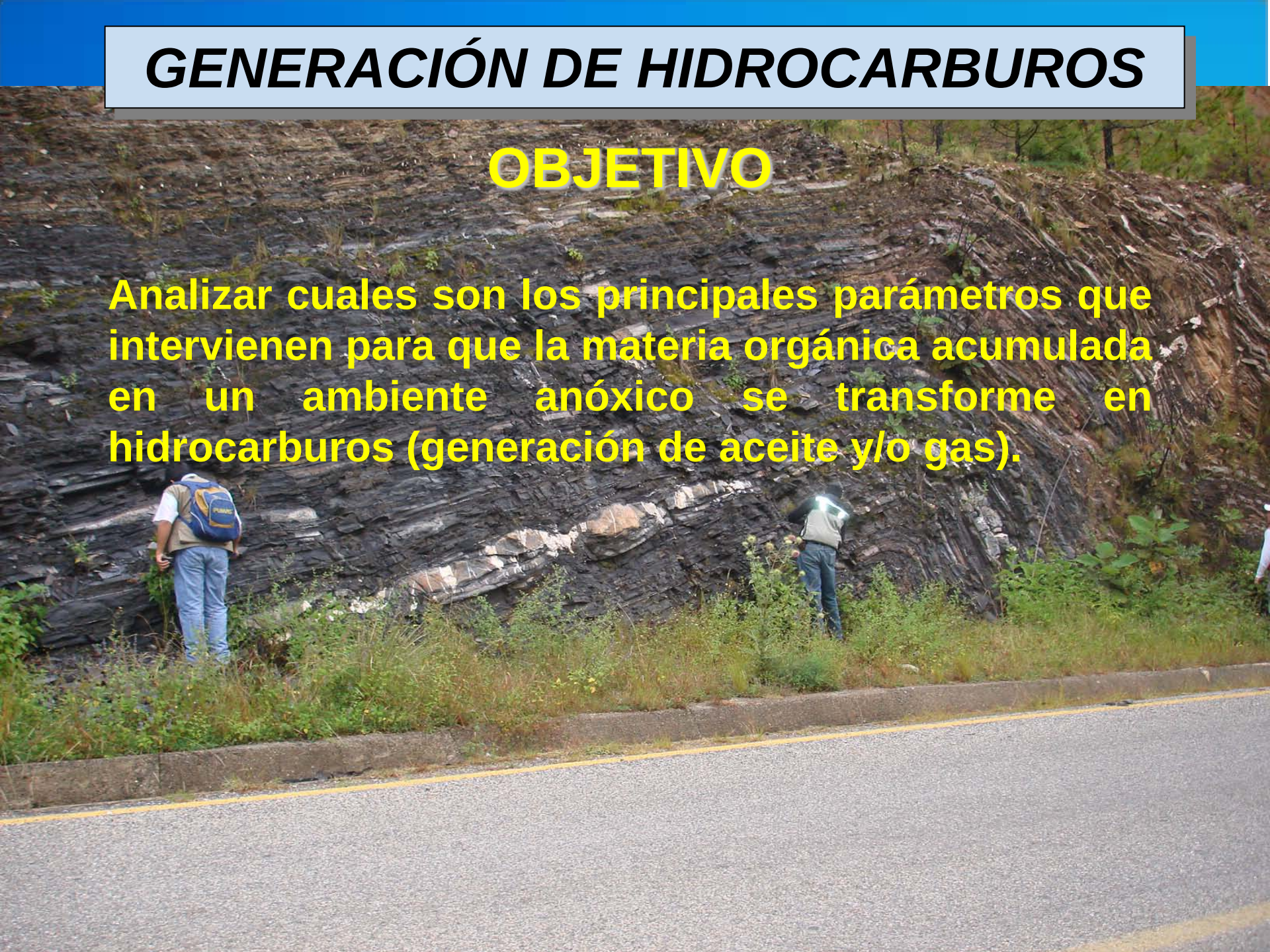
GENERACIÓN DE HIDROCARBUROS

OBJETIVO

Analizar cuales son los principales parámetros que intervienen para que la materia orgánica acumulada en un ambiente anóxico se transforme en hidrocarburos (generación de aceite y/o gas).



La transformación fisicoquímica de la materia orgánica, durante la historia geológica de las cuencas sedimentarias, no puede considerarse como un proceso aislado.

Esta controlada por los siguientes factores:

1. La actividad biológica en una etapa primaria.

2. La temperatura y la presión.

3. La interacción orgánica-inorgánica presente en diferentes etapas de la evolución del sedimento.

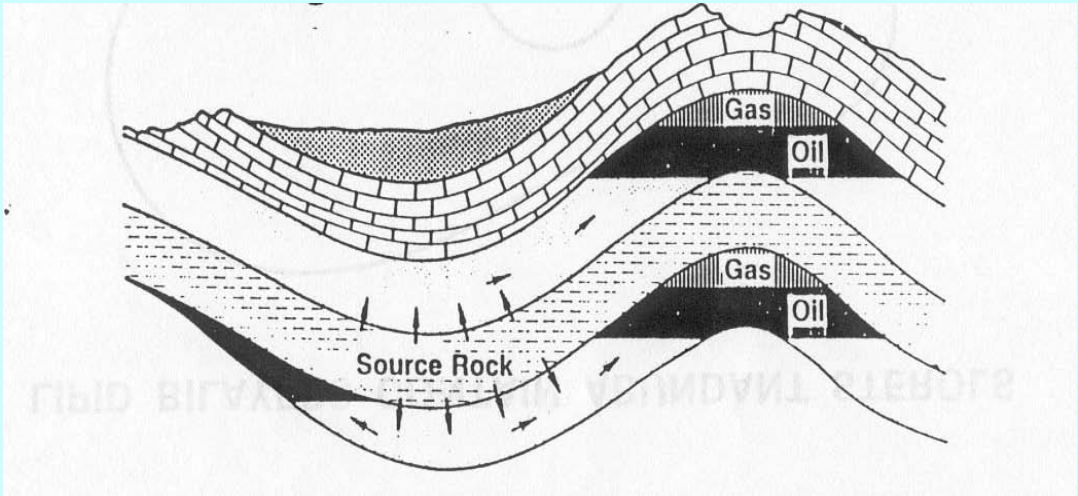
Strakhov, ha proporcionada una excelente descripción de las condiciones de deposito e historia temprana de los sedimentos.

GENERACIÓN DE HIDROCARBUROS

✓**La roca generadora debe ser enterrada a una profundidad suficiente (más de 1000 m) para que la materia orgánica contenida pueda madurar hasta convertirse en aceite y/o gas.**

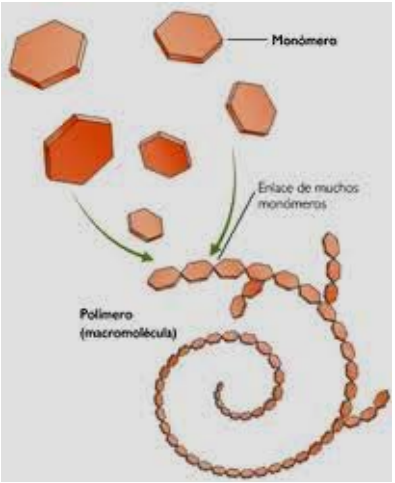
✓**Es necesario que la roca generadora se encuentre dentro de una Cuenca Sedimentaria que sufra procesos de subsidencia (hundimiento por su propio peso) y enterramiento, con un aporte suficiente de sedimentos.**

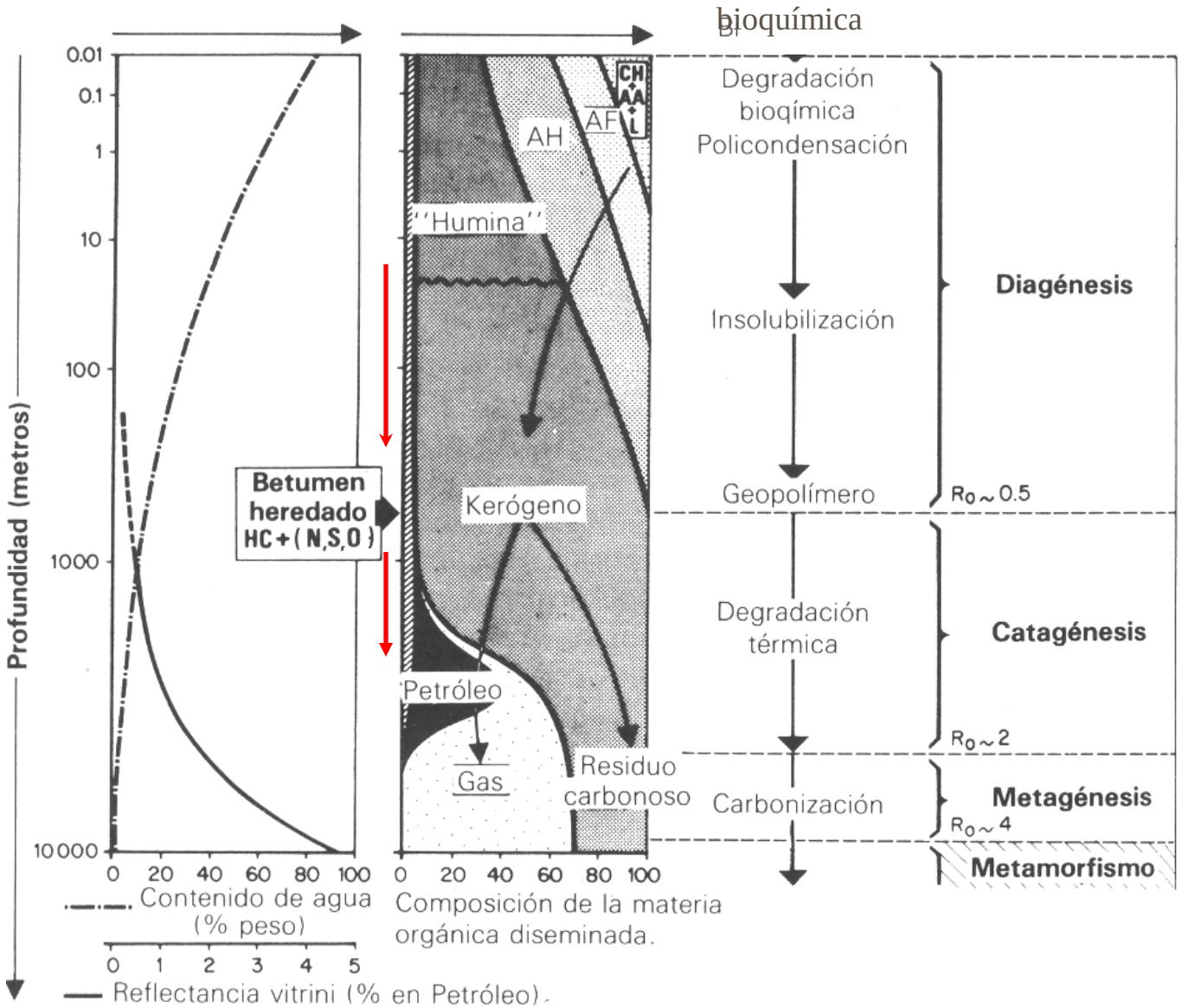
✓**Estas medidas limitan el número de cuencas en el mundo que tienen interés petrolero al 50% de las existentes.**



Esquema general de evolución de la materia orgánica.

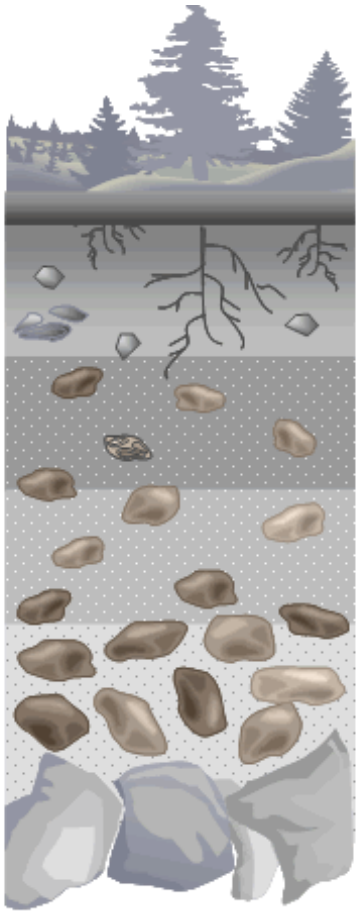
Desde los sedimentos recientemente depositados hasta la zona metamórfica





Esquema general de evolución de la materia orgánica, desde los sedimentos recientemente depositados hasta la zona metamórfica. *CH*: carbohidratos, *AA*: aminoácidos fúlvicos, *AH*: ácidos húmicos, *L*: lípidos, *HC*: hidrocarburos, *N,S,O*: compuestos de N,S,O (no hidrocarburos).

Suelo: es una combinación de minerales, materia orgánica, agua y aire. Es un agregado de minerales no consolidados y de partículas orgánicas producidas por la acción del viento, el agua y los procesos de desintegración orgánica. (Profundidad promedio de 1 a 2 m).



Componentes de la materia orgánica: fragmentos orgánicos diseminados, que pueden agruparse en las siguientes unidades llamadas macerales:

- **Vitrinita:** principal tipo en muchos kerógenos y componente esencial del carbón. Aparece en casi cualquier medio de depósito.

- **Exinita**: derivado de algas, esporas, polen y ceras. No es muy común. Indica un medio lacustre o marino somero.

- **Inertinita**: proviene de varias fuentes de materia orgánica (marina o continental), que han sido muy oxidadas durante el depósito.

- **Amorfinita**: no es un componente "real" de los macerales, ya que incluye todos los componentes amorfos. Son los componentes más interesantes para la formación de petróleo, pues al estar más comprimidos, madura a menores temperaturas.

