

# DIAGÉNESIS

- DEFINICIÓN
- LÍMITES Y ETAPAS
- P y T EN LA DIAGÉNESIS
- INDICADORES DE T
- FLUIDOS EN LA DIAGÉNESIS

# DEFINICIÓN

Se aplica a todos los cambios en el carácter y composición del sedimento desde el momento en que se deposita y hasta que alcanza el estado metamórfico o es erosionado

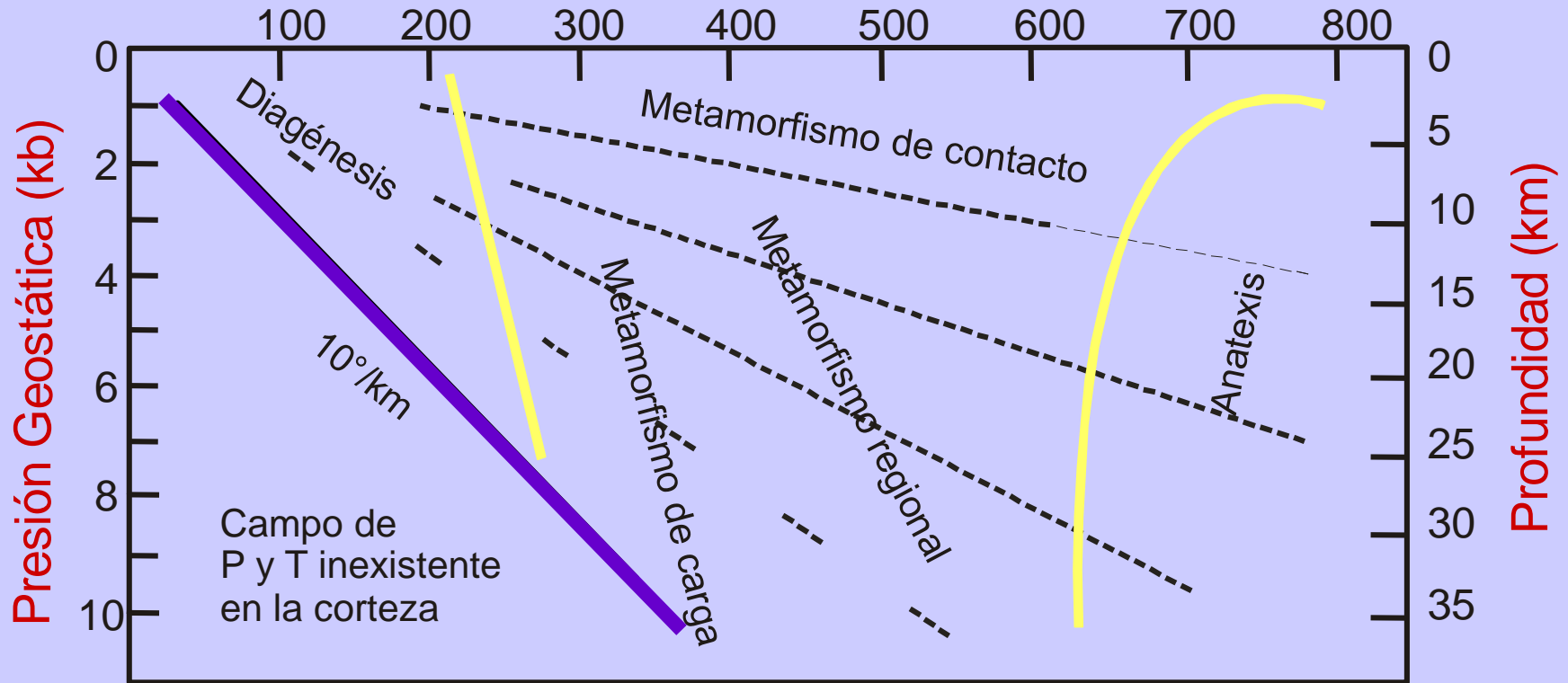
- ◆ Noción de equilibrio en el “sistema roca-fluido”
- ◆ Transformación de sedimento en roca sedimentaria

# El Sistema Roca-Fluido

- Se encuentra fuera de equilibrio termodinámico
- Sufre cambios que tienden a llevar el sistema a dicho equilibrio, como la disolución de ciertos minerales y precipitación de otros
- Esto se refleja, por ejemplo, en la formación de porosidad secundaria o en la precipitación de cementos
- Las condiciones físico-químicas cambian a medida que el soterramiento progresa y el sistema vuelve a desequilibrarse

# LÍMITES DE LA DIAGÉNESIS

Temperatura (°C)



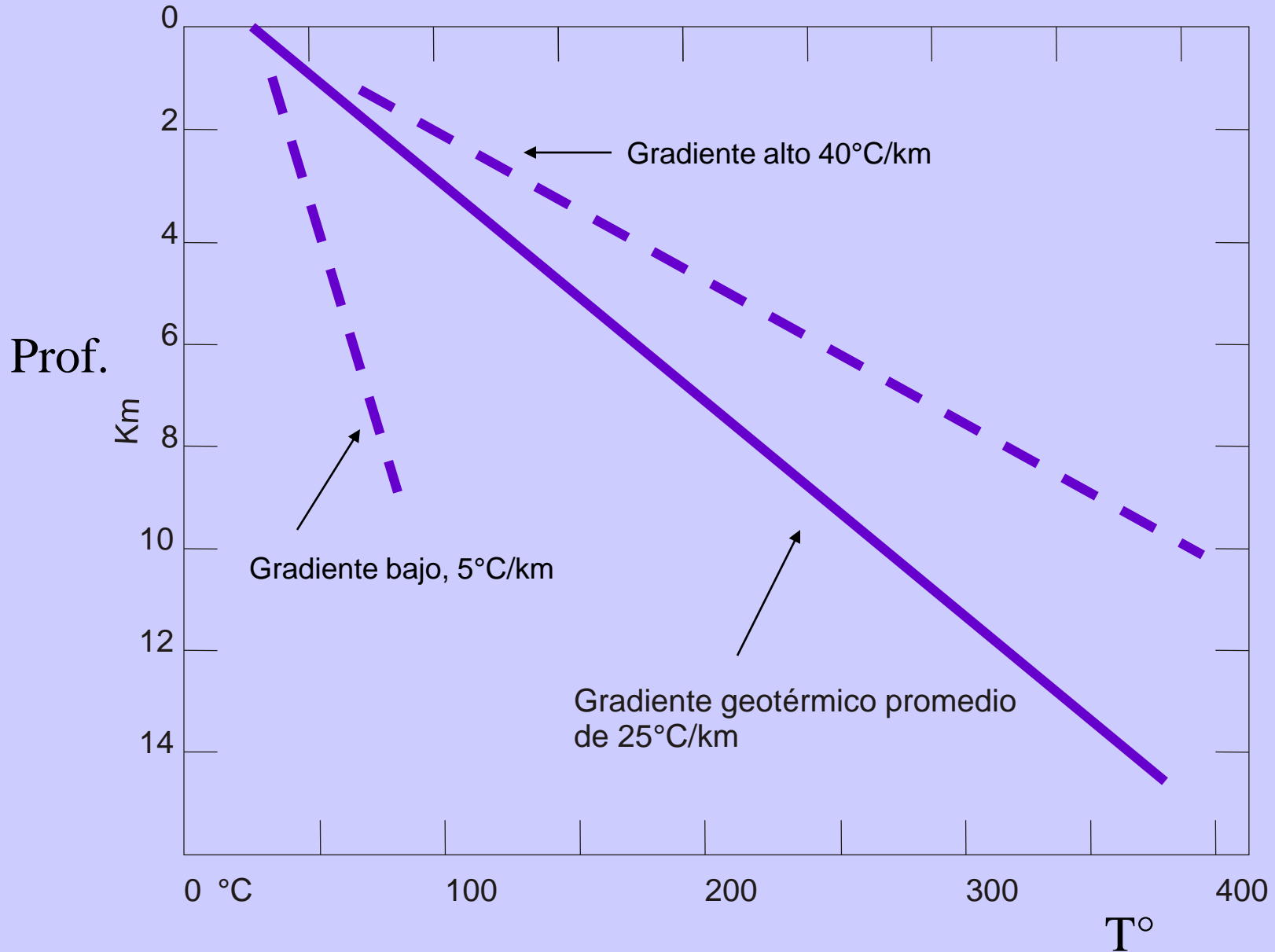
El límite entre la diagénesis y el metamorfismo de muy bajo grado está expresado por cambios mineralógicos y texturales

# Criterios para establecer un límite

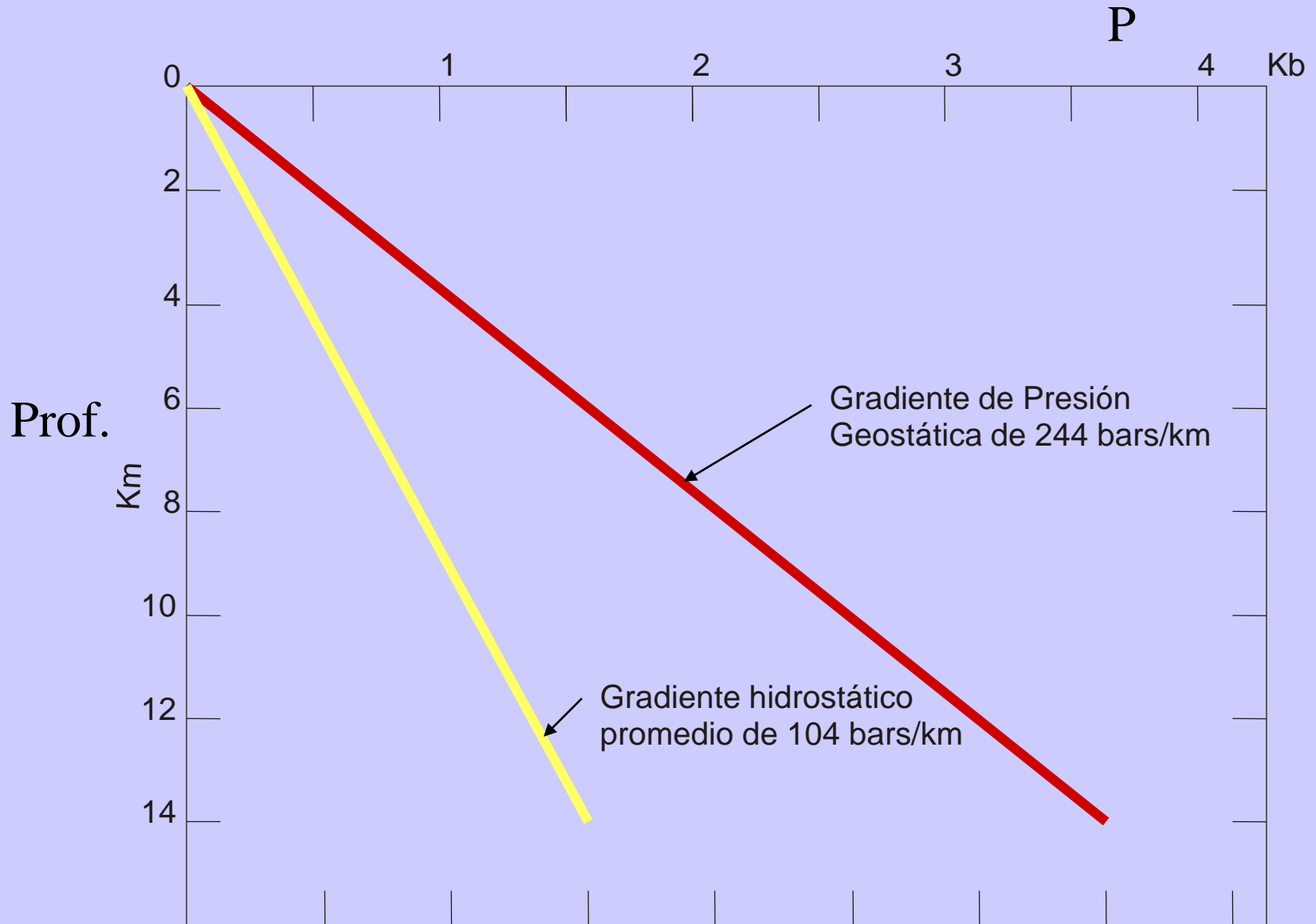
El límite entre la diagénesis y el metamorfismo de muy bajo grado (superdiagénesis-anquimetamorfismo):

- Cambios mineralógicos y texturales
- Cristalinidad de illita (pico de 10 Å en los difractogramas)
- Ceolitas (Prehnita, Pumpellita)
- Recristalización de los minerales físis

# T en la DIAGÉNESIS



# P en la DIAGÉNESIS



# ETAPAS DE LA DIAGÉNESIS (Choquette y Pray, 1970)

- eogénesis (superficie - 75°C)
- mesogénesis (75°C - 200°C)
- telogénesis (levantamiento hasta la meteorización)



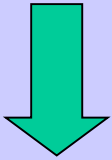
| <b>AUTOR</b>                | <b>ESTADO</b>  | <b>DESCRIPCIÓN</b>   |
|-----------------------------|--|--|
| Choquette y Pray (1970)     | Eogenético<br>Mesogenético<br>Telogenético   | Sepultamiento somero<br>Sepultamiento profundo<br>Ascenso y erosión  |
| Dunoyer de Segonzac (1970)  | Diagénesis temprana<br>Diagénesis media<br>Diagénesis tardía<br>Diagénesis de ankizona | Sepultamiento somero<br>Sepultamiento profundo<br>T > 100 °C<br>Transición a metamorfismo  |
| → Schmidt y McDonald (1979) | Eodiagénesis<br>Mesodiagénesis<br>Telodiagénesis                                       | Diagénesis en amb. deposit.<br>Sepultamiento profundo<br>Alzamiento tectónico  |
| Fairbridge (1983)           | Sindiagénesis<br>Anadiagénesis<br>Epidiagénesis  | Sincrónica con depositación<br>Sepultamiento profundo<br>Alzamiento tectónico  |
| Singer y Müller (1983)      | Estado presepultamiento<br>Estado sepultam. somero<br>Estado sepultam. profundo        | En presencia de O <sub>2</sub><br>Conversión de fango a pelita<br>Conversión pelita a argilita   |
| Burley et al. (1985)        | Eogénesis<br>Mesogénesis<br>Telogénesis  | En ambiente depositacional<br>Sepultamiento profundo<br>Alzamiento tectónico   |
| Pettijohn et al. (1987)     | Estado 1<br>Estado 2<br>Estado 3<br>Estado 4<br>Estado 5<br>Estado 6                   | En ambiente depositacional<br>Sepultamiento pocas 10 m<br>Sepultamiento aprox. 1000m<br>Miles de metros, plegam. ?<br>Muy bajo metam. o alta diag.<br>Alzamiento |

