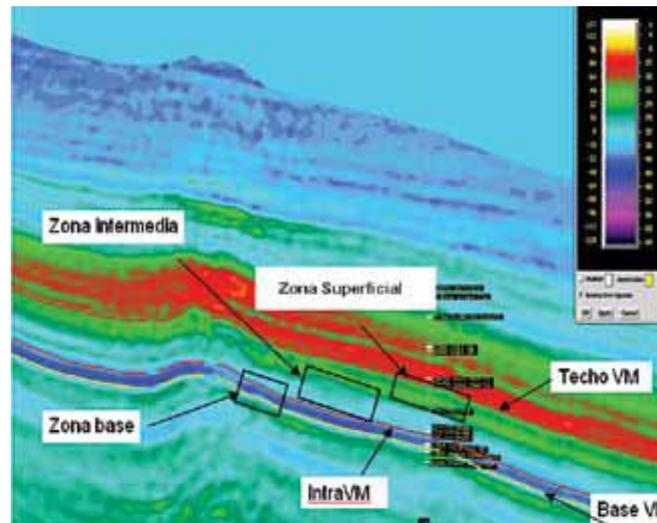


# COT a partir de Registros Eléctricos

La velocidad de las ondas acústicas en las rocas es afectada por diversos elementos, tales como litología, porosidad, contenido de fluidos, permeabilidad, campo de esfuerzos, etcétera, y también por el contenido de materia orgánica.



Línea Sísmica



Impedancia Acústica

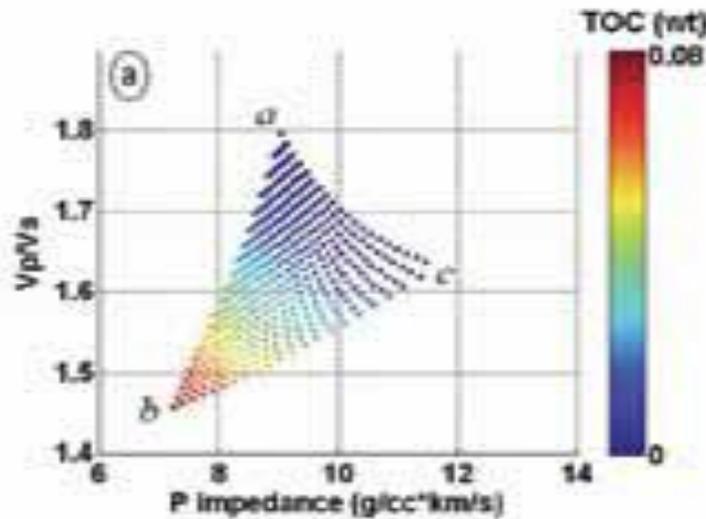
*José Luis Capuano, estudio de Vaca Muerta en campo Agua del Cajón, situado a 20 Km al oeste de la ciudad de Neuquén (2014).*

# COT a partir de Registros Eléctricos

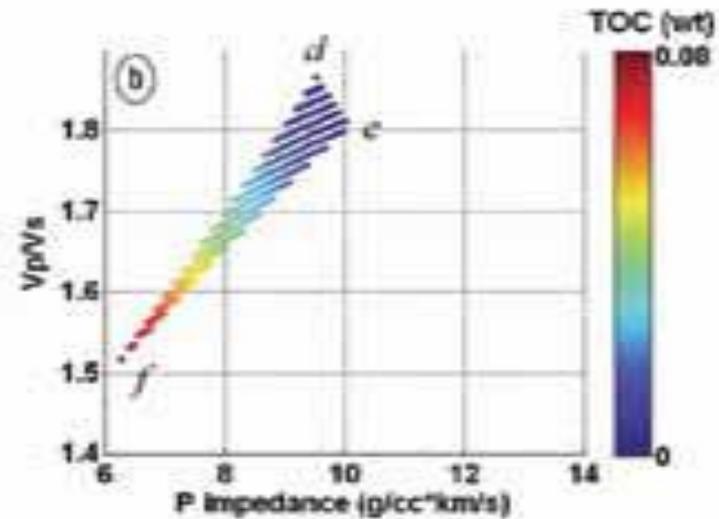
Analizó el comportamiento de la impedancia y velocidad respecto del TOC, para *shales* ricas en silicio y en arcilla.

↓ (Vp/Vs) mayor COT

↑ (Vp/Vs) menor COT



**Rocas Ricas en Silicio**



**Rocas Ricas en Arcilla**

En ambas, el mayor TOC está relacionado con bajas impedancias. En las rocas ricas en silicio, las variaciones de impedancia y Vp/Vs son mayores que en las rocas ricas en arcilla. Puntos a-c y d-e.