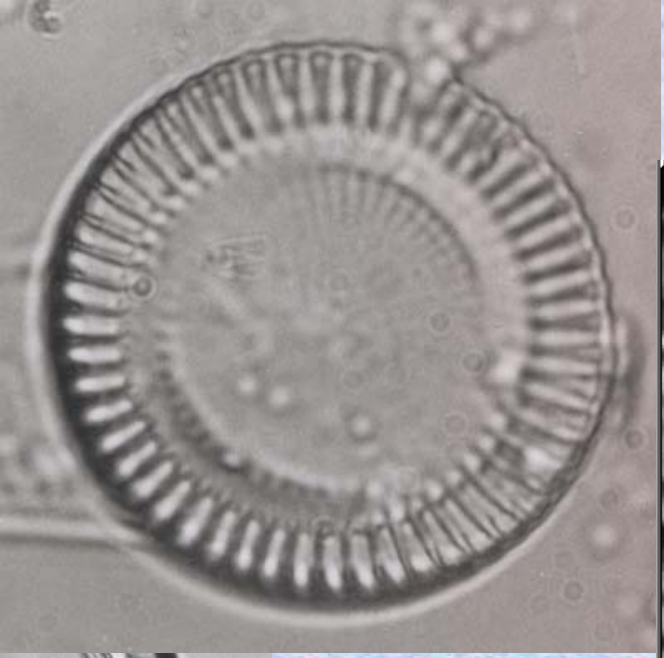
¿Qué maceral lo compone?

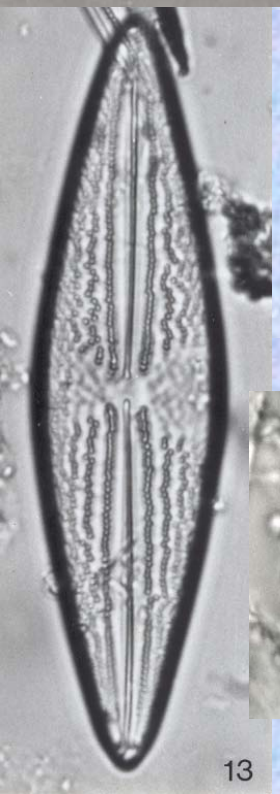
Ejemplo de carbones, Río Turbio, Santa Cruz, Argentina

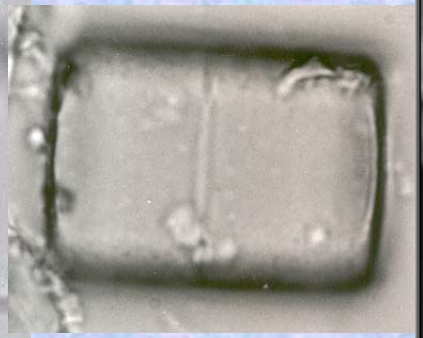
Los carbones aparecen en condiciones de clima húmedo, pero también desde cálido a frío. Se asocian con depósitos siliciclásticos, pero se concentran en periodos en los que se reduce su contribución.

Diatomeas

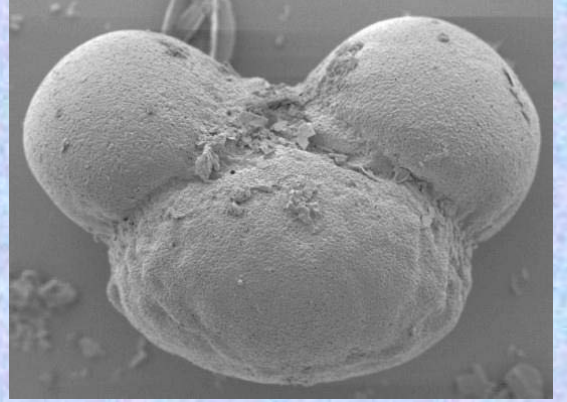
¿Qué maceral lo compone?





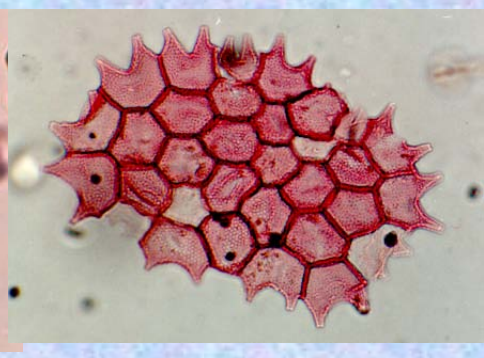


PALINOMORFOS



- Dentro de este grupo se incluyen al polen, esporas, y algunos organismos como dinoflagelados.

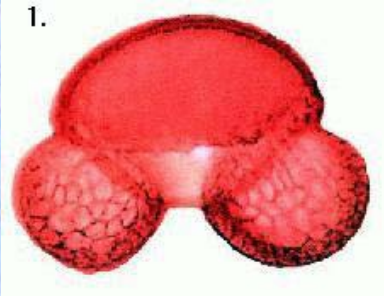
- Se utilizan para fechar.

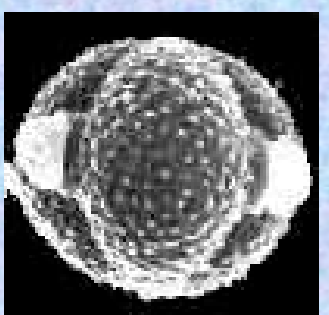


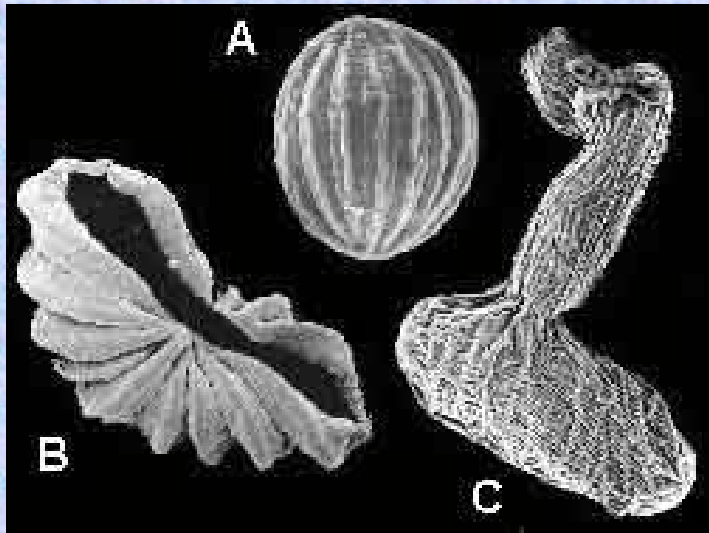
- La composición de su pared los hace especialmente resistentes.

- Los palinomorfos se utilizan como indicadores paleoambientales, además de ser indicadores de maduración termal.

¿Qué maceral lo compone?

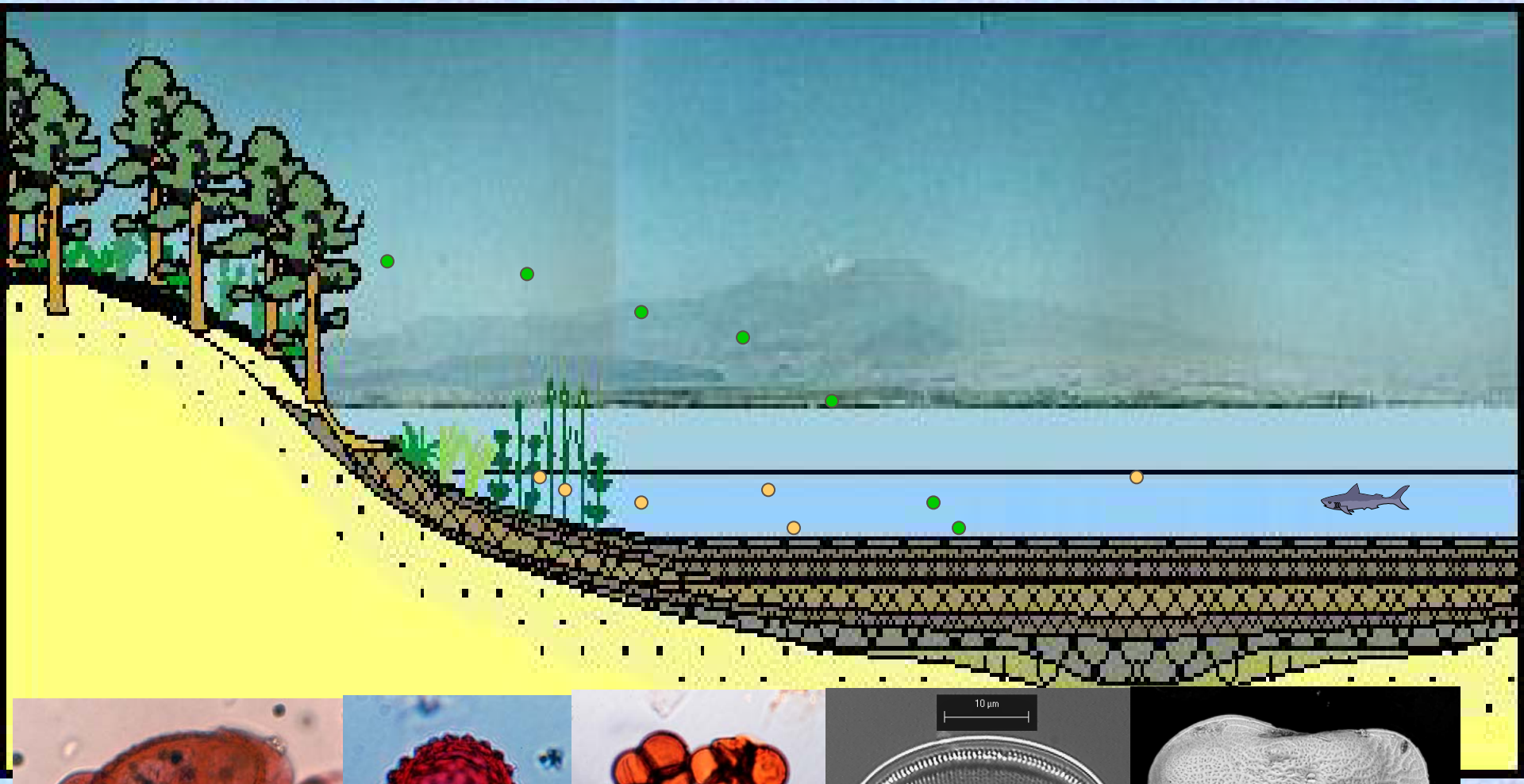


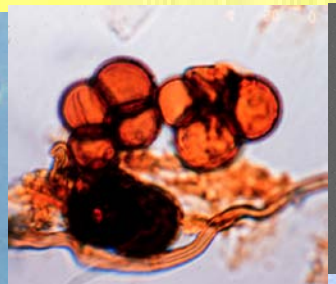


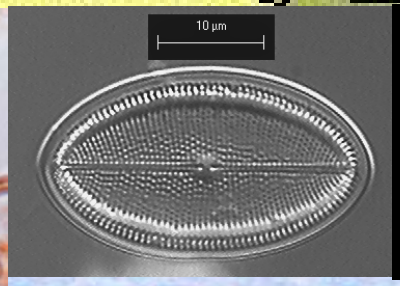


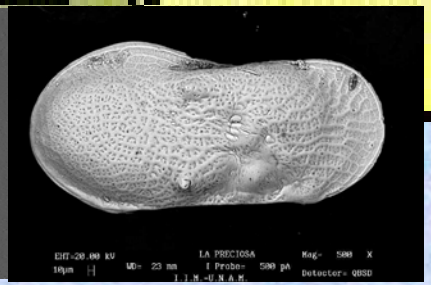
materia orgánica (marina o continental) que han sido muy oxidadas durante la depositación.

¿Qué maceral lo compone?









TRANSFORMACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

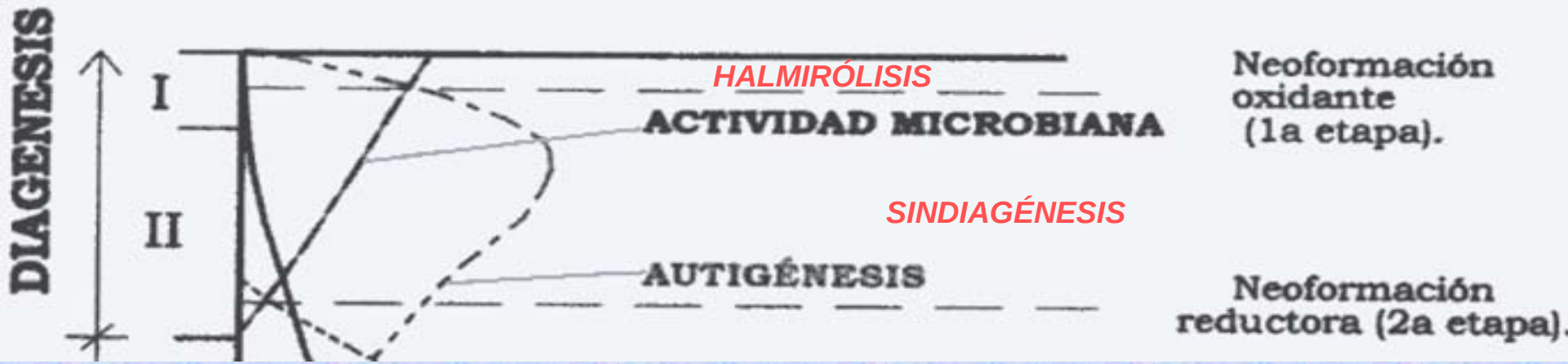
Desde que la materia orgánica se acumula en un medio sedimentario que favorece a su preservación (ambiente reductor), y se va cubriendo por sepultamiento, experimenta una serie de cambios junto con los sedimentos que la contiene.

Estos cambios se explican en los procesos de: Diagénesis, Catagénesis y Metagénesis.

DIAGÉNESIS

Los sedimentos depositados en medios subacuáticos contienen grandes cantidades de agua.