# Indicadores de la T° a la cual estuvo sometida una roca

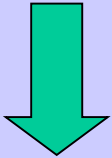
- **Carbón (tipos)**
- **Reflectancia de vitrinita**
- **Índice de alteración térmica de palinomorfos**
- **Color de los conodontos**
- **Inclusiones fluidas**
- **Isótopos estables**
- **Asociaciones de minerales**

# Serie del Carbón durante la diagénesis

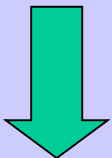
Turba



Lignito



Carbón Bituminoso



Antracita

- Aumenta el contenido de C y disminuye la humedad
- Disminuye el contenido de hidrógeno
- Disminuye el contenido de volátiles
- Se oscurece y aumentan el lustre y la reflectividad de sus constituyentes
- Aumenta su valor calorífico

*Casi todas las rocas sedimentarias contienen algo de materia orgánica (en general <2%). La materia orgánica se transforma durante la diagénesis, se polimeriza y policondensa y forma **hidrocarburos solubles** y **kerógeno** (geopolímero), que es un compuesto insoluble en solventes orgánicos, de composición compleja.*

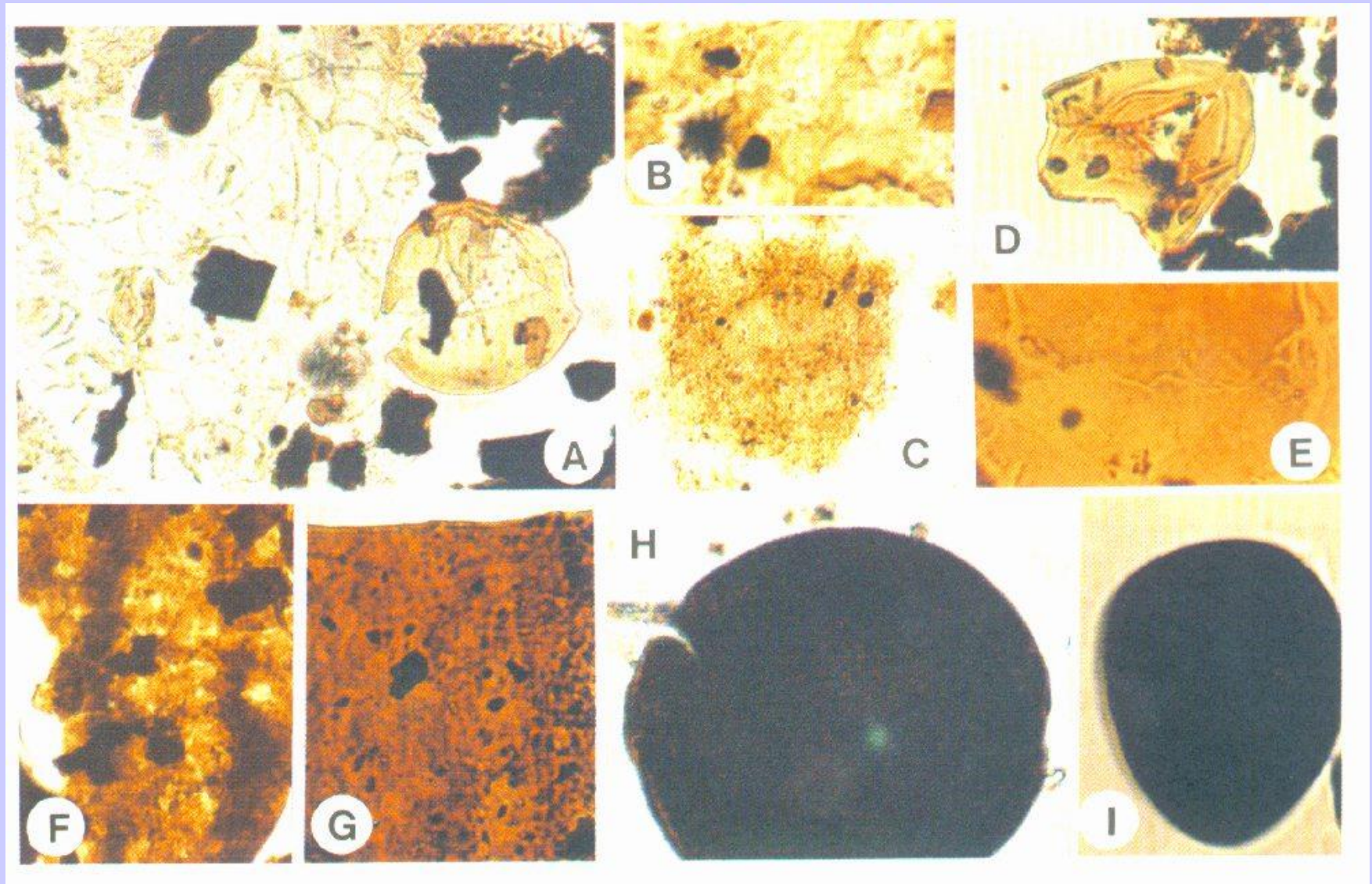
# La Reflectancia de la Vitrinita ( $R_o$ )

- El estudio de la reflectancia de uno de los componentes del kerógeno (la vitrinita) y su comparación con estándares permite conocer la temperatura máxima a la que estuvo sometida la roca
- Es de uso mucho más generalizado que el carbón

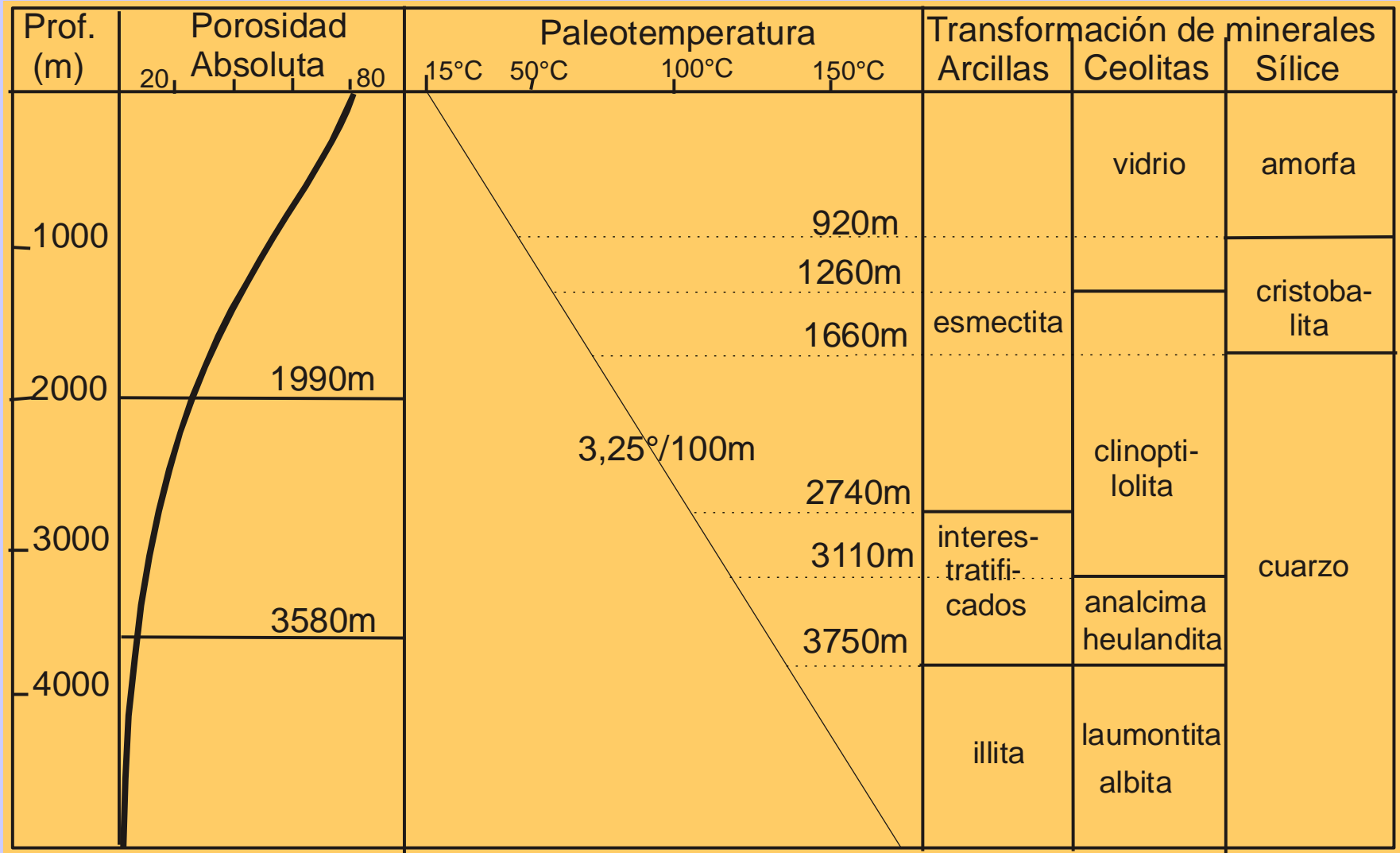


# El *índice de alteración térmica* de los palinomorfos (IAT ó TAI)

Los palinomorfos se vuelven más oscuros a medida que progresa la diagénesis



# Transformaciones de los minerales y asociaciones mineralógicas - Arco volcánico en el mar del Japón



## Secuencia de minerales

| MINERAL                 | ZONA | 1     | 2 | 3       |     | 4 |
|-------------------------|------|-------|---|---------|-----|---|
|                         |      |       |   | a       | b   |   |
| Vidrio síliceo          |      | • • • |   |         |     |   |
| Clinoptilolita alcalina |      |       | — | •       |     |   |
| Clinoptilolita cálcica  |      |       | — | —       |     |   |
| Mordenita alcalina      |      |       | — | •       |     |   |
| Mordenita cálcica       |      |       | — | —       | • • |   |
| Analcima                |      |       |   | ↓       | —   |   |
| Heulandita              |      |       |   | ↓       | —   |   |
| Laumontita              |      |       |   |         | ↓   |   |
| Feldespato potásico     |      |       | — | —       | —   |   |
| Albita de analcima      |      |       |   |         | ↓   |   |
| Plagioclasa albitizada  |      |       |   |         | —   |   |
| Opalo CT                |      | —     | • |         |     |   |
| Cuarzo                  |      |       | — | —       | —   |   |
| Montmorillonita         |      | —     | — | • • • • |     |   |
| Interestrat. 14 y 15 A  |      |       |   | —       | —   |   |
| Clorita                 |      |       |   | —       | —   |   |
| Illita                  |      |       |   | —       | —   |   |
| Prehnita                |      |       |   |         |     | — |
| Pumpellita              |      |       |   |         |     | — |



## Efecto del tiempo “geológico”

Como las transformaciones diagenéticas son cinéticamente lentas es muy importante el lapso durante el cual están activas.

## Otros Efectos

También afectan la salinidad, composición iónica y presión hidrostática de los fluidos.