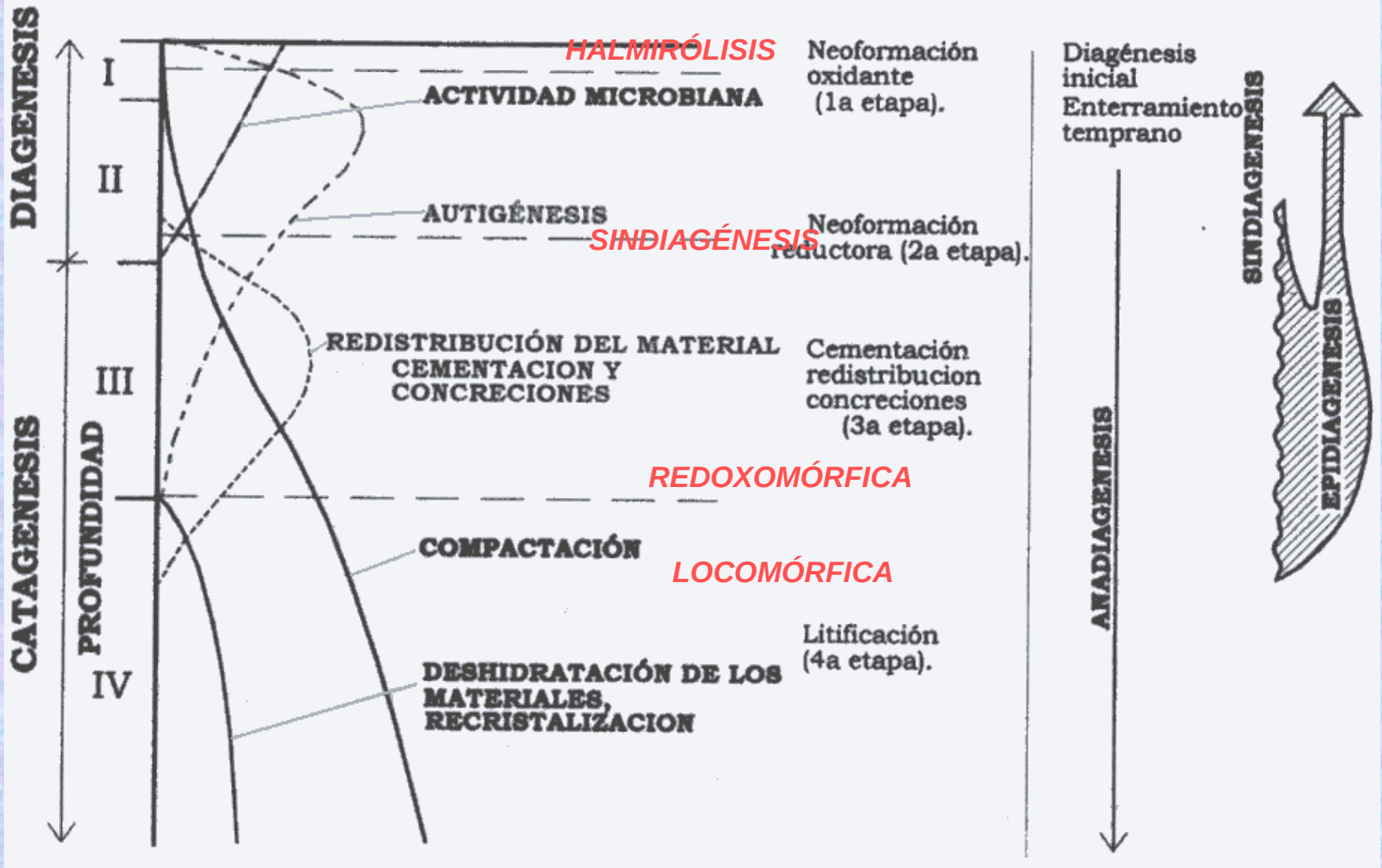
Por ejemplo en arcillas de 5 cm de profundidad, la porosidad equivale cerca del 80%, o sea, el agua es el 60% en peso del total de este sedimento.



La materia orgánica incluida en las arcillas se compacta y experimenta reacciones bastante complejas.

Uno de los principales agentes de la transformación durante la diagénesis temprana es la actividad microbiana.

ETAPAS DE LA DIAGÉNESIS (STRAKOV)

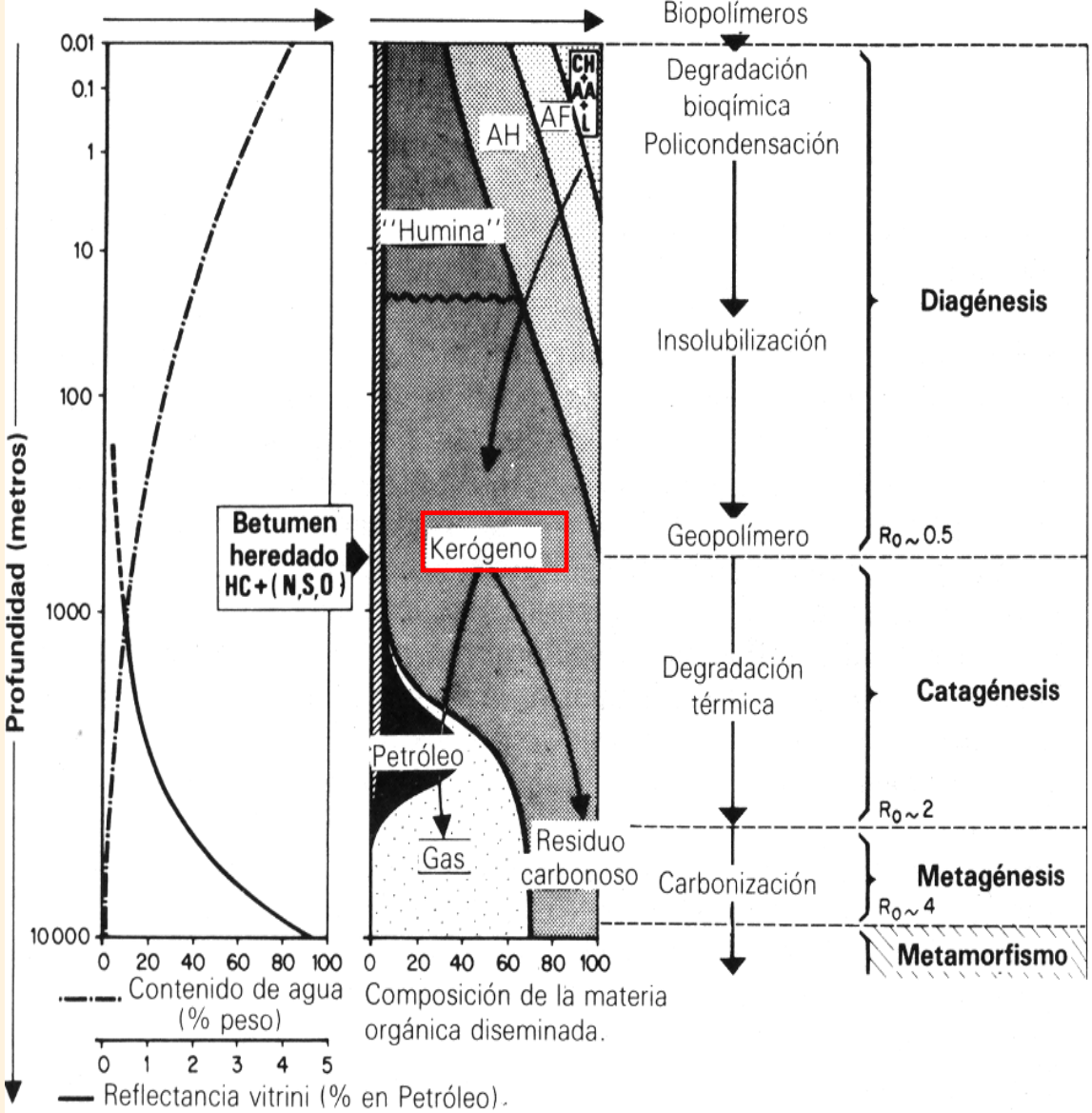


Diagénesis temprana

Los biopolímeros (compuestos orgánicos, tales como carbohidratos, proteínas, etc.) son sometidos a un ataque microbiano, que se realiza a poca profundidad (con presiones litostáticas entre 0 y 300 bares) y bajas temperaturas (entre 0° y 50 °C).

Este ataque origina la degradación de los biopolímeros (ácidos grasos, aminoácidos, etc.); estos al ser sometidos a procesos de condensación y polimerización, se convierten en una serie de compuestos estructurados que reciben el nombre de geopolímeros (precursores del kerógeno),

(ácidos húmicos = materia orgánica completamente insoluble derivada de los sedimentos jóvenes).

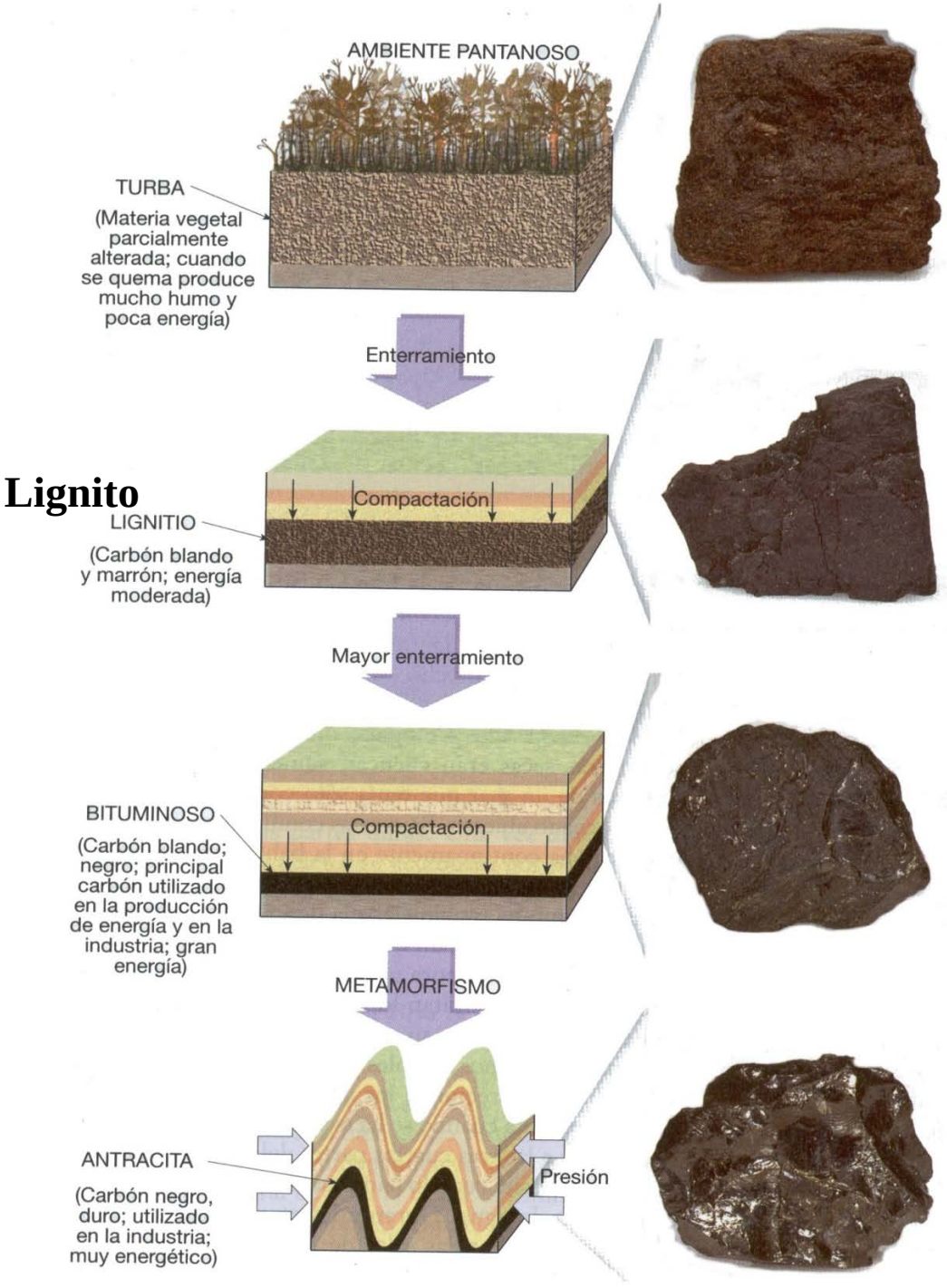


Esquema general de evolución de la materia orgánica, desde los sedimentos recientemente depositados hasta la zona metamórfica. *CH*: carbohidratos, *AA*: aminoácidos fúlvicos, *AH*: ácidos húmicos, *L*: lípidos, *HC*: hidrocarburos, *N,S,O*: compuestos de N,S,O (no hidrocarburos).

Transformación de la materia orgánica de acuerdo a la profundidad

Cuando el depósito de materia orgánica derivado de las plantas es masivo, comparado con la contribución mineral, se forma la turba y luego los carbones pardos (lignito y carbón sub-bituminoso).

Pero el hidrocarburo más importante que se forma durante la diagénesis es el METANO.



Manglares

Ambientes generadores de turba.

La turba se forma por la sedimentación subacuática continua de materia orgánica, en ambientes donde las aguas se encuentran pobremente oxigenadas. La acumulación, el sepultamiento y la preservación de la turba tienen lugar en una amplia gama de ambientes que incluyen pantanos y áreas de desborde con o sin influencia marina. (Río Loxahatchee, Florida, EUA).

DIAGÉNESIS

El mismo proceso que produce el metano en los pantanos, basureros, las plantaciones de arbustos, y los tractos digestivos de mamíferos, ocurre continuamente dentro de los sedimentos enterrados someramente en los ambientes geológicos.

Estos procesos biogenéticos son capaces de producir inmensas cantidades de metano, y se considera que son la fuente primaria del metano entrampada en las capas de siliciclastos dentro de las secuencias del subsuelo oceánico poco profundos.

DIAGÉNESIS

Metano ⇒ biogénico o biológico, corresponde con **gas seco** y es producido por el proceso de descomposición de la materia orgánica.

El O_2 se pierde rápidamente durante la diagénesis, en forma de **CO_2 y H_2O.**

Se presenta generalmente en la **consolidación del sedimento**, es decir, las fracciones sueltas se convierten en rocas sedimentarias.

La mayor parte de la materia orgánica que se conserva se transforma en kerógeno, que es la fracción insoluble.

En menor proporción se forma betumen que corresponde a la parte soluble.

Gas seco: Gas natural libre de hidrocarburos líquidos más pesados que el metano (etano y propano). El gas seco también se obtiene de las plantas de proceso. Es el gas no asociado. El gas húmedo es el gas asociado

¿QUÉ ES EL KERÓGENO?

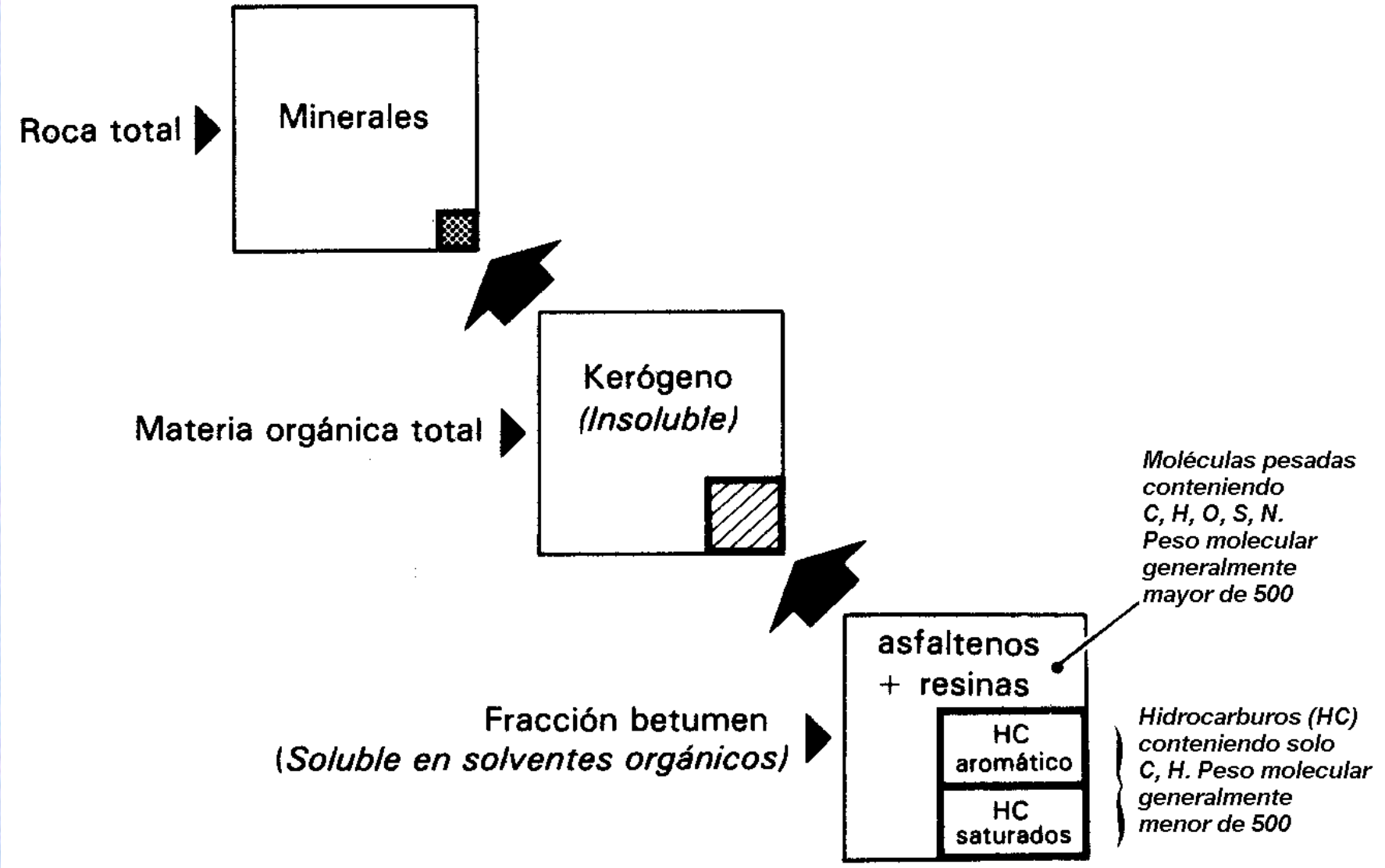
Es la fracción de la materia orgánica en las rocas sedimentarias que es insoluble en ácidos, bases (solventes alcalinos acuosos) y en solventes orgánicos comunes, ya que está compuesto básicamente de grasas y ceras.

El kerógeno está formado por macromoléculas de núcleos cíclicos condensados y cadenas alifáticas, por lo que es resistente a la descomposición. Se compone de fragmentos orgánicos diseminados, que pueden agruparse en unidades llamadas macérales.

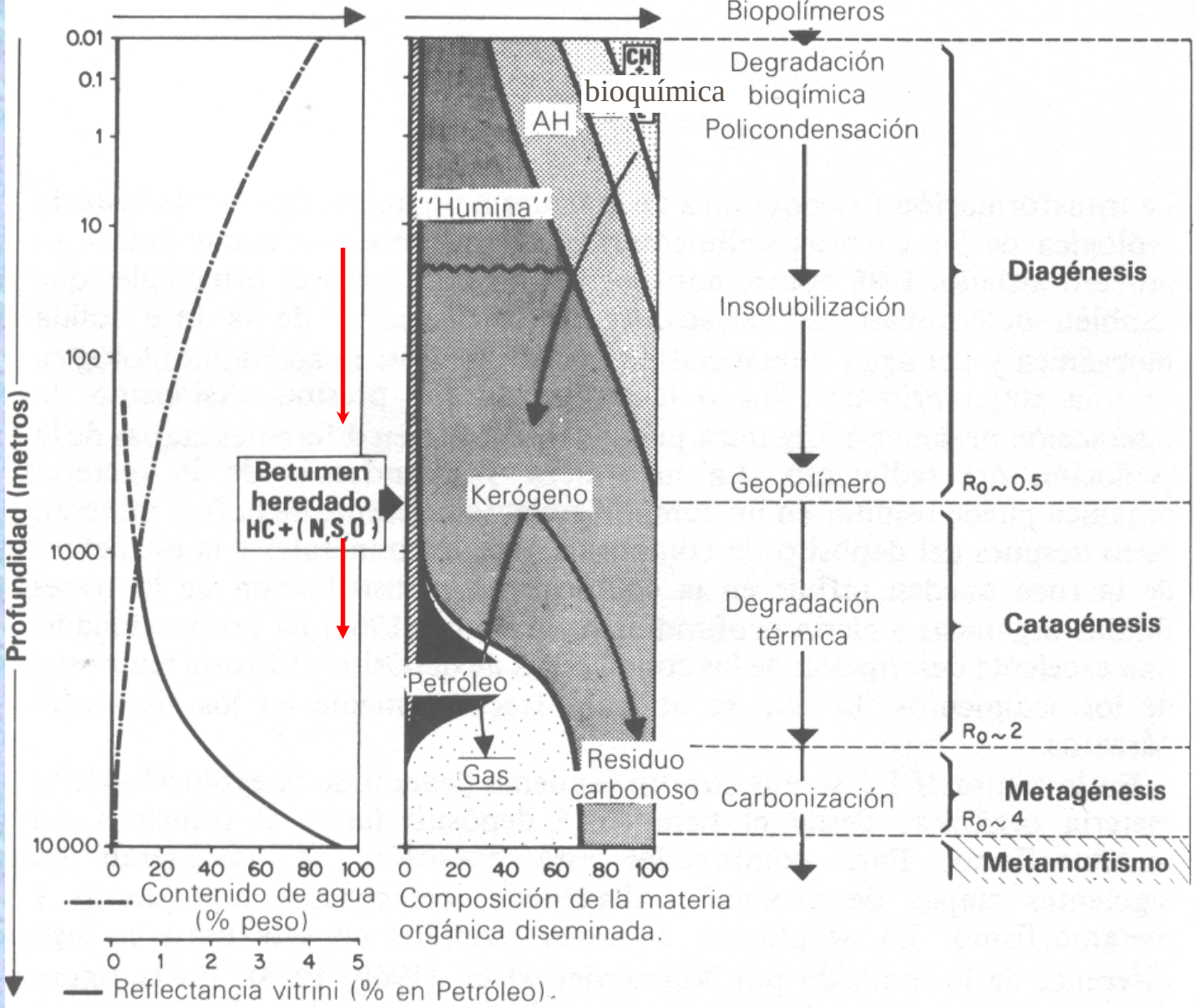
En términos químicos los compuestos del petróleo pueden dividirse en 2 clases:

- **Hidrocarburos saturados (alifáticos)**
- **Hidrocarburos insaturados (fracción compuesta). No son encontrados en aceites crudos normales y en la acumulación de gas natural.**

Composición de la materia orgánica diseminada en rocas sedimentarias antiguas



Esquema de evolución de la materia orgánica

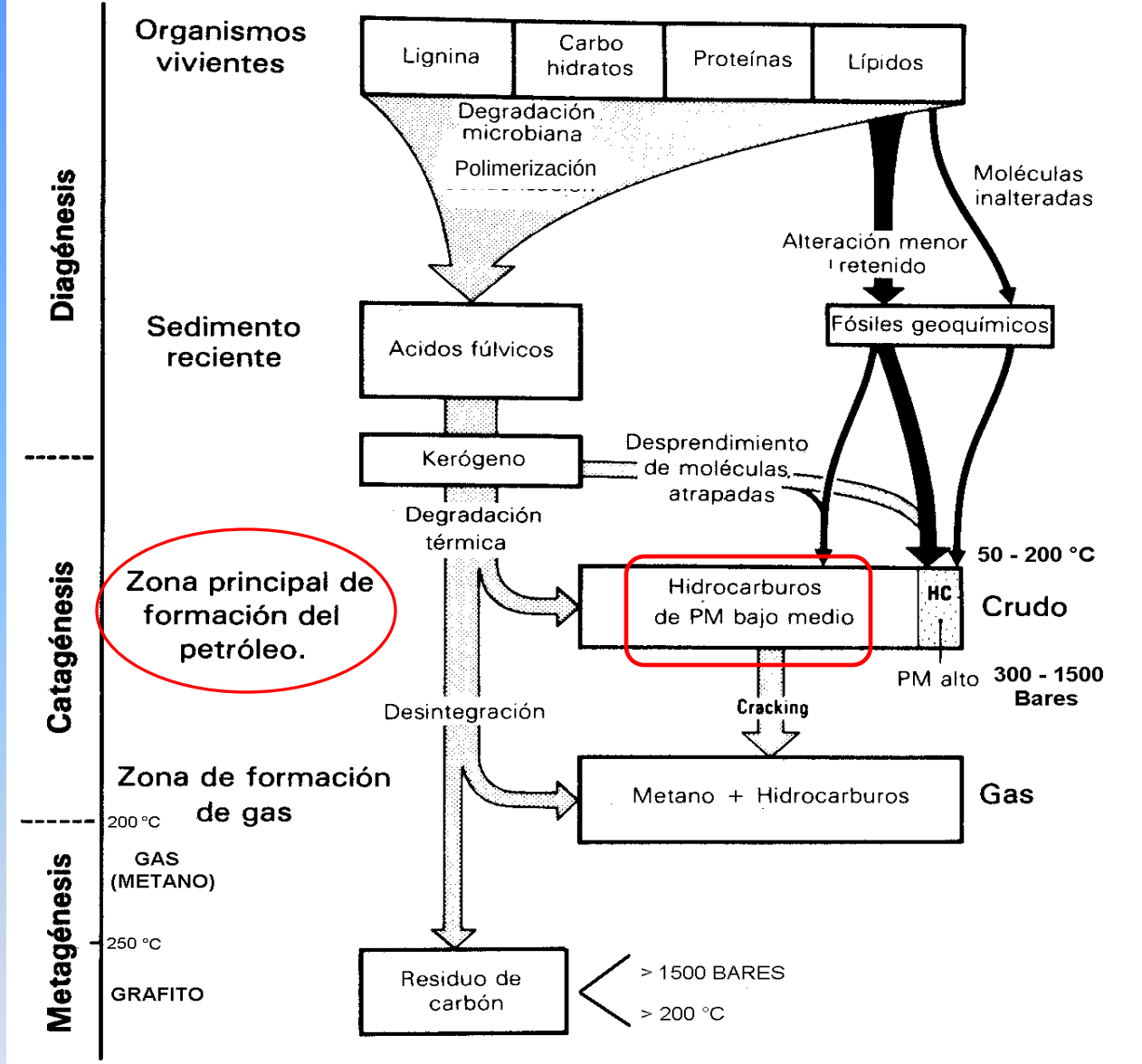


Esquema general de evolución de la materia orgánica, desde los sedimentos recientemente depositados hasta la zona metamórfica. *CH*: carbohidratos, *AA*: aminoácidos fúlvicos, *AH*: ácidos húmicos, *L*: lípidos, *HC*: hidrocarburos, *N,S,O*: compuestos de N,S,O (no hidrocarburos).

La diagénesis en sedimentos jóvenes da como resultado dos fracciones orgánicas principales con diferencias cuantitativas importantes :

El Kerógeno y los fósiles geoquímicos.

¿Ambas fuentes de hidrocarburos contribuyen a la acumulación del petróleo? Y ¿cuál es la principal?



Fuentes de hidrocarburos en situaciones geológicas, con respecto a la evolución de la materia orgánica. Los fósiles geoquímicos representan una primera fuente de hidrocarburos en el subsuelo (flechas negras sólidas). La degradación del kerógeno representa una segunda fuente de hidrocarburos (flechas grises punteadas).

FÓSILES GEOQUÍMICOS

Son **restos de proteínas, carbohidratos, lípidos o lignina** que se presentan formando parte de los aceites pesados o en el carbón mineral.

CLASIFICACIÓN DEL KERÓGENO

La clasificación se basa en diferentes tipos de estudios como son los palinológicos, petrográficos y los geoquímicos.

Los términos para clasificar los carbones (sapropélico y húmico) también pueden ser empleados en los kerógenos.

Sapropélico: **es el producto obtenido de la descomposición y la polimerización de la materia algácea y herbácea principalmente, depositada en condiciones acuáticas, con bajo contenido de oxígeno atmosférico.**

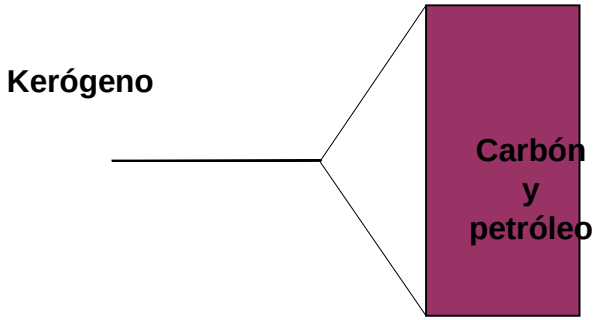
Húmico: **es el producto obtenido de la descomposición de plantas terrestres superiores, depositadas en medios terrígenos con abundante oxígeno atmosférico.**

"Los kerógenos sapropélicos producen aceite mediante calor, mientras que los húmicos producen principalmente gas".