*La aplicación conjunta de varias técnicas aumenta siempre la confiabilidad de los resultados.*

# Los Fluidos en la Diagénesis

- El agua es el principal agente de transporte de sustancias disueltas
- Satura a los sedimentos y es muy abundante en la diagénesis temprana

# Tipos de aguas

## *Oxigenación*

Óxicas = + de 2 ml/lit de oxígeno disuelto

Subóxicas = 0,2 a 2 ml/lit

Anóxicas = - de 0,2 ml/lit

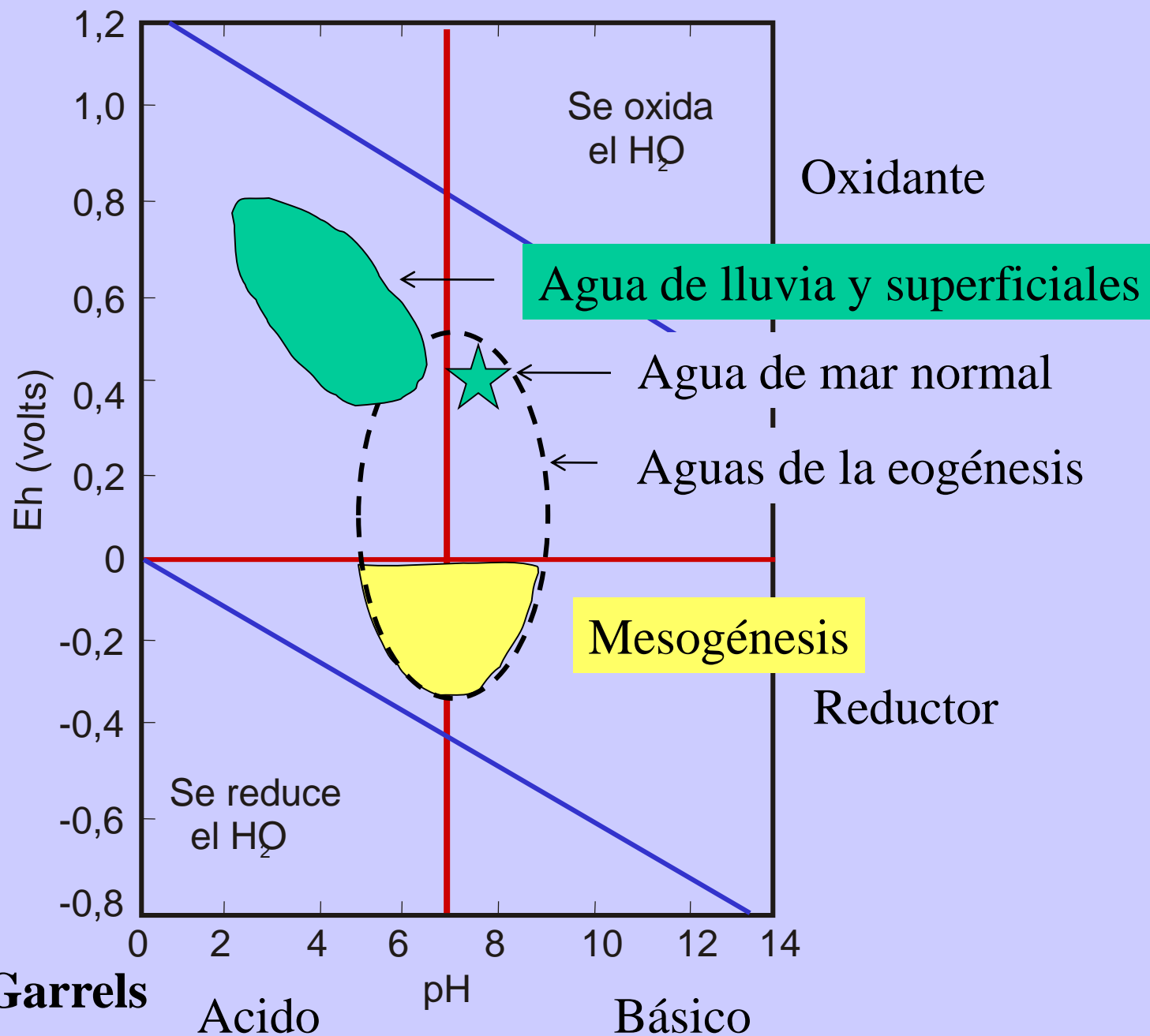
## *Salinidad*

Salmueras (Brines) = + de 3,5% de sales disueltas

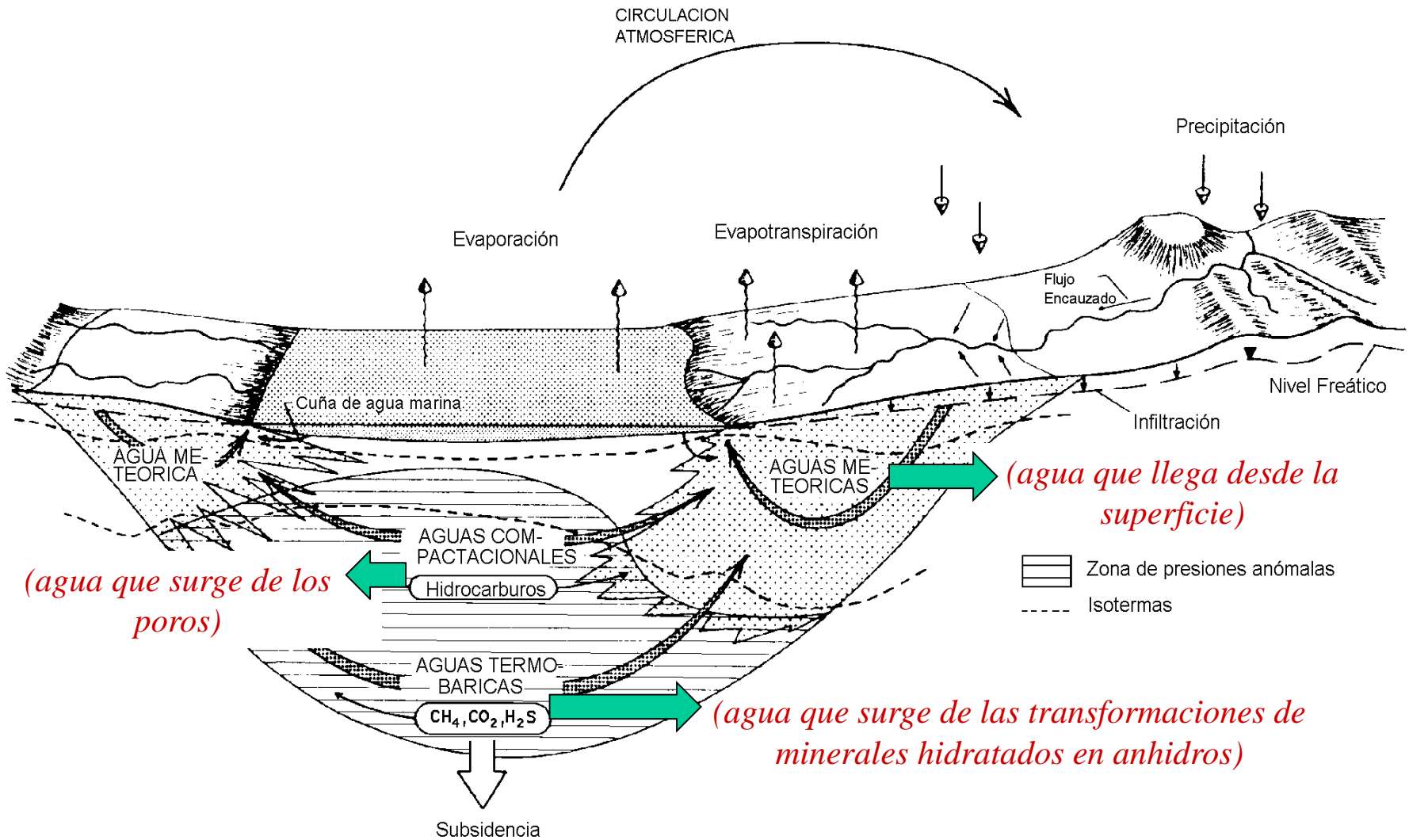
Salinas (saline) = 3,5 - 1%

Salobres (brackish) = 1 a 0,2%

Dulces (fresh) = - de 0,2%

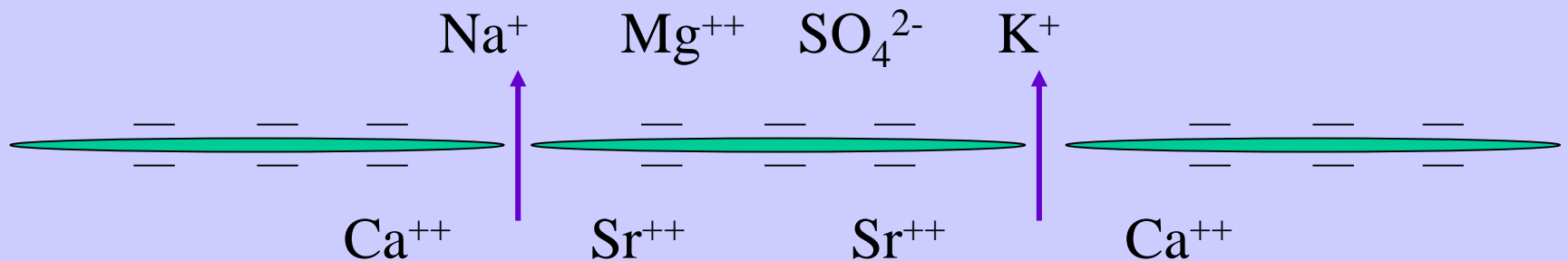


# Movimiento de los fluidos en el subsuelo



La disolución, la precipitación y las reacciones entre el fluido y el sedimento generan cambios en la composición de los fluidos.

En general los fluidos aumentan su salinidad fuertemente con la profundidad en una cuenca. Esto se debe al aumento de T que hace que los minerales sean más solubles y al efecto de tamiz químico que generan las formaciones arcillosas, que retienen a los cationes mayores o de más carga.



Las aguas de subsuelo (aguas de formación) tienen menos  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{K}^+$  que el agua de mar, pero más  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Sr}^{++}$  y sílice (en relación con el cloruro).

# Diagénesis en las Rocas

## Factores de Control

- Temperatura
- Presión
- Tiempo
- Química de los fluidos
- Composición del sedimento

# **Efectos de la Diagénesis en Areniscas**

- **Compactación (Eogénesis)**
- **Cementación (Eogénesis-Mesogénesis)**
- **Reorganización físico-química (Eo-Mesogénesis)**
- **Disolución (Ambas + telogénesis)**
- **Reemplazo y Recristalización (Ambas)**



# Compactación

*Es la pérdida de volumen de la roca (mayormente de poros) correlativa con el desarrollo de empaquetamientos más apretados debido a la carga de sepultamiento*

- **Compactación mecánica (1 km)**
- **Compactación química (1-6 km)**  
**(Eo-Mesogénesis) por presión-solución**

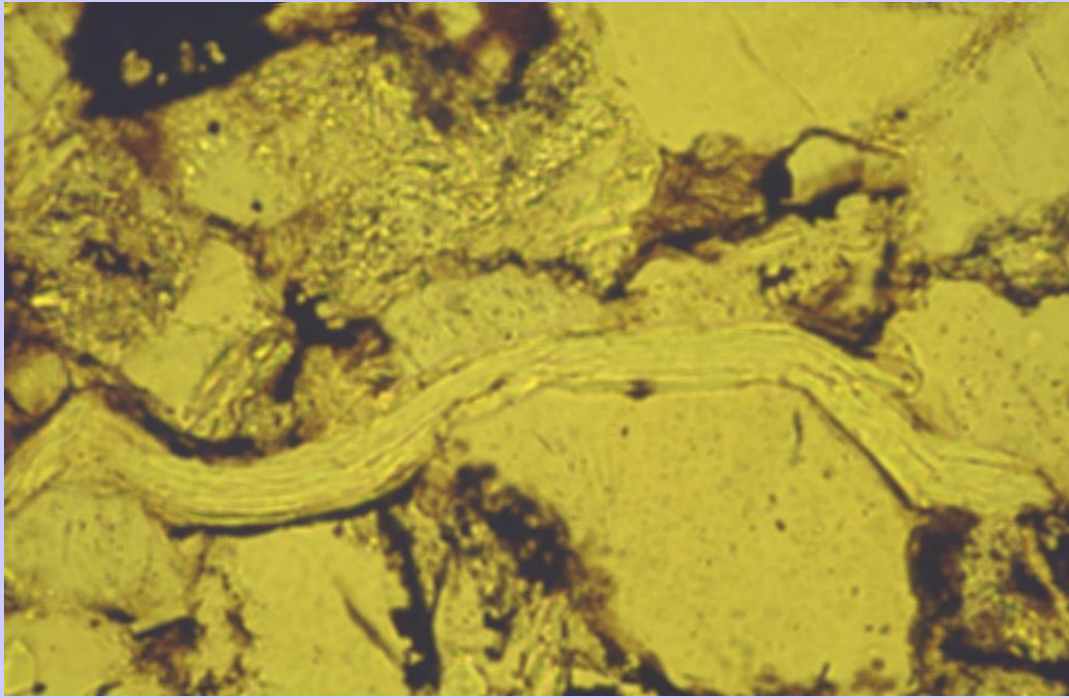
# **Mecanismos y controles de compactación mecánica y química**

## **Mecanismos**

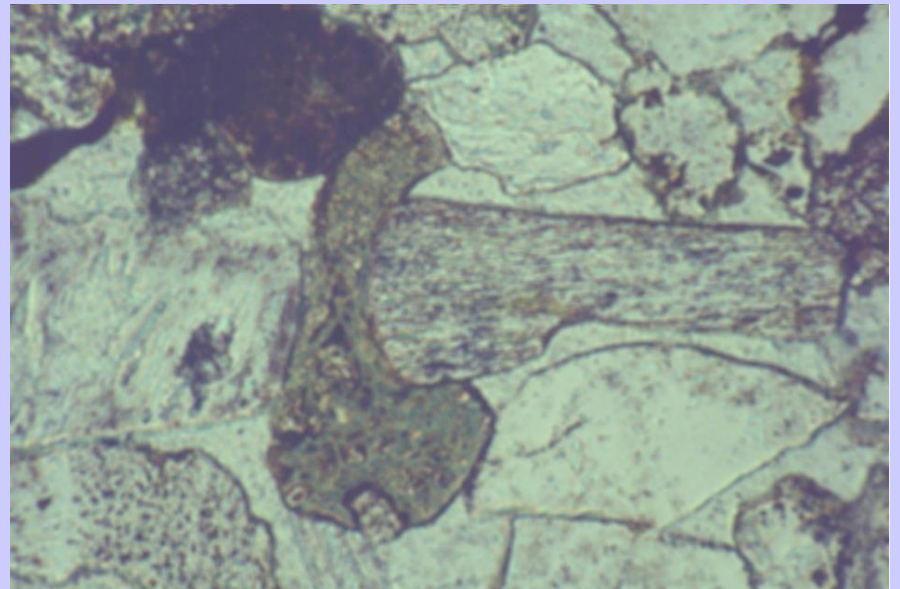
- **Deslizamiento**
- **Flexuración**
- **Fracturación frágil**
- **Deformación dúctil**
- **Presión solución**

## **Controles**

- **Composición**
- **Tamaño de grano**
- **Selección**
- **Forma de clastos**
- **Matriz**