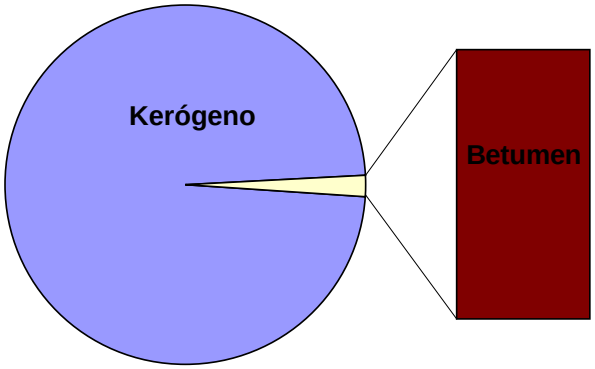
KERÓGENO

Es la forma más importante del carbono orgánico en la Tierra.

Es 1000 veces más abundante que el carbón y el petróleo en yacimientos.



Es 50 veces más abundante que el betumen y otros petróleos dispersos en las rocas que no forman yacimientos.



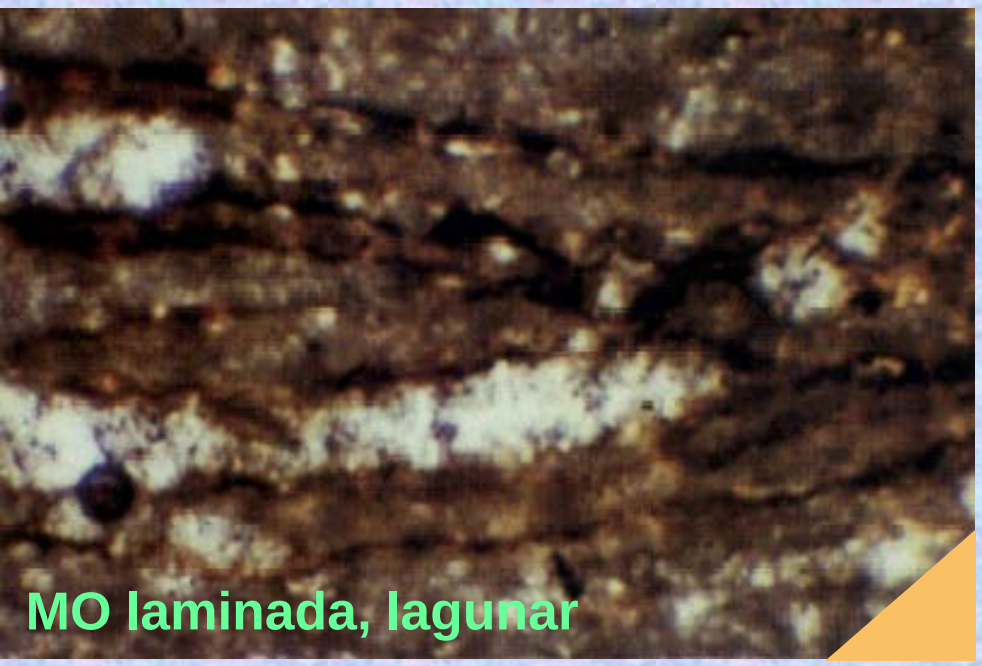
En rocas antiguas que no forman yacimientos, por ejemplo en lutitas o calizas de grano fino, el kérogeno representa, normalmente del 80 al 99 % de materia orgánica, estando el resto formado por betumen.

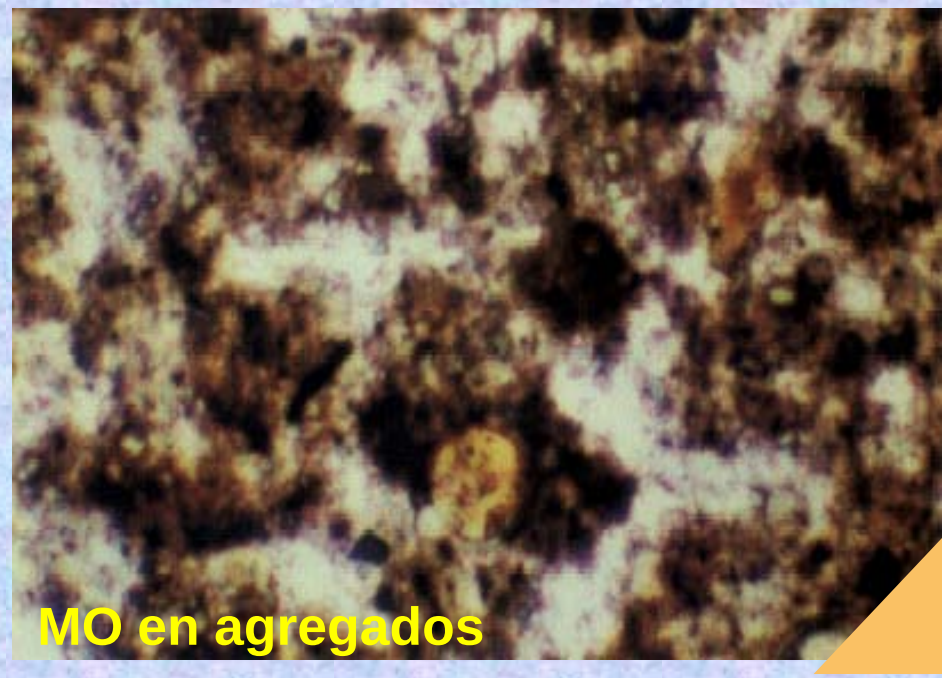
CLASIFICACIÓN DEL KERÓGENO

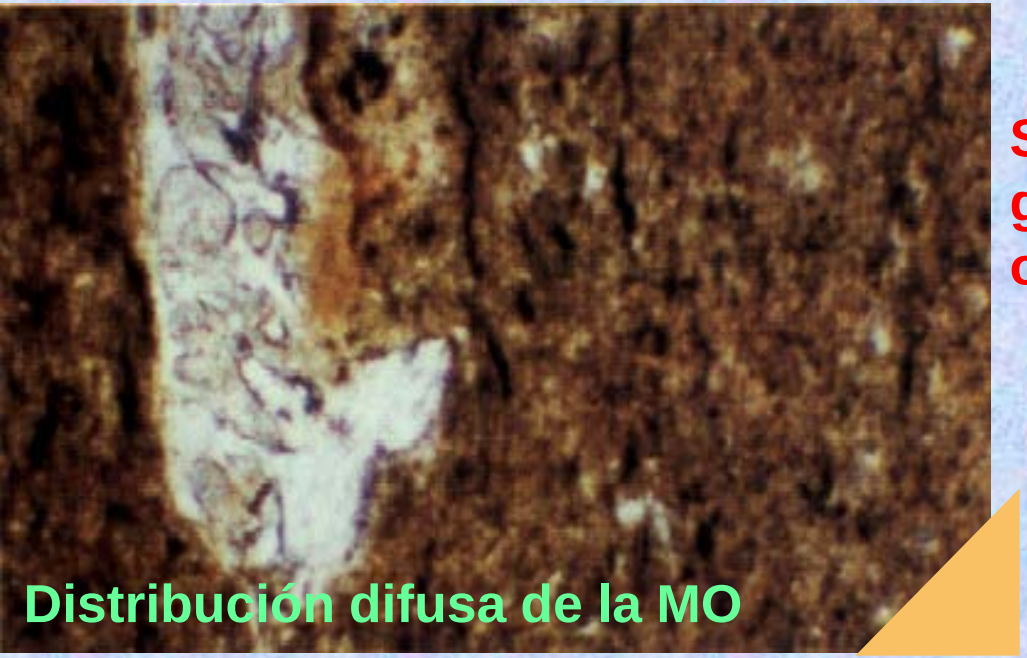
Los Kerógenos sapropélicos y húmicos a su vez se dividen, dependiendo del análisis visual del Kerógeno en:
(Cernock y Bayliss, 1977; en Hunt, 1979)

Sapropélicos
- **Amorfo**
- **Algáceo**
- **Herbáceo**

Húmicos
- **Maderáceo o leñoso**
- **Carbonáceo o con inertinita**





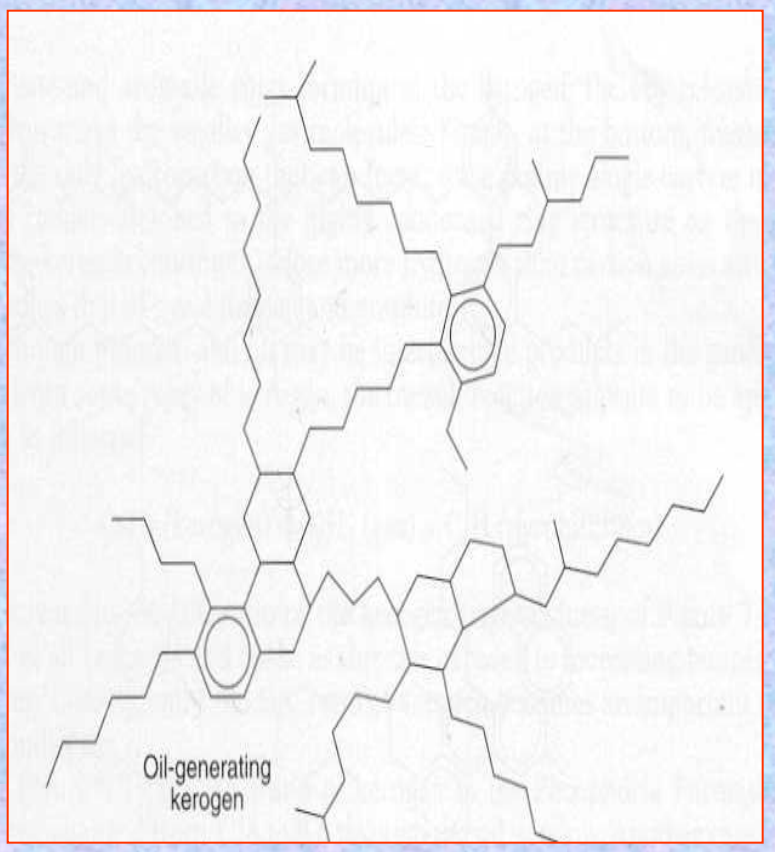


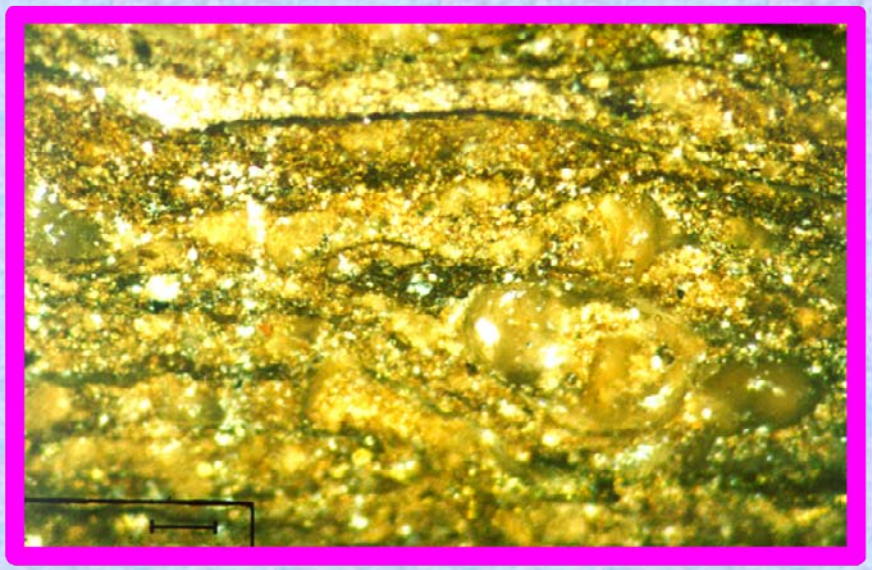
Secciones delgadas de rocas generadoras ricas en materia orgánica (luz transmitida)

TIPOS DE KERÓGENO

Algáceo

Consiste de moléculas de bajo peso molecular con menos anillos condensados y más cadenas parafínicas largas, con anillos de naftenos.



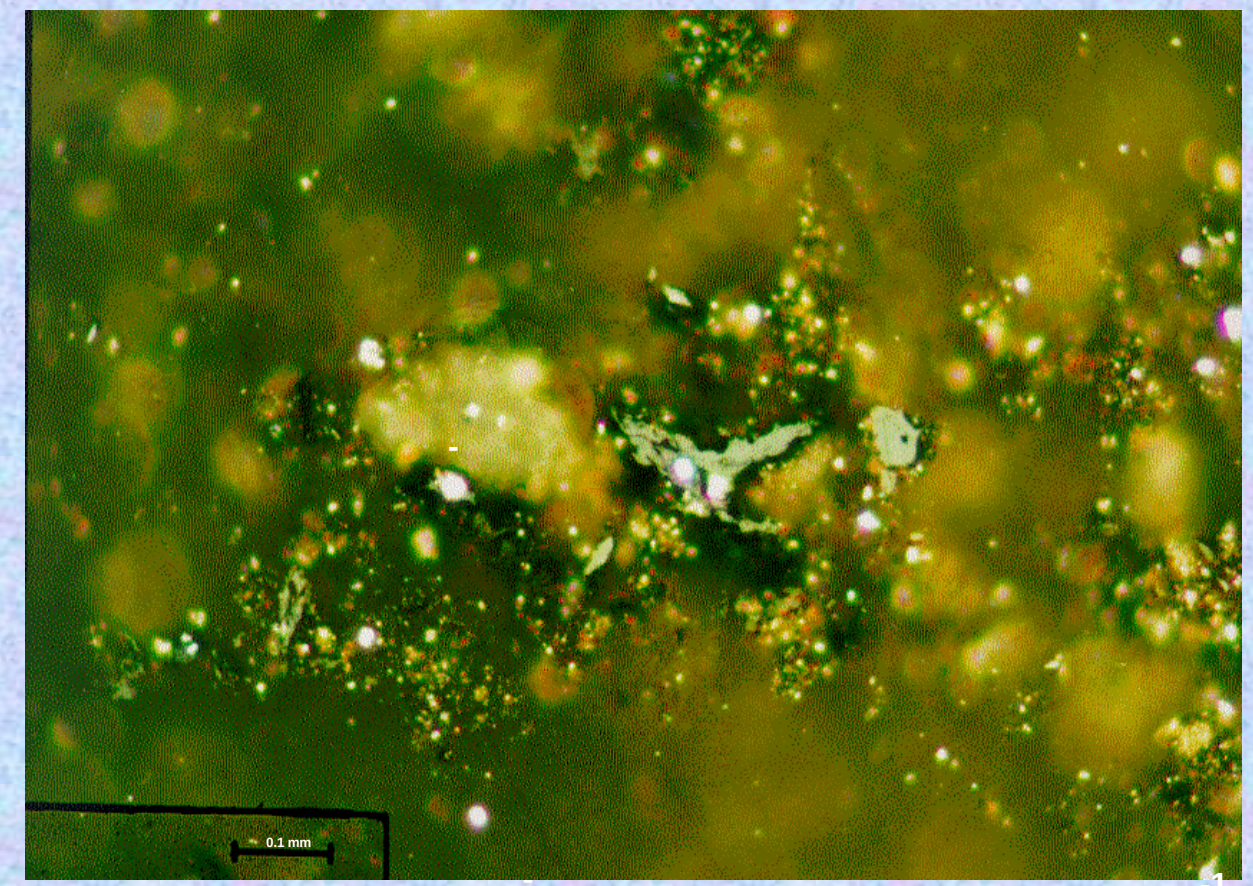


FACIES ORGÁNICA DEL TIPO ZOOBENTÓNICA ALGÁCEA DE EDAD JURÁSICO SUPERIOR, CAPAZ DE GENERAR MAS ACEITE QUE GAS.

TIPOS DE KERÓGENO

Herbáceo

Abarca todos los materiales membranosos de las plantas, incluyendo cutículas, hojas, polen, esporas etc.

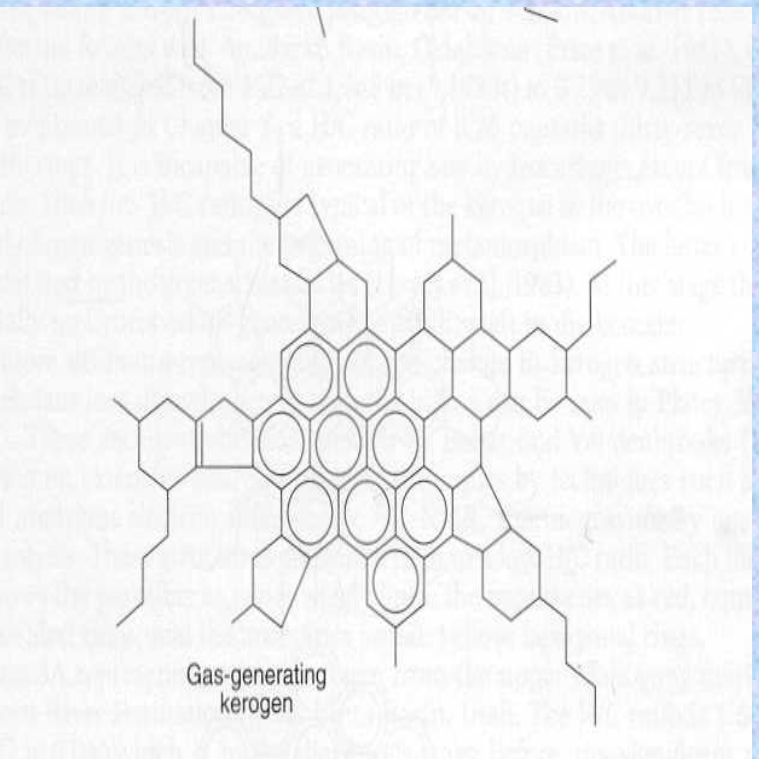


TIPOS DE KERÓGENO

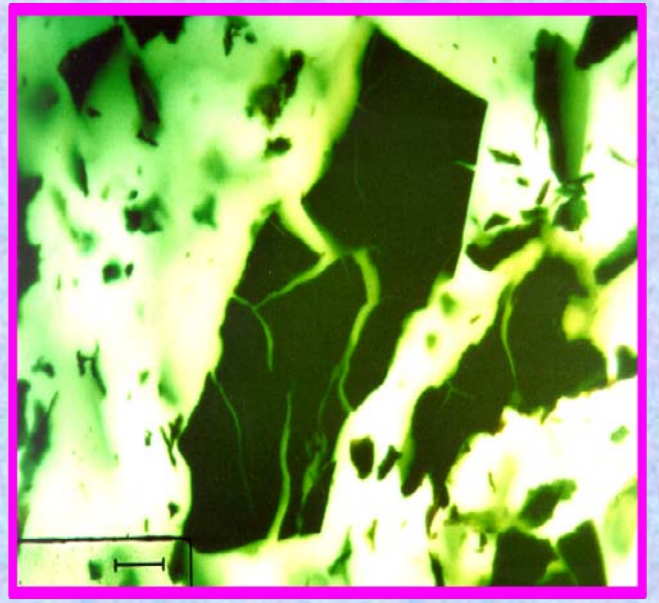
Maderáceo (leñoso).

Formado por los detritos más lignitificados de los remanentes de la estructura de las plantas (ramas y tallos).

Consiste de moléculas de alto peso molecular que contiene anillos aromáticos condensados.



LIGNOCELULOSICA

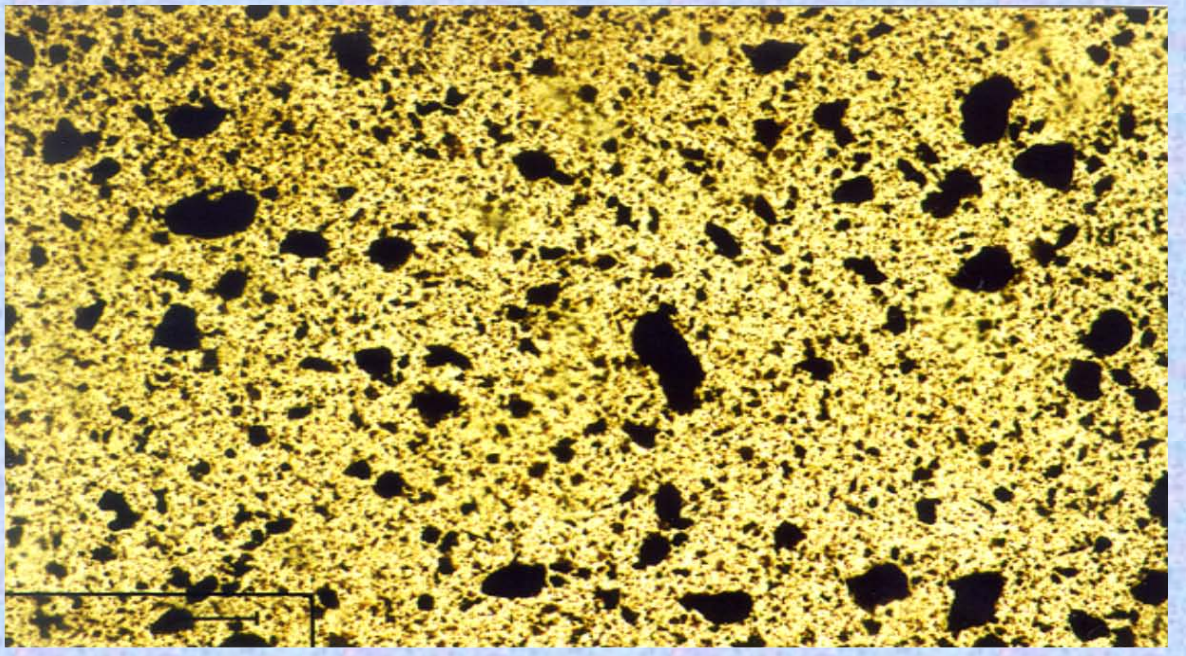


FACIES ORGÁNICA DEL TIPO LIGNOCELULÓSICA DE EDAD JURÁSICO INFERIOR, CAPAZ DE GENERAR GAS.

TIPOS DE KERÓGENO

Carbonáceo.

Esta más relacionado a la apariencia negra que presentan las partículas que lo constituyen. Puede provenir de cualquier tipo de kerógeno retrabajado o sobremaduro



FACIES ORGÁNICA DEL TIPO CARBONOSO DE EDAD JURÁSICO SUPERIOR (FM. PIMIENTA), CAPAZ DE GENERAR GAS.

KERÓGENO

	Sapropélico		Húmico	
Grupos de carbón maceral	Liptinita (exinita)		Vitrinita	Inertinita
Carbón maceral	Algita		Telinita	Inertodetrinita
	Cerinita		Telocollinita	Escleotinita
	Esporinita		Desmocollinita	Macrinita
	Cutinita		Vitrodetrinita	
	Resinita			
	Lipodetrinita			
	Fluorecentes	Amórfos	No florecente Amorfo	
Tipos de Kerógeno	I	II	III	IV
H/C	1.9 a 1.0	1.5 a 0.8	1.0 a 0.5	0.6 a 0.1
O/C	0.1 a 0.02	0.2 a 0.02	0.3 a 0.02	0.3 a 0.01
Fuentes	Marino, Lacustre, terrestre.		Terrestre y reciclado	

KERÓGENO

El análisis del tipo de kerógeno sirve para determinar la calidad y el tipo de hidrocarburo que puede generar, en función de establecer las relaciones atómicas H/C y O/C.

En función de estas relaciones, de su origen y composición, se puede dividir en cuatro tipos: tipo I, tipo II, tipo III y tipo IV.

Tipos de Kerógeno

Kerogeno	H/C	O/C	Observaciones
Tipo 1	alto valor	bajo	provisto por algas y es común en lutitas petrolíferas.
Tipo 2	alto valor	bajo	provisto por fitoplancton, zooplancton y bacterias en ambiente marino. Puede pasar a hidrocarburos por sepultamiento
Tipo 3	bajo valor	alto	provisto por restos muy macerados de plantas terrestres. Puede generar gas.

Tipo de kerógeno	C % en peso	H % en peso	O % en peso	N % en peso	S % en peso
Tipo I	78,8	8,8	7,7	2,0	2,7
Tipo II	77,8	6,8	10,5	2,2	2,7
Tipo III	82,5	4,6	10,5	2,1	0,2

KERÓGENO TIPO I

Tiene una alta relación atómica H/C inicial (cerca de 1.5 o más), con una baja relación O/C inicial (generalmente menor de 0.1).

Se compone de gran cantidad de material lípido, particularmente cadenas alifáticas.

Por pirolisis (550-600°C), produce un alto rendimiento de compuestos volátiles, mucho mayor que cualquier otro tipo de kerógeno (hasta 80% en peso para las muestras inmaduras de poca profundidad), y de manera similar, un alto rendimiento de aceites saturados.

Es un kerógeno poco común y probablemente es derivado de productos algáceos.

Derivado de materia orgánica que se acumuló en medios marinos, con excelente calidad de materia orgánica y gran potencial generador de hidrocarburos líquidos. Se trata de un kerógeno difícil de encontrar.

KERÓGENO TIPO II

Relacionado con sedimentos marinos en donde se deposita la materia orgánica autóctona y la transportada.

Derivado de una mezcla de fitoplancton, zooplancton, microorganismos (bacterias), plantas y animales superiores que se acumularon en un medio ambiente reductor.

Presenta menor rendimiento en la pirolisis que el de tipo I, aunque es más frecuente en muchas rocas generadoras y en lutitas aceitíferas; tiene relaciones H/C relativamente altas y O/C bajas.

En la catagénesis este tipo de kerógeno produce aceite y gas; el azufre se encuentra presente en cantidades notables.

Presenta menor calidad de materia orgánica o bien representativa de una mezcla de material continental, marino y lacustre.

El potencial generador es inferior al de las muestras de kerógeno tipo I.

A este tipo de kerógenos corresponde la generación de la mayor parte de los aceites producidos que se encuentran en los yacimientos de hidrocarburos.

El kerógeno tipo II es el que da como resultado hidrocarburos líquidos ricos en aromáticos, nafténicos y n-alcanos.

KERÓGENO TIPO III

Se refiere al kerógeno con relación H/C inicial relativamente baja (normalmente menos de 1.0) y una relación atómica O/C inicial alta (0.2 o 0.3).

Está compuesto por algunas cadenas largas que se han originado en las ceras de plantas superiores, por lo que es rico en vitrinita.

Este tipo es menos favorable para la generación de hidrocarburos líquidos que los otros dos, produce generalmente carbón o gas; es menos productivo durante la pirolisis.

Son característicos de material de tipo eminentemente continental, o bien marinos o lacustres, pero sometidos a una fuerte oxidación.

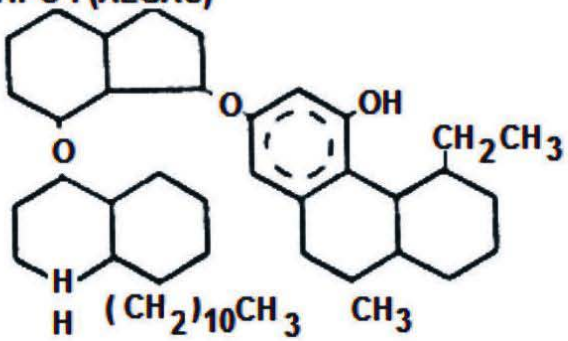
KERÓGENO TIPO IV

Se refiere a materia orgánica rica en inertinita, por lo que no produce aceite o gas.

Este tipo de kerógeno no es importante en la generación de hidrocarburos.