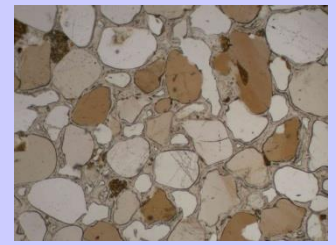
Flexuramiento de micas



Deformación de minerales dúctiles

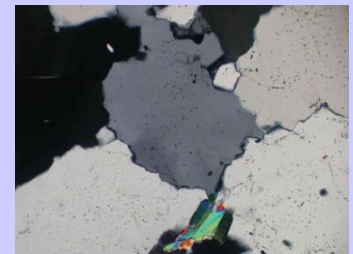
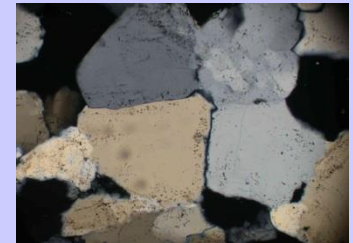
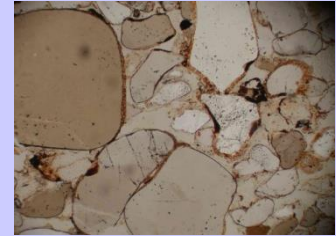
# Tipos de contacto entre los granos

- (Textura Flotante)



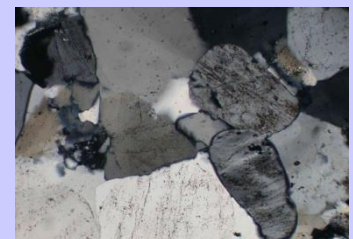
## Texturas resultantes de la compactación

- Contactos Tangenciales
- Contactos Rectos
- Contactos Cóncavo-Convexos
- Contactos Suturados

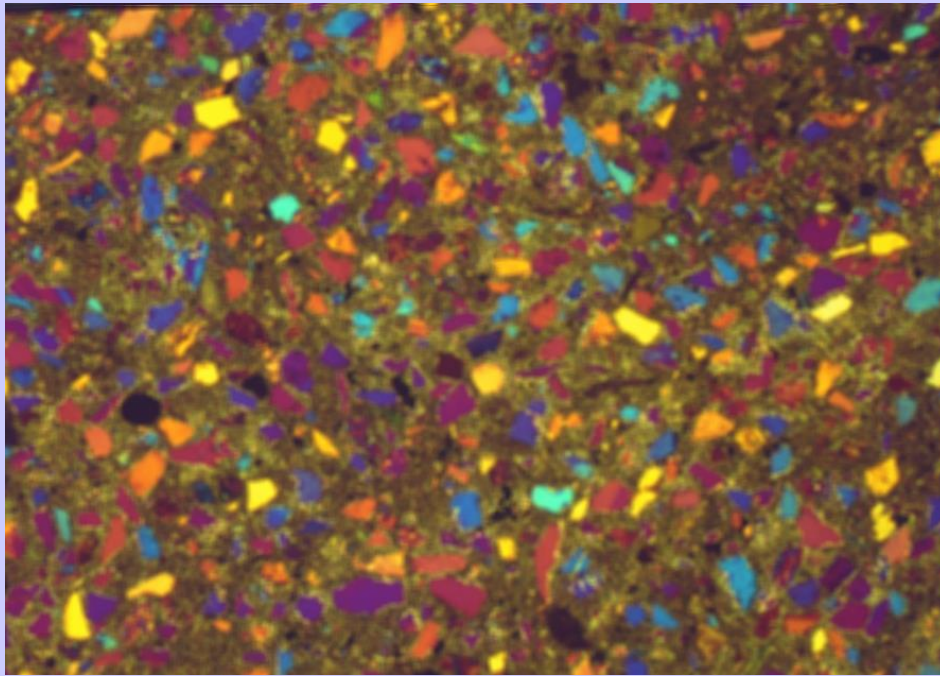


## Empaquetamiento de los granos

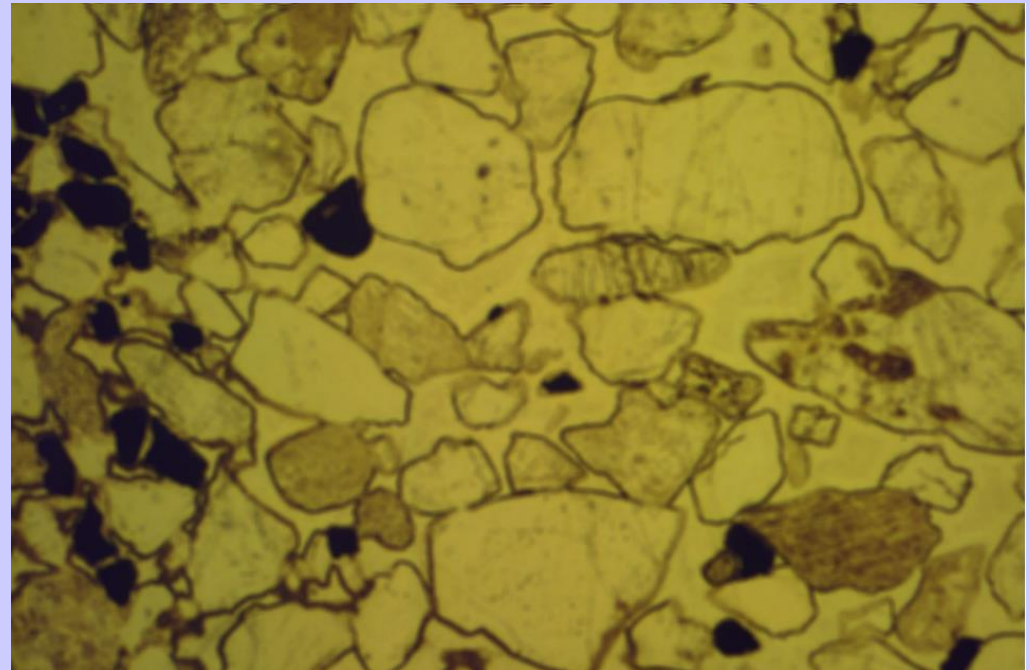
- De cúbico cambia a romboédrico



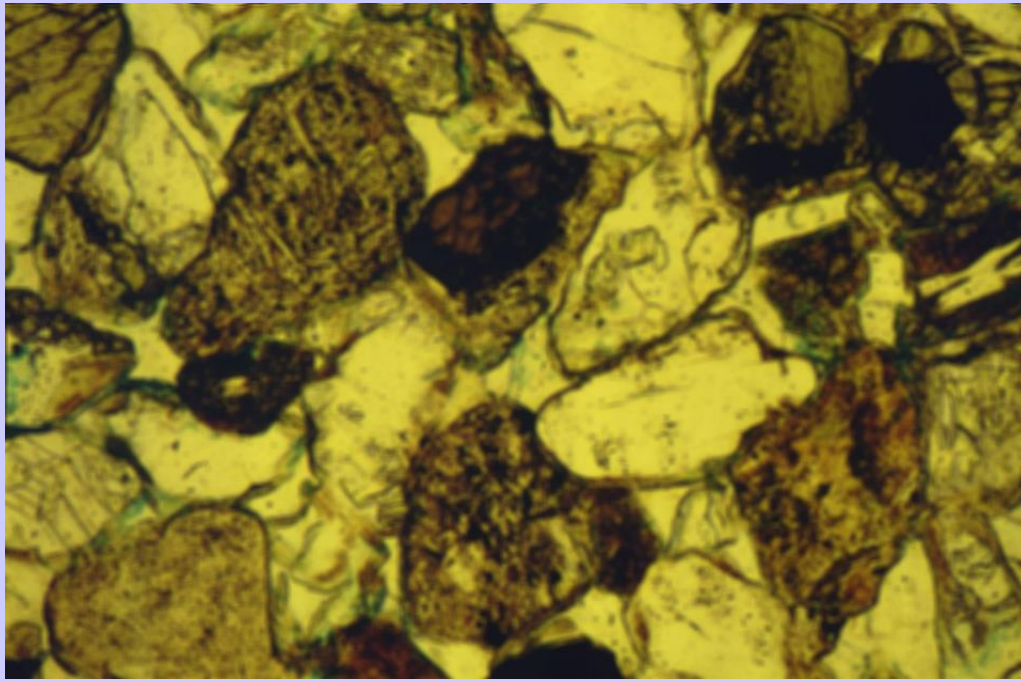




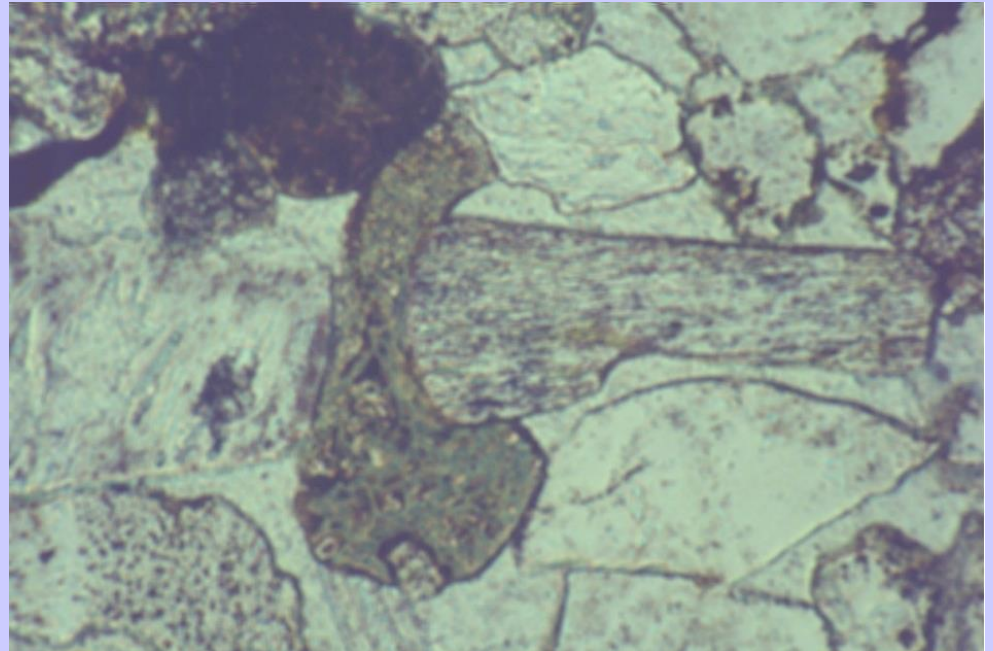
Textura flotante



Contactos tangenciales

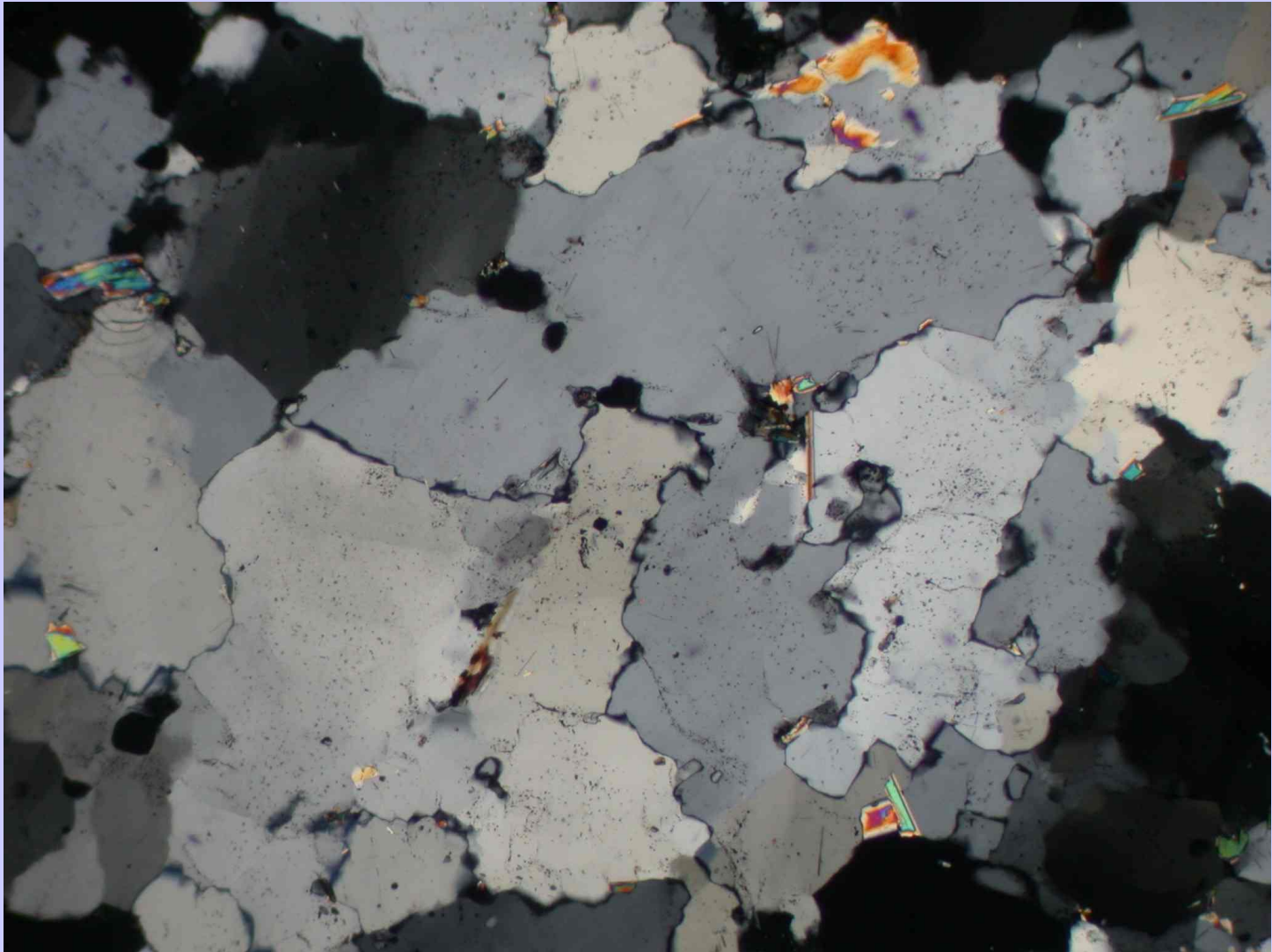


Contactos rectos

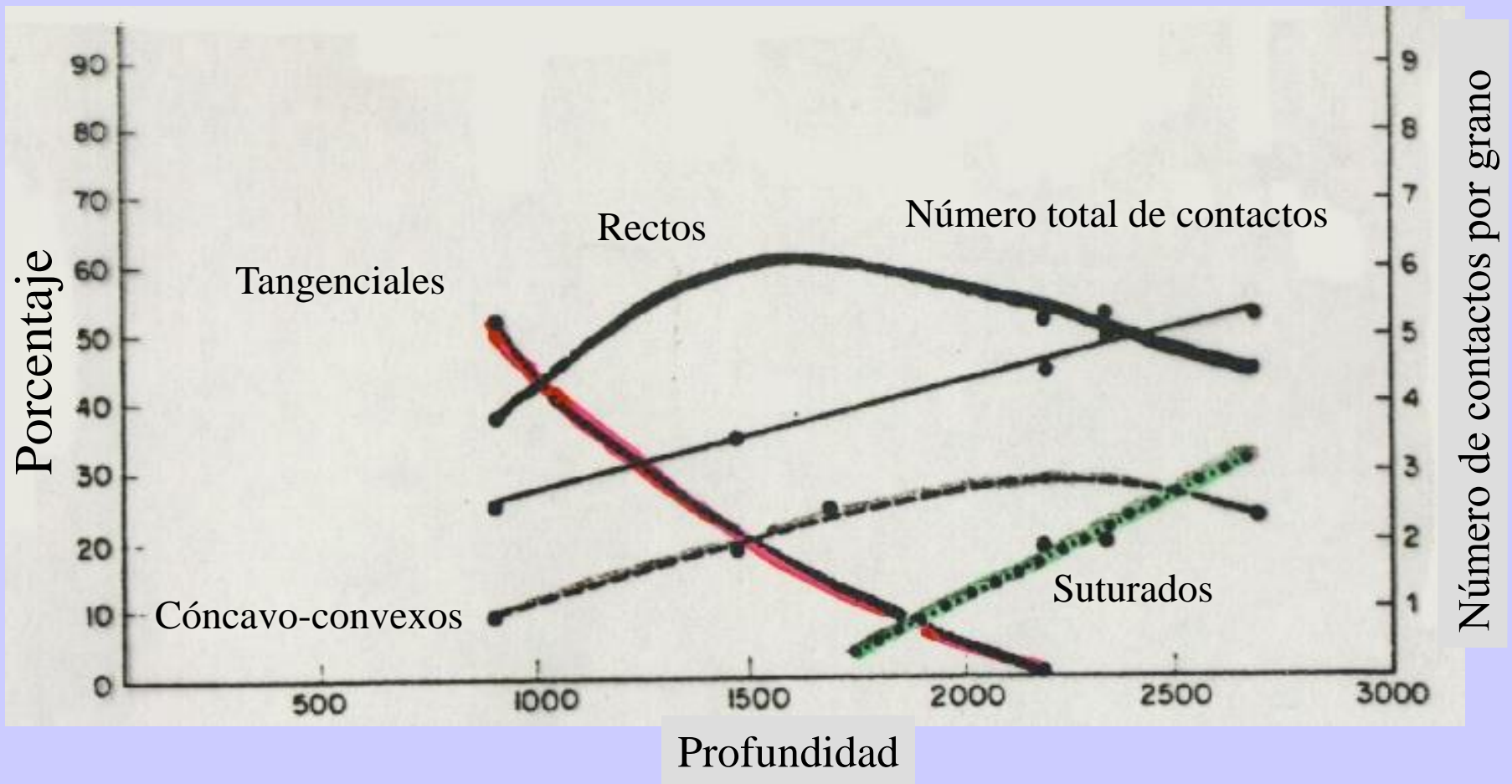


Contactos cóncavo-convexos





Contactos suturados



Relación entre la profundidad de enterramiento y el tipo de contactos entre granos



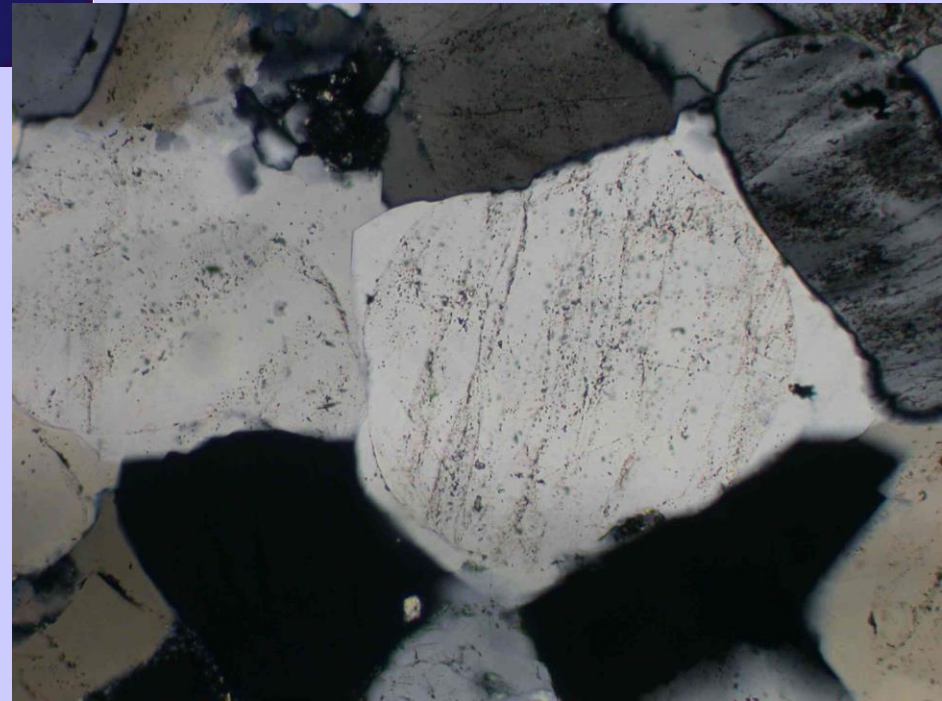
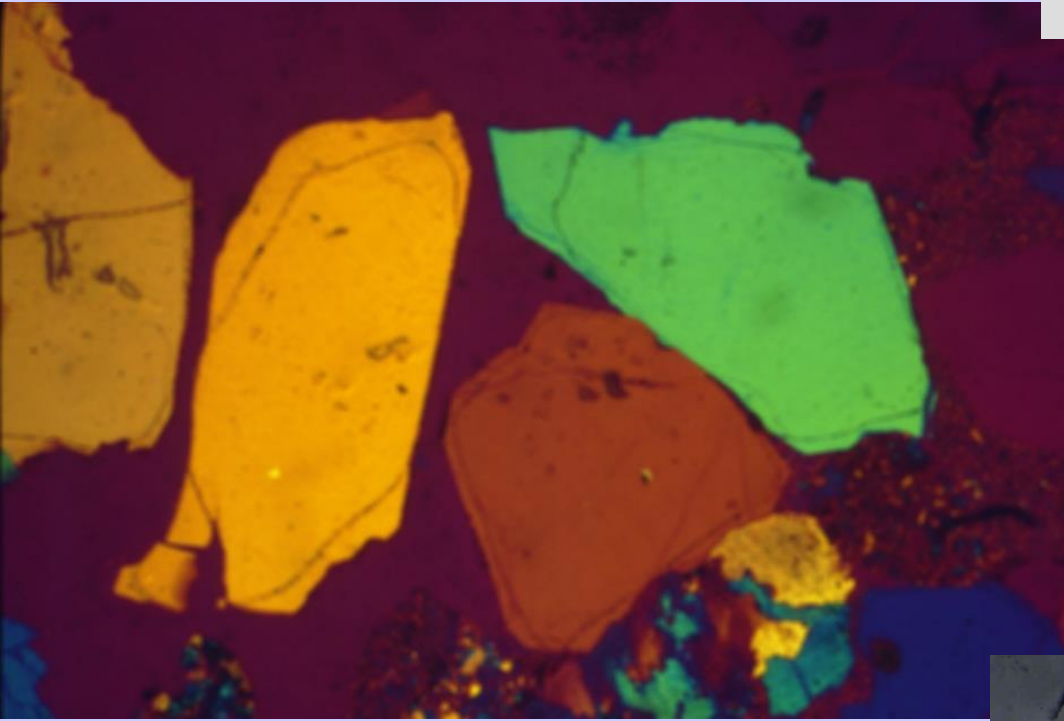
# Cementación

- **Naturaleza del proceso**
  - Precipitación por sobresaturación, control físico-químico (Eh, pH, composición de fluidos y de sólidos, T°, P).
  - Energía libre en la superficie de los cristales

- **Tipos de cementos**

- **Silíceos (ópalo, microcuarzo, crec. secundario)**
- **Carbonatos (calcita, dolomita, siderita)**
- **Óxidos de hierro (hematita, goethita)**
- **Arcillas**
- **Ceolitas**
- **Yeso, anhidrita, baritina, feldespato**

## Crecimiento secundario de cuarzo



*La eogénesis y la mesogénesis temprana son las etapas en las cuales hay mayor probabilidad de formación de cementos de cuarzo (a mayores profundidades son necesarias altas concentraciones de sílice en solución).*

## Fuentes de Sílice en la diagénesis

- Aguas meteóricas (13 ppm), pero más alta que el agua de mar,
- Disolución incongruente y transformación de silicatos (FK, Plg)
  - Disolución de esqueletos silíceos (radiolarios, diatomeas)
    - Disolución del vidrio volcánico
      - Cambio de esmectita a illita
      - Presión-solución

## Cemento Carbonático

Es un cemento común en areniscas

La calcita es el más común, seguido por la aragonita (en sedimentos Holocenos), dolomita, ankerita y siderita.

Los carbonatos se vuelven más insolubles a medida que aumenta la T.

Precipitan por aumento de la actividad del ión  $\text{Ca}^{2+}$  o del ión  $\text{CO}_3^{2-}$

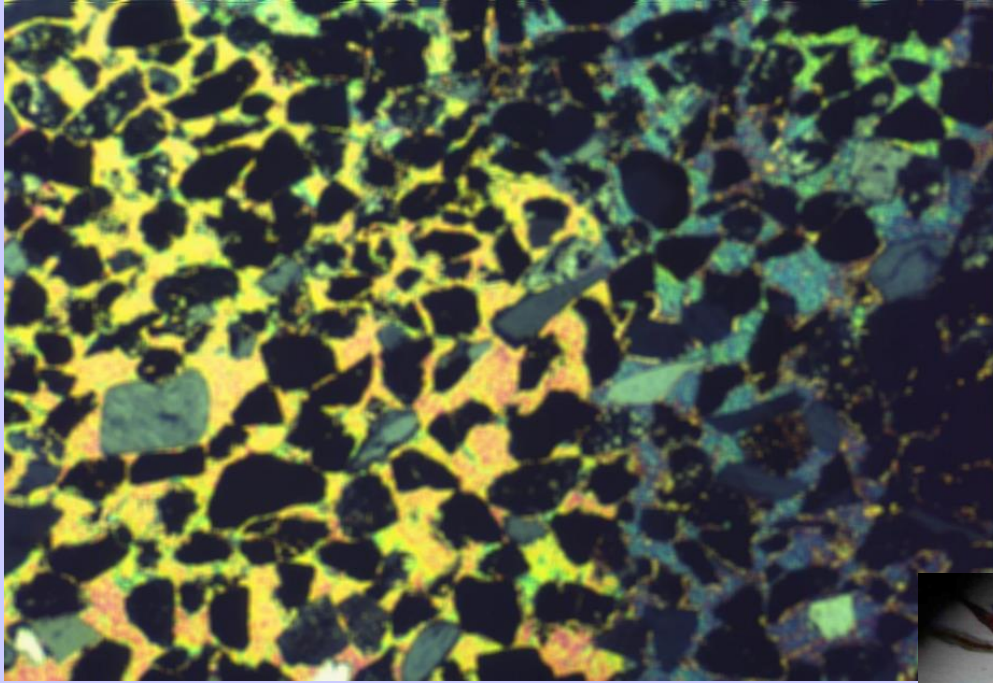
La calcita aparece en cristales de 20  $\mu\text{m}$  o mayores (esparita).

Puede ser poiquilotópica o mostrar crecimiento desplazante.

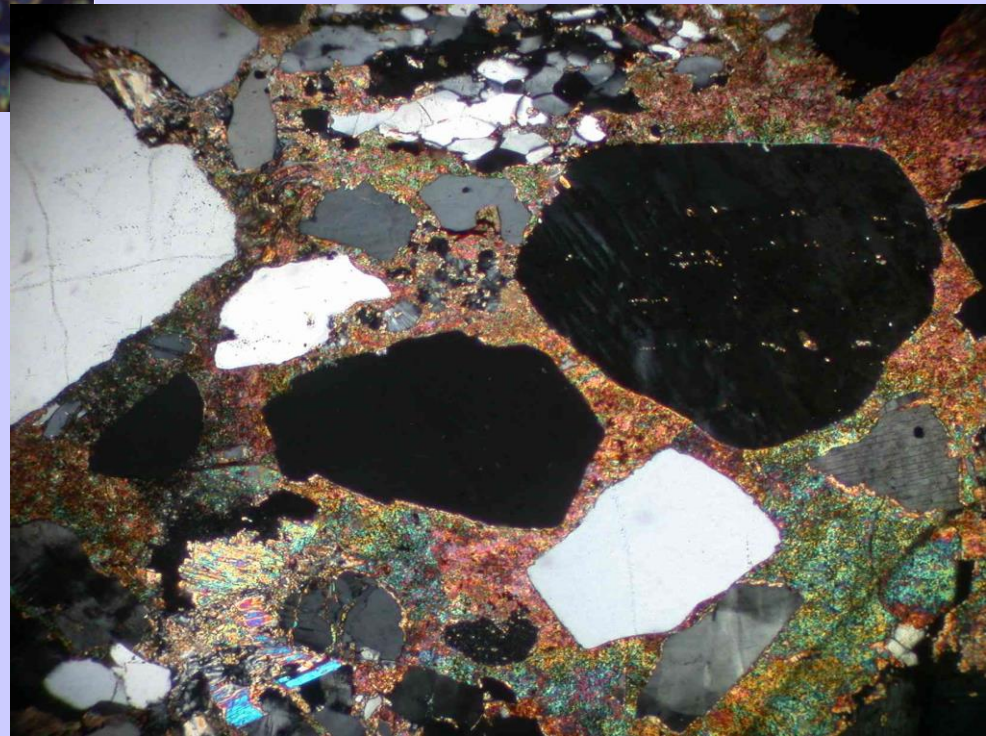
En general no superan el 30% en volumen de la roca, pero por corrosión de los granos puede generarse textura flotante con volúmenes mayores.