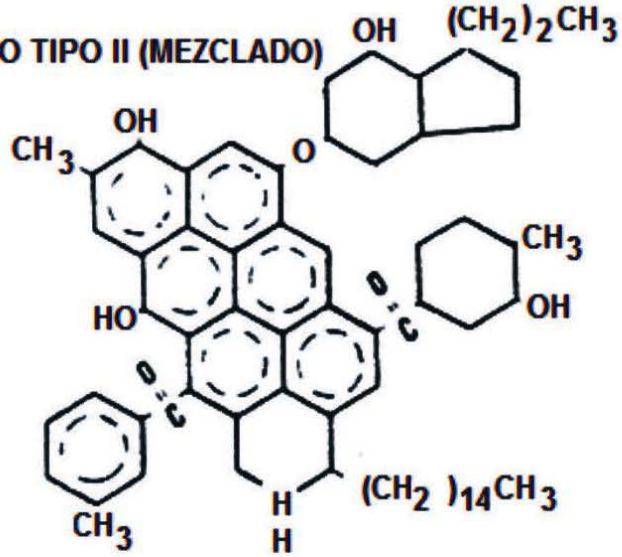
Diferentes tipos de Kerógeno

KEROGENO TIPO I (ALGAS)

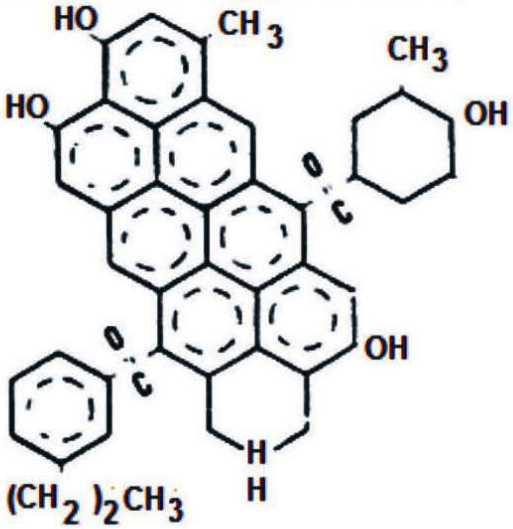


	I	II	III
H/C	1.65	1.28	0.84
O/C	0.06	0.10	0.13
HIDROCRABUROS	ACEITE	ACEITE-GAS	GAS

KEROGENO TIPO II (MEZCLADO)



KEROGENO TIPO III (CARBONICO)



Final de la diagénesis

- **El final de la diagénesis, de la materia orgánica sedimentaria, se sitúa en la forma más conveniente al nivel que los ácidos húmicos extraíbles han disminuido y en donde la mayor parte de los grupos carboxilo se han eliminado.**

- **Esto es equivalente al límite entre el carbón pardo y el carbón duro, de acuerdo con la clasificación de carbón, según en Manual Internacional de Petrología del carbón. Corresponde a una reflectancia de vitrinita cercana a 0.5%.**

CATAGÉNESIS

La segunda etapa es la catagénesis, una vez que se tienen los sedimentos consolidados, se entierran a profundidades mayores a 1, 000 m normalmente, debido al depósito de nuevos sedimentos.

En estas condiciones aumenta la temperatura y la presión, lo que genera nuevos cambios en la materia orgánica por lo que el kerógeno se transforma en hidrocarburos.

El kerógeno sufre transformación térmica y genera el petróleo (geomonómero), gas húmedo y condensado. Posteriormente y debido a condiciones más drásticas de temperatura y profundidad, se produce la generación de gas seco o metano catagénico.

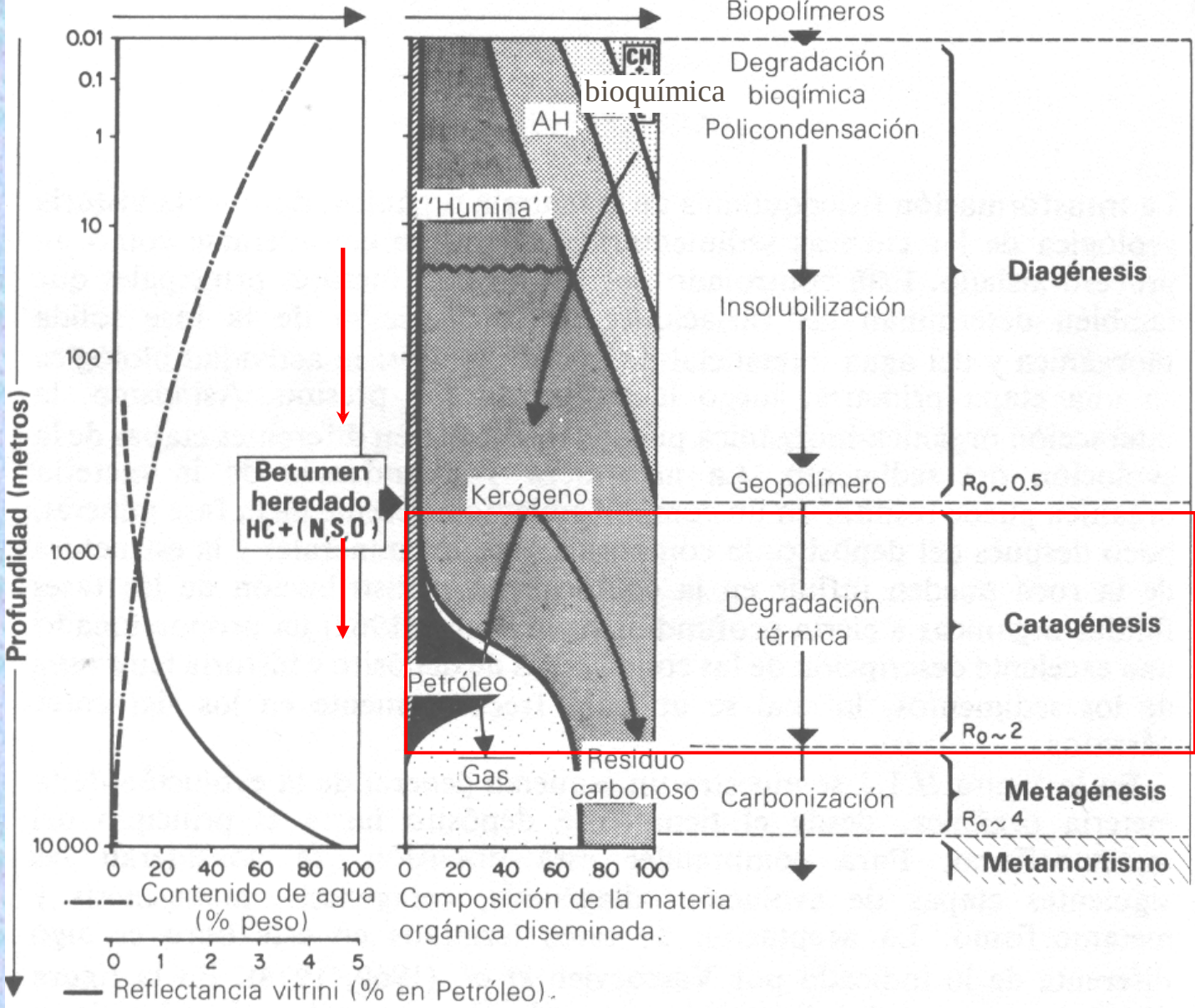
Condensados: Líquidos del gas natural constituidos principalmente por pentanos y componentes de hidrocarburos más pesados.

Gas húmedo: Mezcla de hidrocarburos que se obtiene del proceso del gas natural del cual le fueron eliminadas las impurezas o compuestos que no son hidrocarburos, y cuyo contenido de componentes más pesados que el metano es en cantidades tales que permite su proceso comercial.

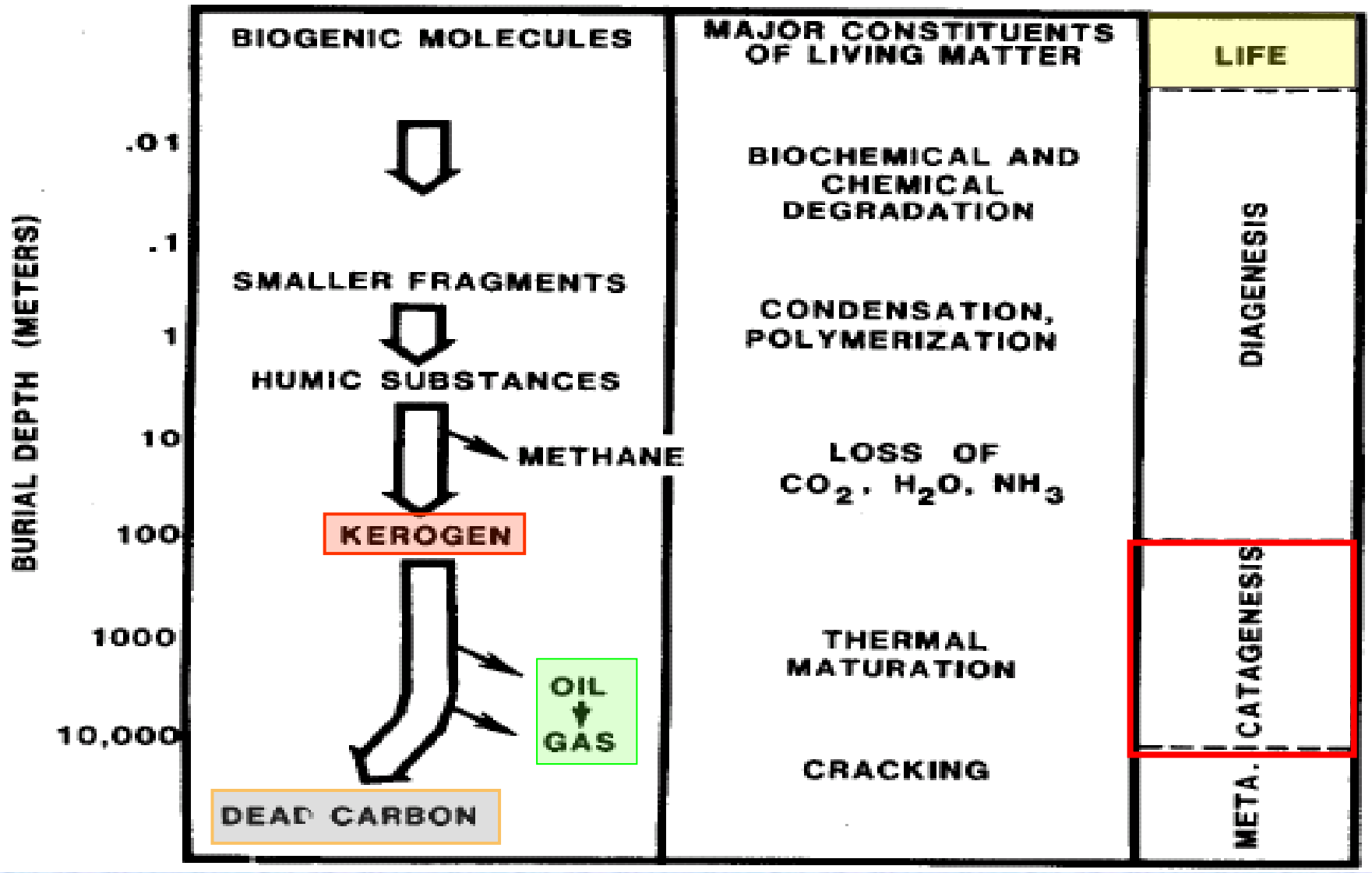
Clasificación por su composición

Denominación Estándar	Gas Dulce Seco	Gas Amargo Seco	Gas Dulce Húmedo	Gas Amargo Húmedo
Componente	*Gas No Asociado*		*Gas Asociado*	
Etano	**<10%**	**<10%**	**>10%**	**>10%**
H_2S	**<1%**	**>1%**	**<1%**	**>1%**
CO_2	**<2%**	**>2%**	**<2%**	**>2%**

Esquema de evolución de la materia orgánica



Esquema general de evolución de la materia orgánica, desde los sedimentos recientemente depositados hasta la zona metamórfica. *CH*: carbohidratos, *AA*: aminoácidos fúlvicos, *AH*: ácidos húmicos, *L*: lípidos, *HC*: hidrocarburos, *N,S,O*: compuestos de N,S,O (no hidrocarburos).



Transformación de la Materia Orgánica en los sedimentos

CATAGÉNESIS

Las temperaturas que se alcanzan en esta etapa son del orden de 50° y hasta 225°C aproximadamente, y la presión varía de 300 a 1500 bares. Con relación a la temperatura, se produce gas y aceite en los siguientes intervalos:

Aceite: de ± 60 a ± 175 °C

Gas: de ± 50 a ± 225 °C

CATAGÉNESIS

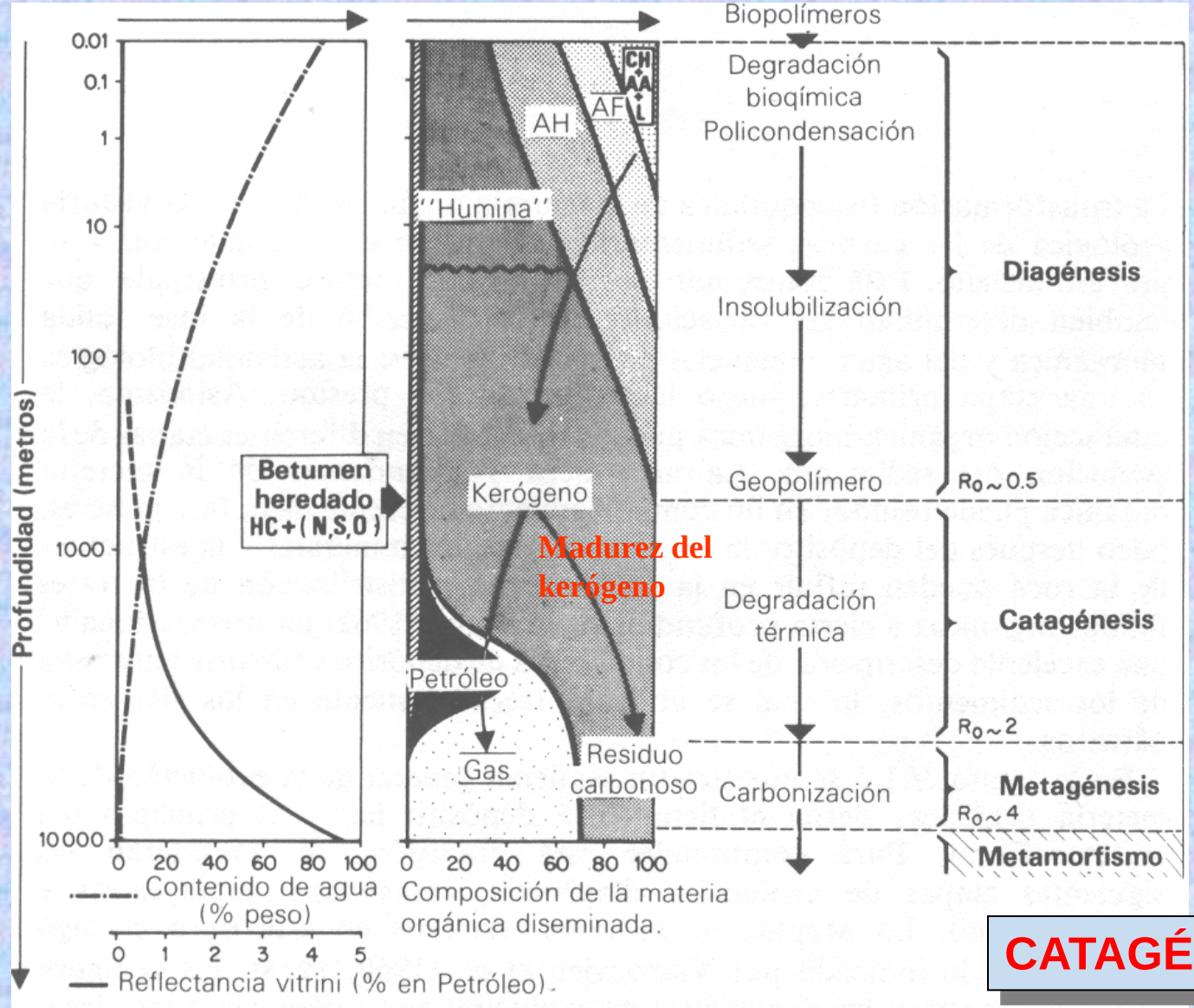
Los sedimentos con materia orgánica se sepultan rápida o lentamente en función de las características propias de la cuenca sedimentaria, de la tasa de sedimentación y de su entorno.