Cemento de calcita poikilotópico



Cemento de calcita esparítico



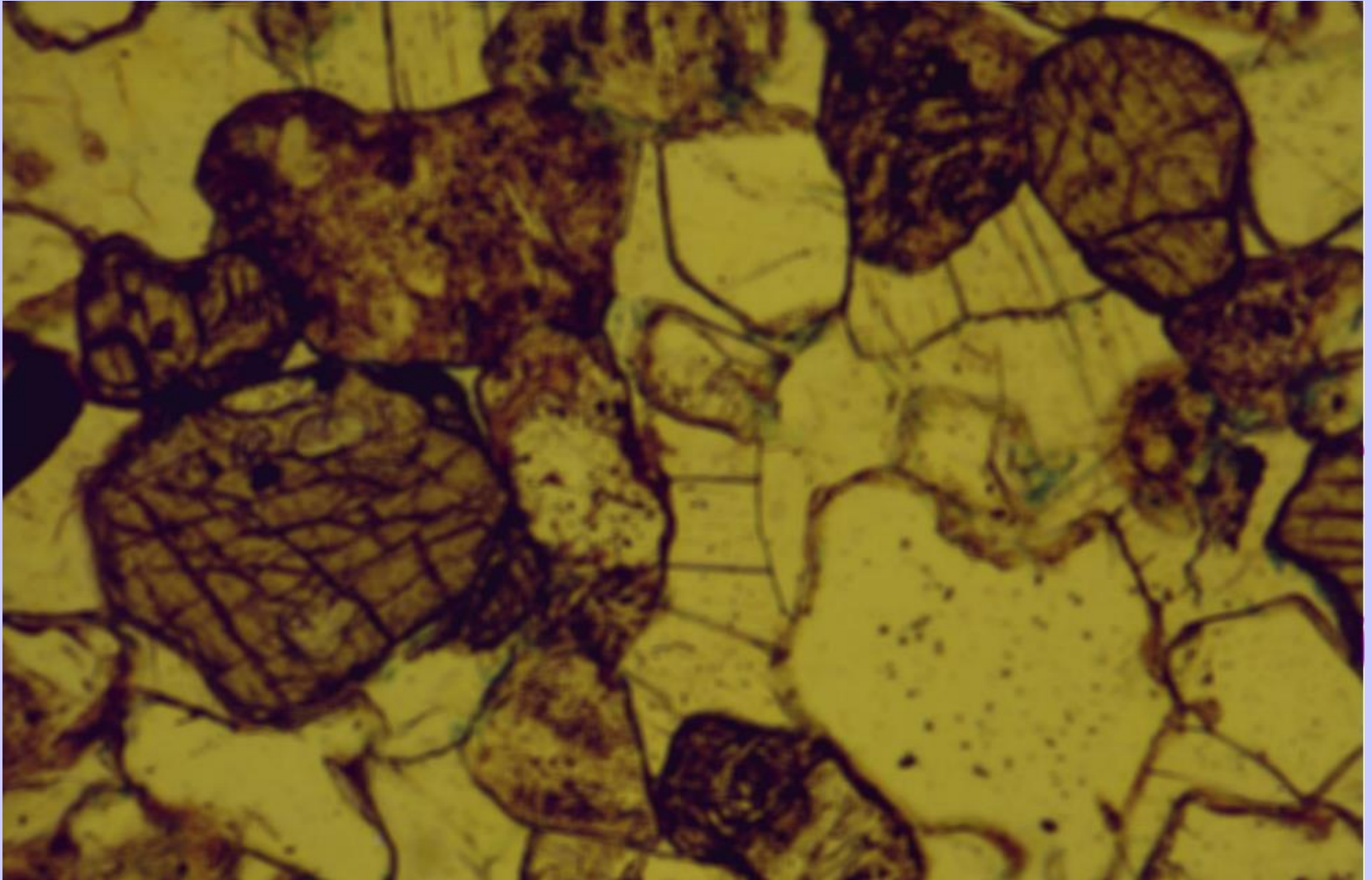
## Fuentes del Carbonato

La fuente más importante de iones bicarbonato es la oxidación de la materia orgánica.

También la disolución de calizas y de esqueletos carbonáticos aporta el Ca y el bicarbonato.

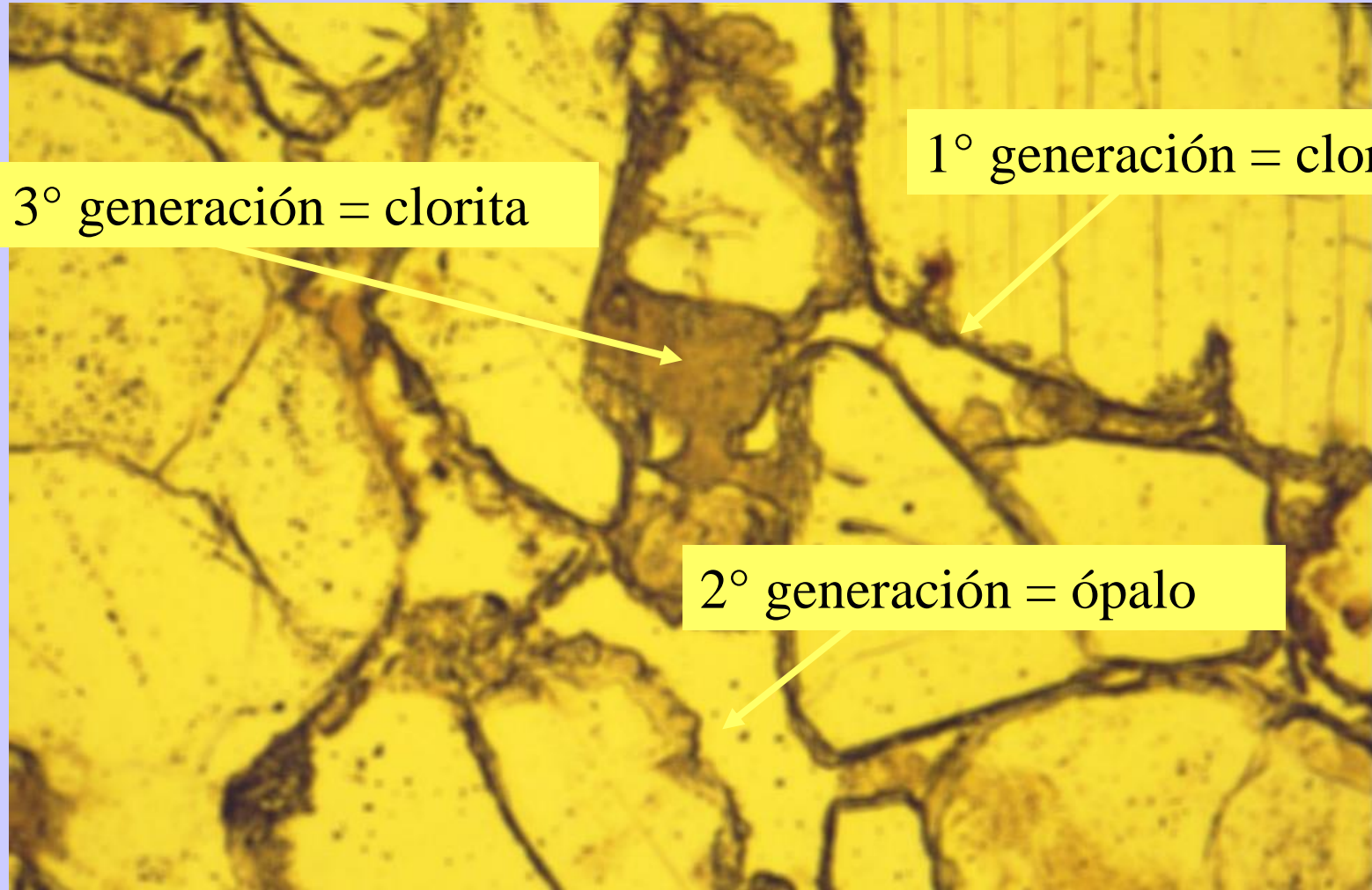
La alteración de óxidos y silicatos y la oxidación de sulfuros aporte el hierro.

## Cemento de ceolita en corte delgado

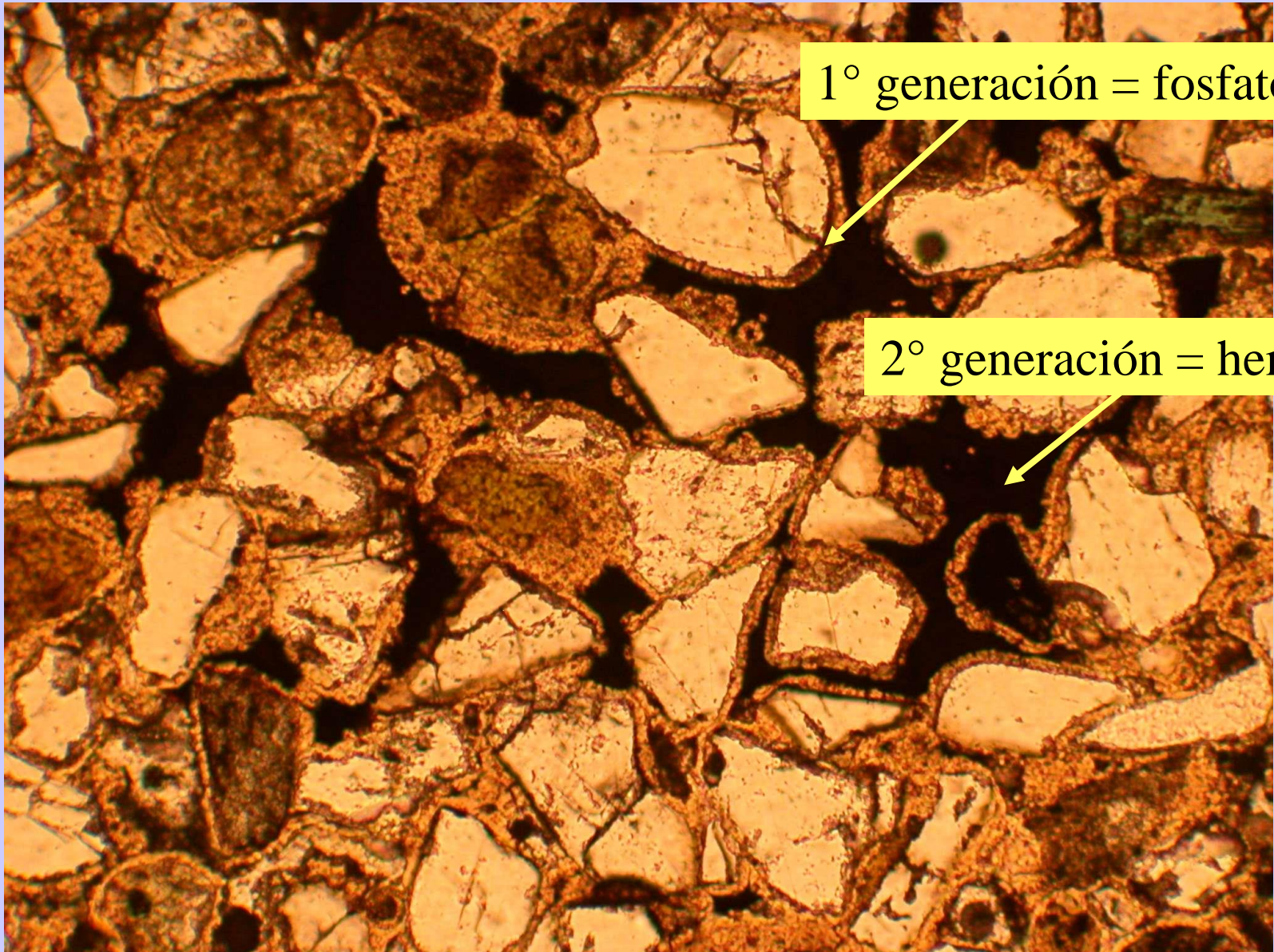




## Secuencia de cementos



# Cemento fosfático y de óxidos de hierro



1° generación = fosfato

2° generación = hematita



- **Disolución y aumento de porosidad**
- **Recristalización**
- **Reemplazo (Albitización de Feldespatos)**

Disolución: *Es el pasaje a solución de un mineral dejando un poro o vacío en el lugar en donde se encontraba*

Disolución congruente: *se disuelve todo el mineral*

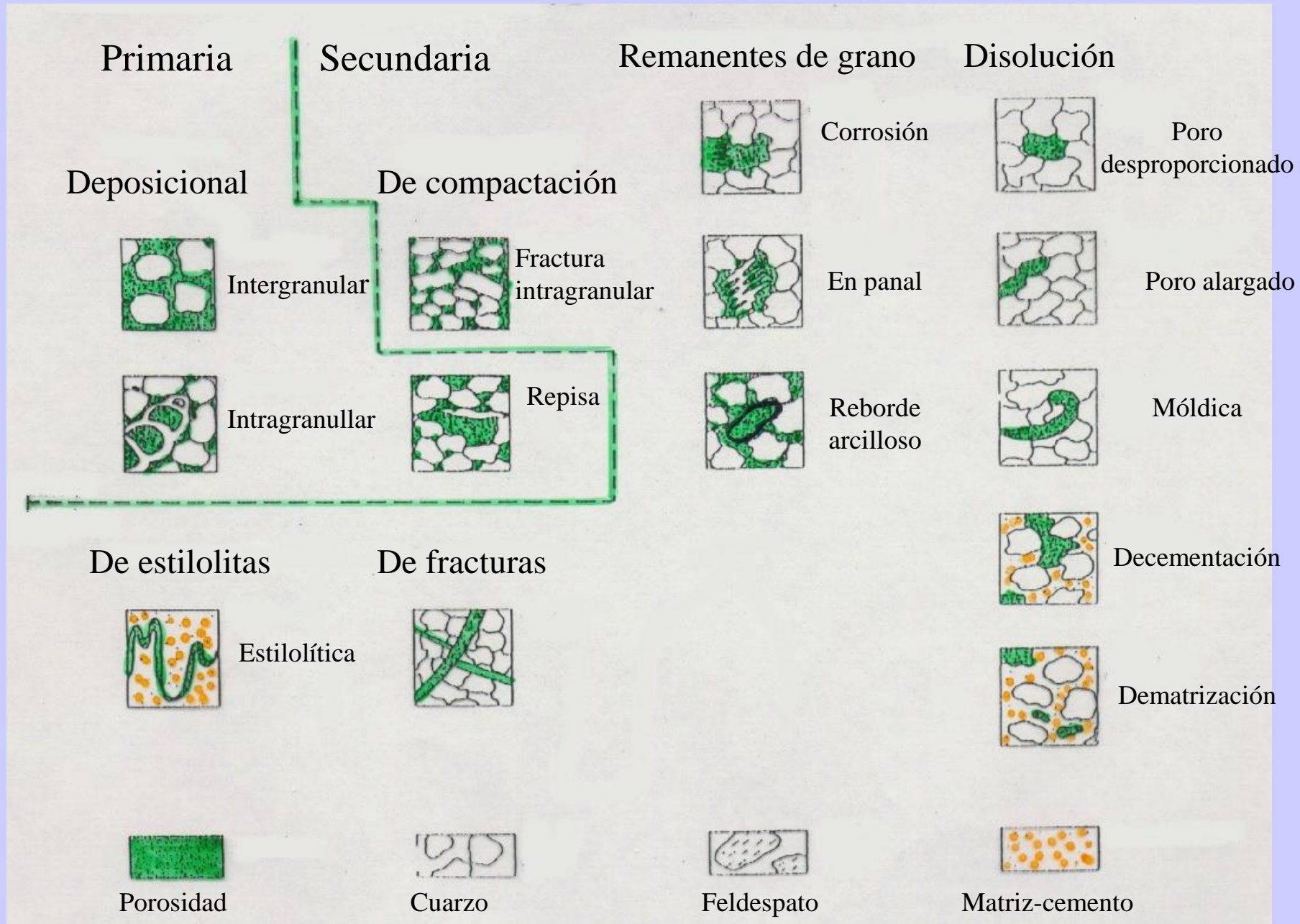
Disolución incongruente: *se disuelve parte del mineral*



Porosidad secundaria: *formada por la disolución de componentes de una roca*

Decementación: *disolución de cementos*

# Tipos de Porosidad



Recristalización (ss): *Cambio en la forma y tamaño de los cristales de un mineral sin que cambie la composición química* (ej. calcita, de grano fino a grano grueso, de micrita a esparita)

Inversión: *Es el pasaje de un polimorfo a otro* (aragonita-calcita; ópalo-chert-cuarzo)

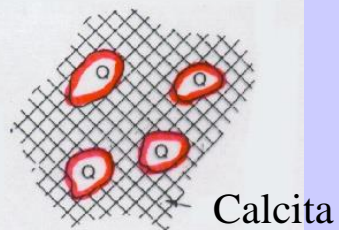
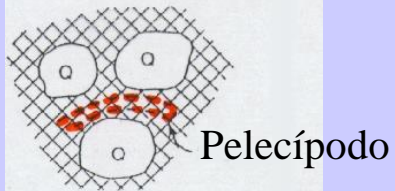
Neomorfismo: recristalización + inversión

Reemplazo: *Disolución de un mineral y seguida por la precipitación de otro en su lugar (la precipitación puede ocurrir en forma simultánea -molécula a molécula- o ser posterior)*

Reemplazo pseudomórfico: *se conserva la forma del componente original*

Reemplazos más comunes:

- Carbonatos por chert y viceversa
- Minerales varios por glauconita
- Albitización de feldespatos
- Caolinitización de feldespatos
- Vidrio y líticos por ceolitas
- Opalo-vidrio por arcillas



Pseudomórfica

Penetrativa

Relíctica

Fantasmal

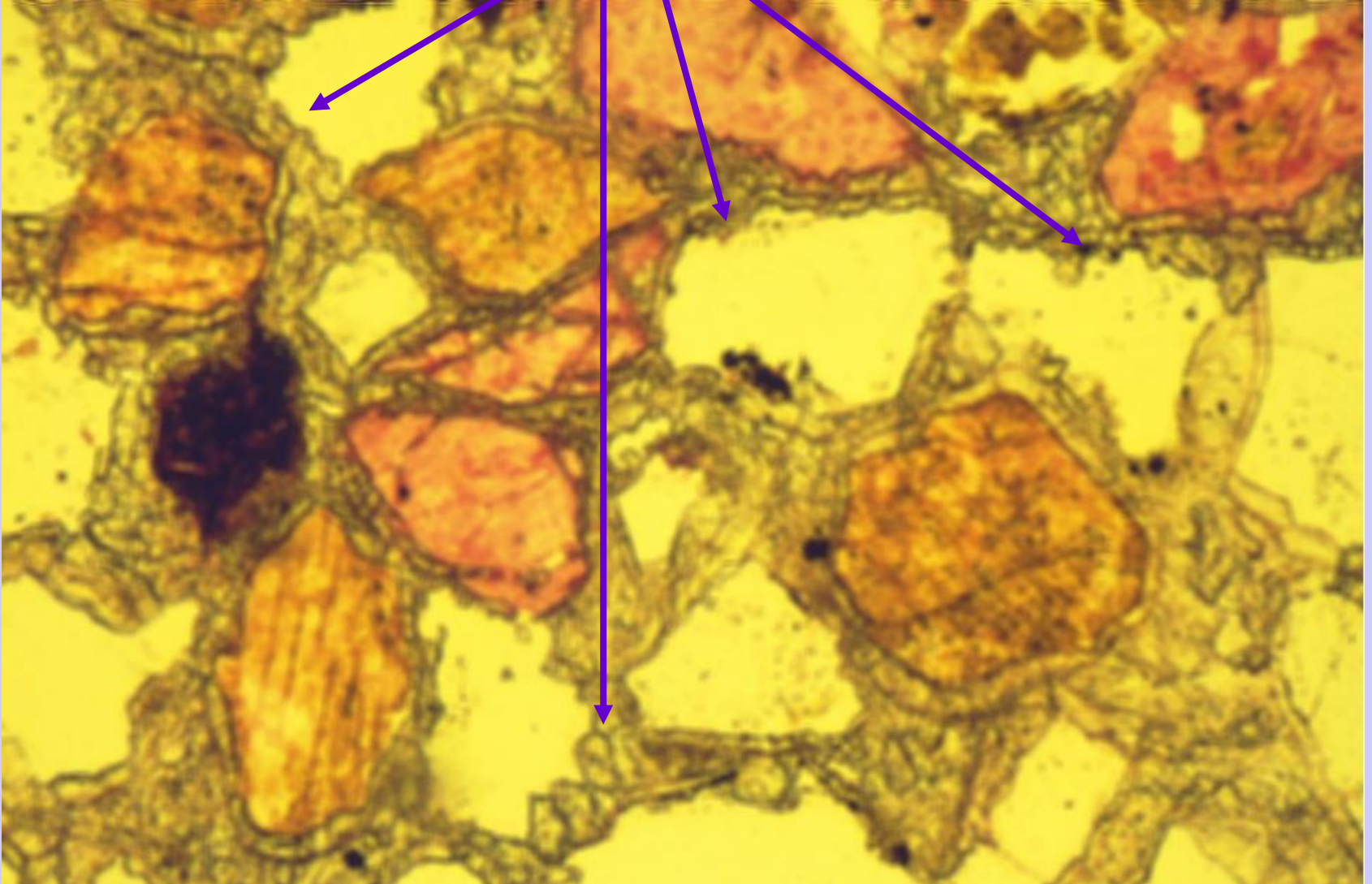
En caries

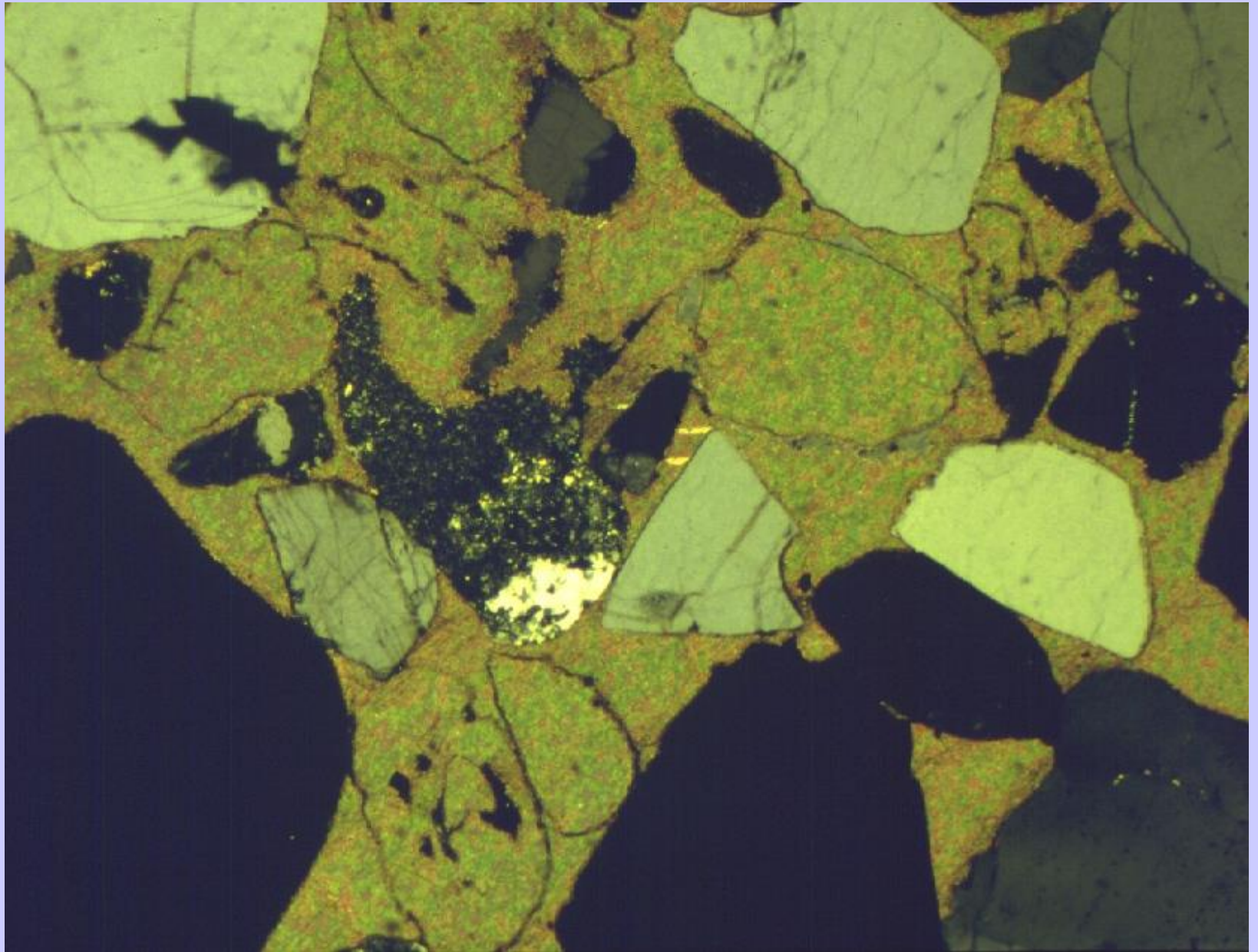
Flotante

Texturas de Reemplazo



Textura en caries

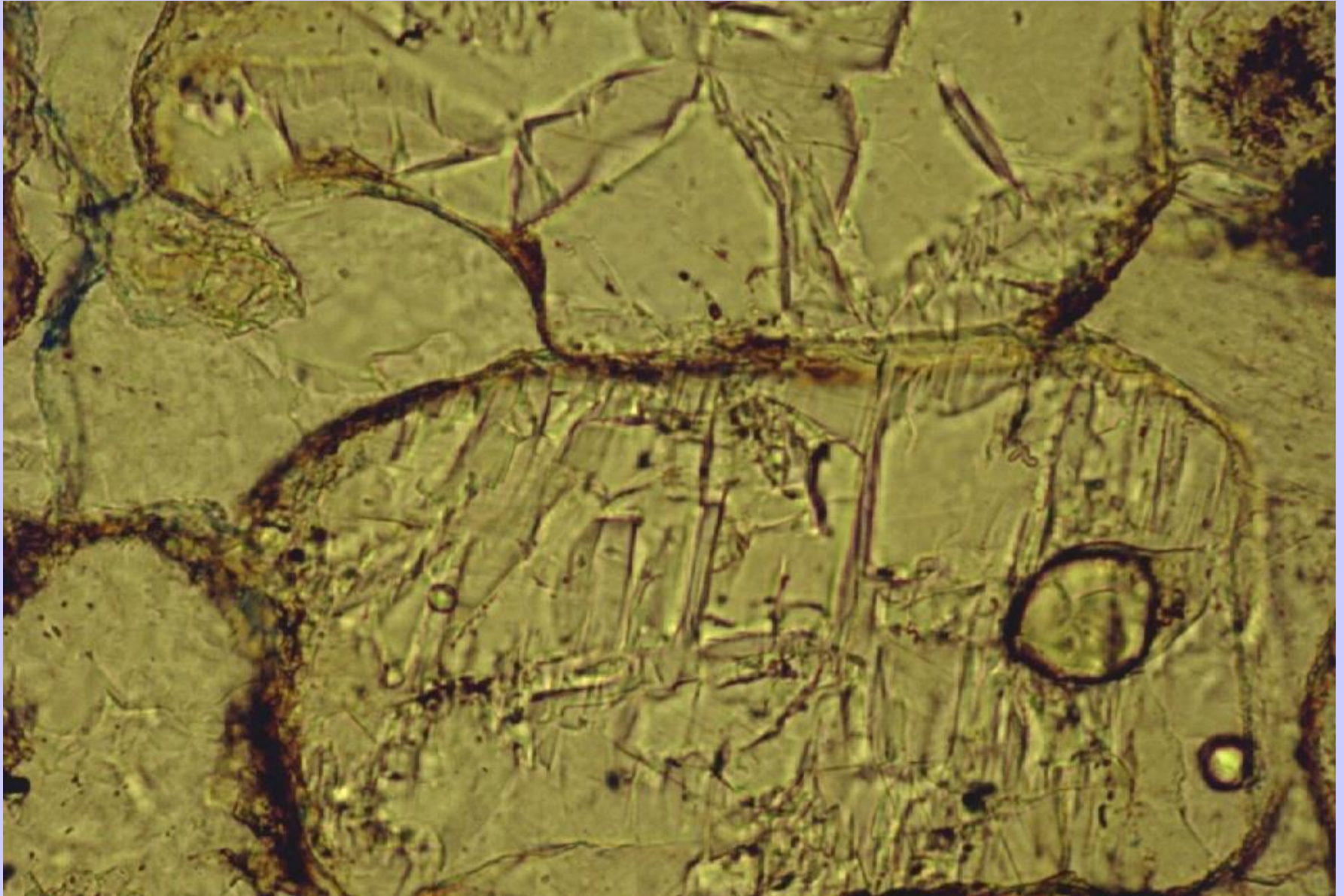




Reemplazo con textura fantasmal



## Albitización de feldespatos

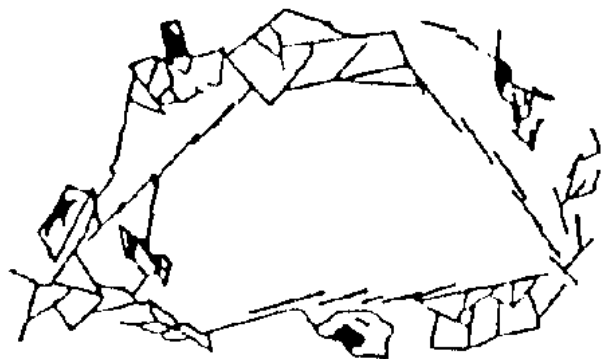


# **Efectos de la Diagénesis en Fangolitas**

- **Compactación (Eogénesis)**
- **Reorganización físico-química (Mesogénesis)**
- **Cambios mineralógicos (ej. esmectita-illita)**

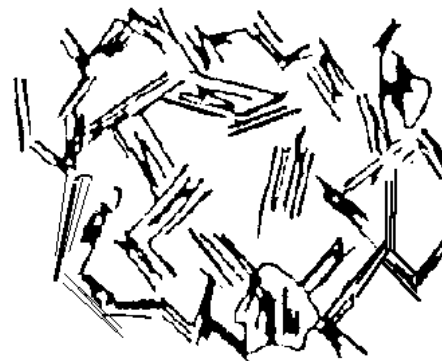
PLACAS Y FLÓCULOS  
SIMPLES

Cociente  
poros/sólidos  
↓



MUY  
ALTO  
( $>3$ )

Cociente  
poros/sólidos  
↓



MEDIANO  
A ALTO  
(1,5 - 2,5)



$< \text{de } 1 \text{ m}$

ALTO  
( $>2,5$ )



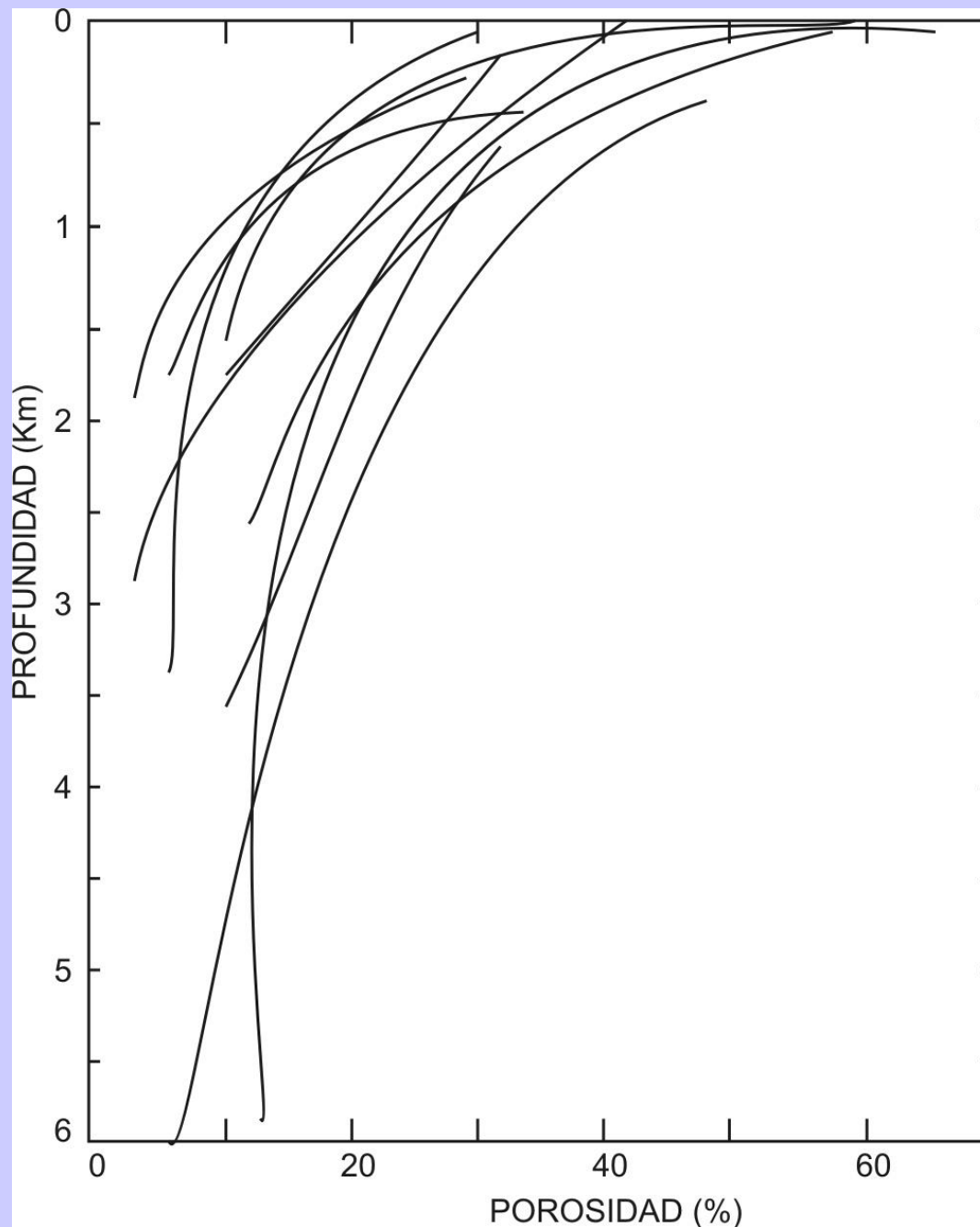
BAJO  
( $<1,5$ )



MUY  
BAJO  
( $<1,2$ )

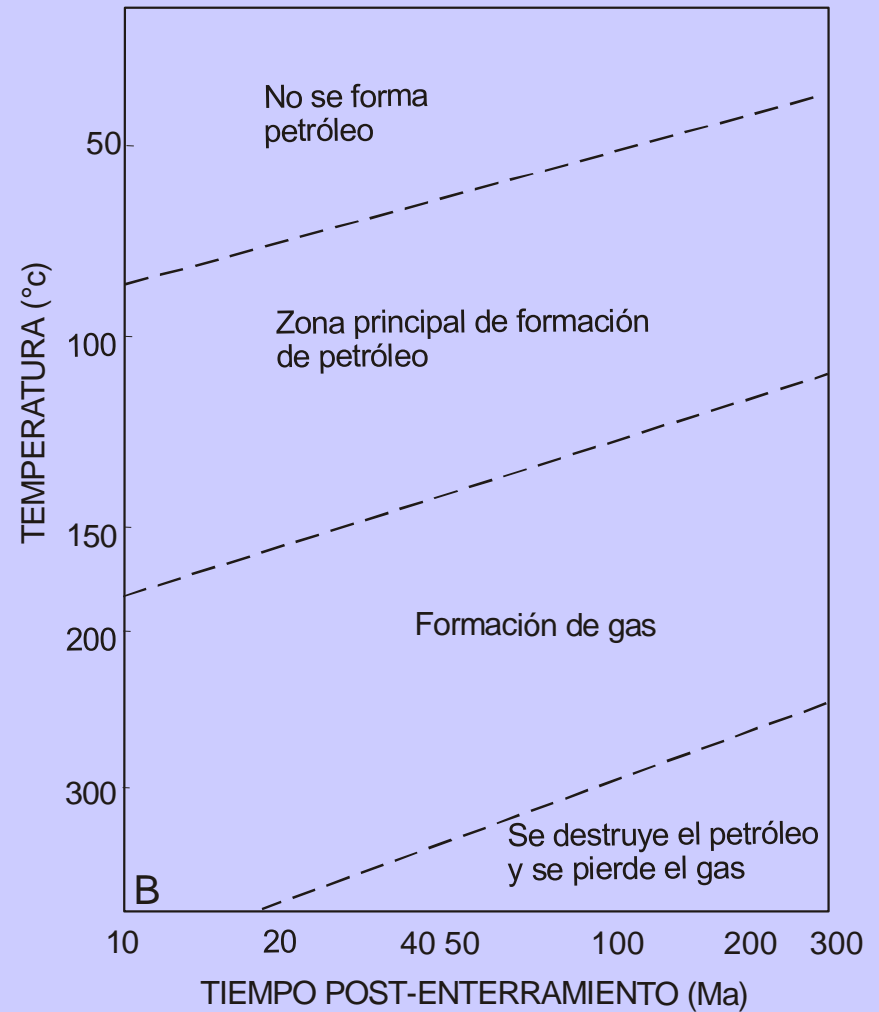
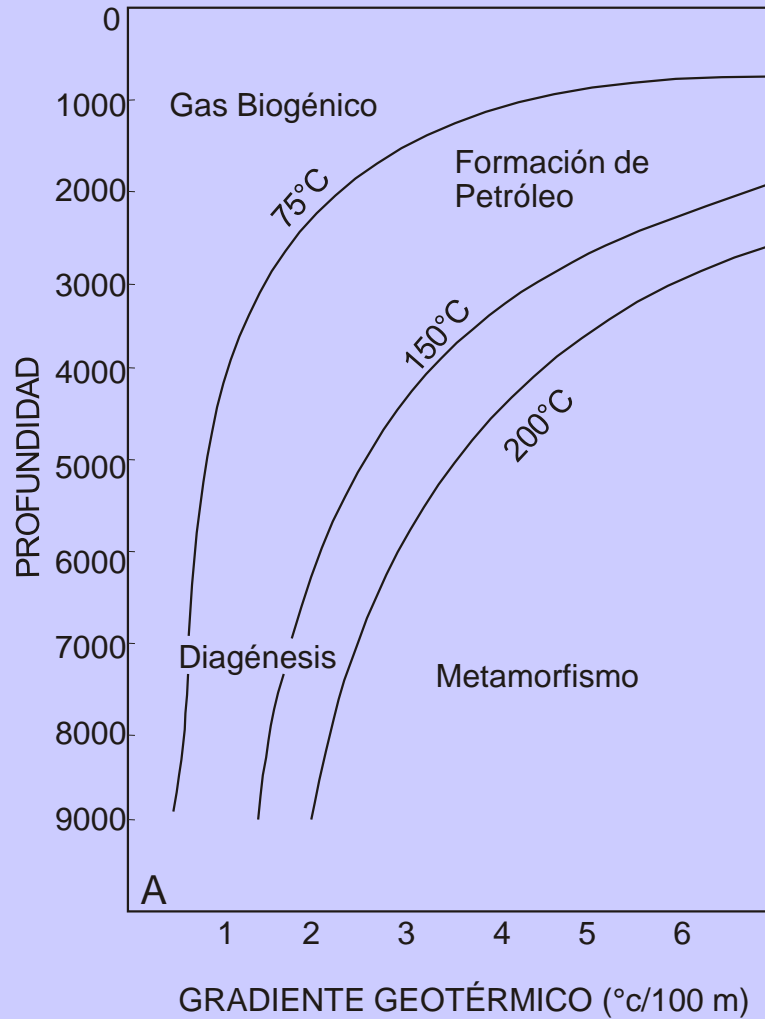
DOMINIOS AGRUPADOS EN FLOCULOS

100 m



Disminución de  
la porosidad en  
pelitas  
soterradas  
Depende de:

- composición
- mineralogía de arcillas
- velocidad de enterramiento



Efecto de la temperatura y del tiempo en la formación de hidrocarburos líquidos