Cuando la roca generadora alcanza profundidades mayores a 1 km inicia la catagénesis, es decir, ¡ inicia la ventana de generación!

A los 2.6 Km se alcanza el máximo pico de generación de hidrocarburos líquidos.

Entre los 3.0 y 3.5 km se pasa a la catagénesis tardía, produciéndose menos aceite y más gas; por lo tanto es la principal zona de formación de gas (seco y húmedo), originándose pequeñas fracciones de hidrocarburos condensados.

Condensados: Líquidos del gas natural constituidos principalmente por pentanos y componentes de hidrocarburos más pesados.



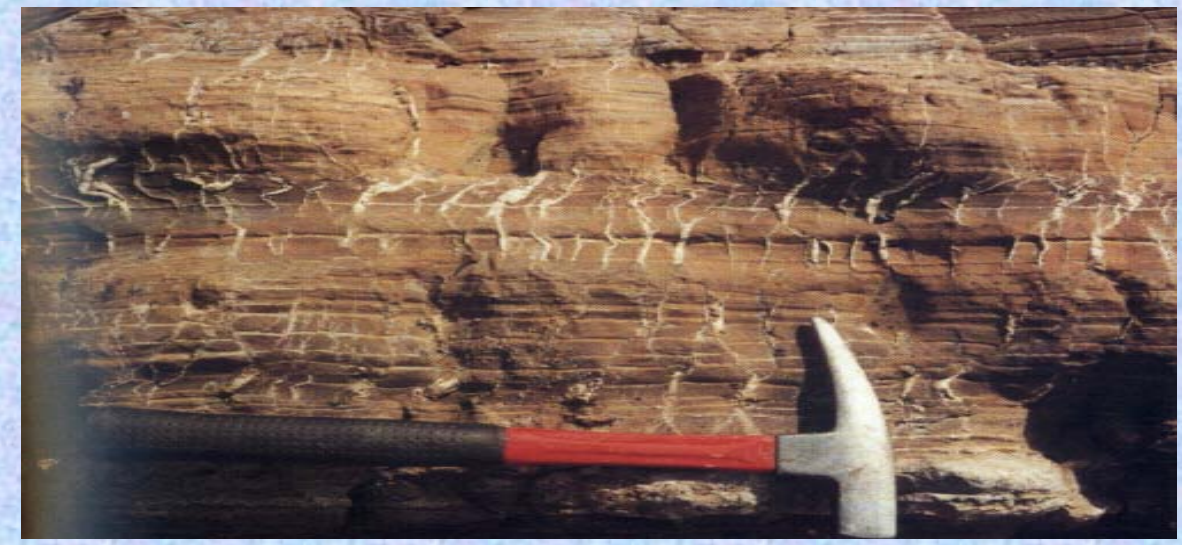
CATAGÉNESIS

Esquema general de evolución de la materia orgánica, desde los sedimentos recientemente depositados hasta la zona metamórfica. *CH*: carbohidratos, *AA*: aminoácidos fúlvicos, *AH*: ácidos húmicos, *L*: lípidos, *HC*: hidrocarburos, *N,S,O*: compuestos de N,S,O (no hidrocarburos).

MADUREZ DEL KERÓGENO

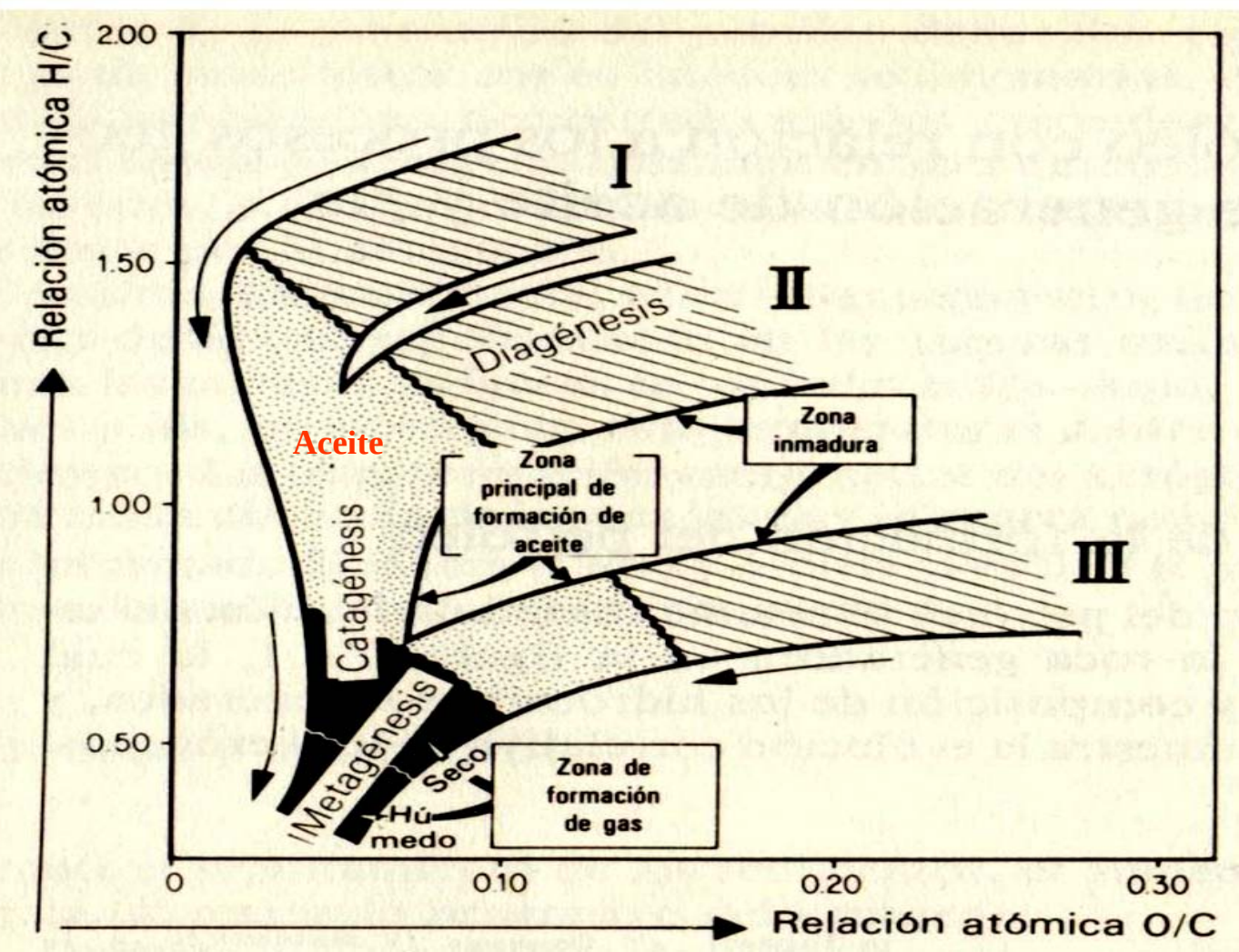
Son los cambios que sufre el Kerógeno con el incremento de la temperatura, durante la Catagénesis y la Metagénesis.

La catagénesis corresponde a la etapa de transformación del kerógeno donde se genera petróleo y gas húmedo.



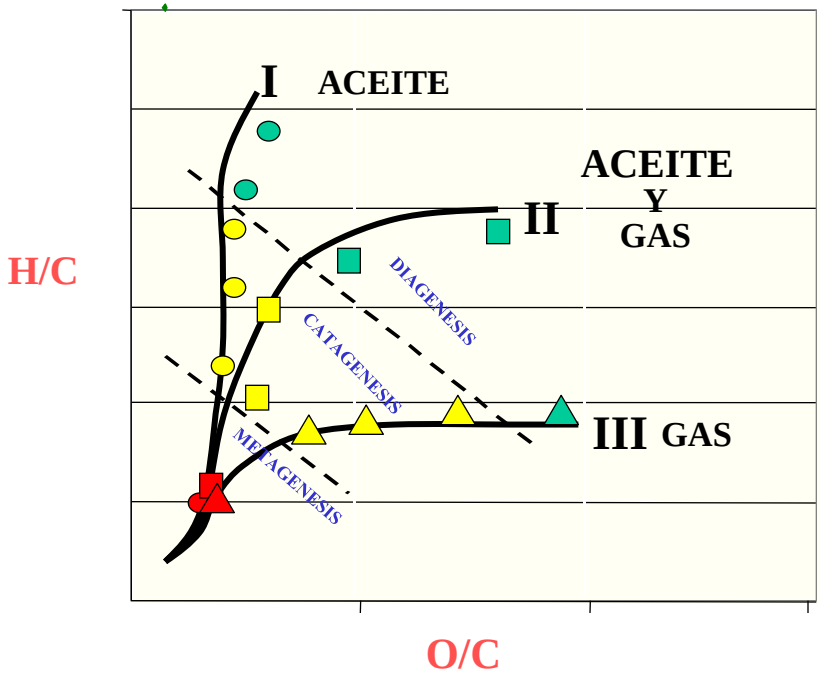
Cuenca Sta. María, California (Mioceno)

Esquema general de evolución del kerógeno presentado en el diagrama de van Krevelen. Se indican las etapas sucesivas de evolución, además de los principales productos generados durante dicho tiempo.



CLASIFICACIÓN QUÍMICA DEL KERÓGENO

Los Kerógenos se clasifican químicamente (Tissot y Durand 1974) en Kerógeno tipo I, II, III y IV, dependiendo de su composición elemental y de su evolución con respecto a la gráfica de Van Krevelen que relaciona H/C vs. O/C.



I KEROGENO DERIVADO DE MATERIA ORGANICA MARINA

II KEROGENO DERIVADO DE MATERIA ORGANICA MARINA Y TERRESTRE

III KEROGENO DERIVADO DE MATERIA ORGANICA TERRESTRE

INMADURO Color azul

MADURO

SOBREMADURO

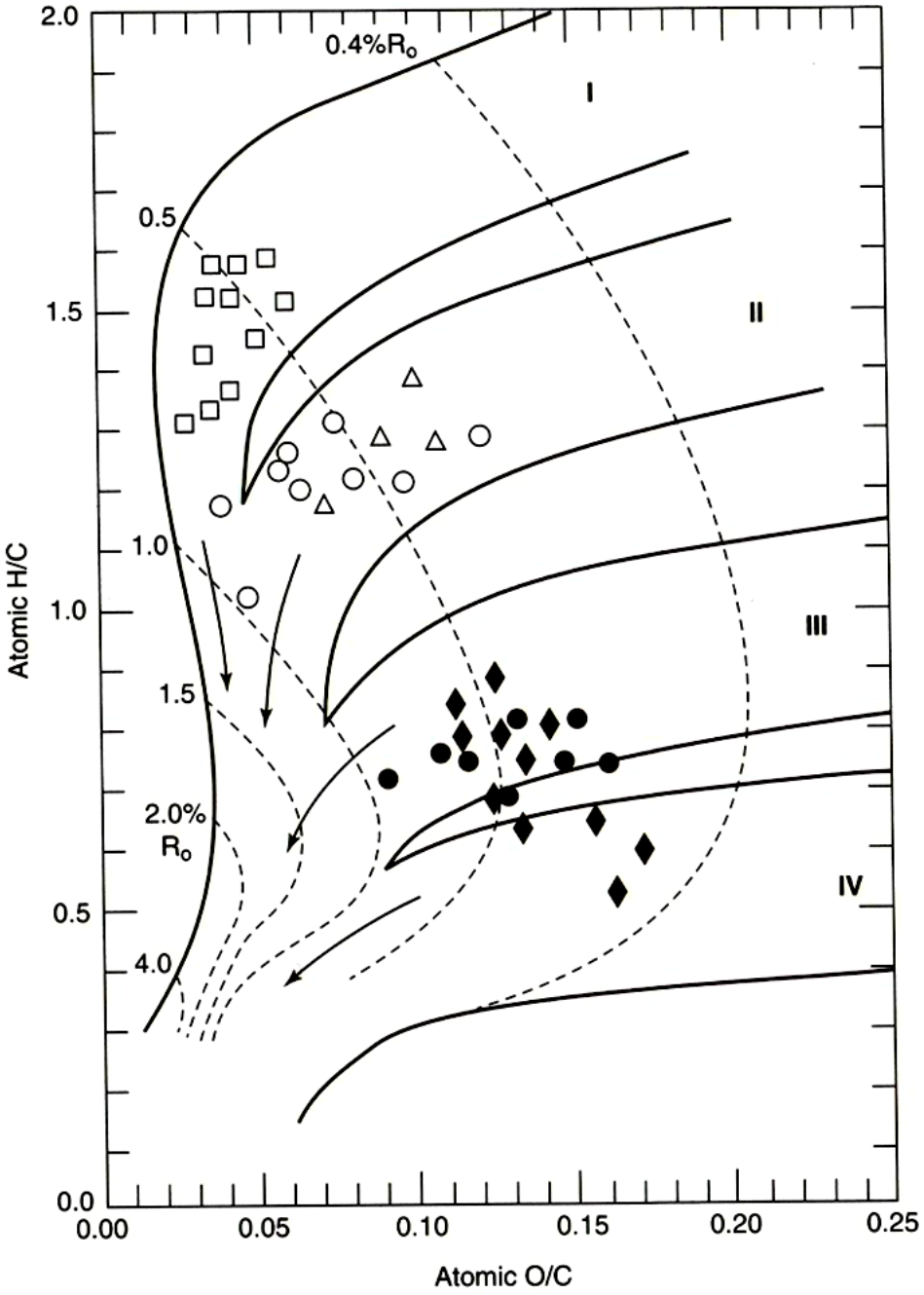
Diagrama Van Kravelen

Muestra las relaciones atómicas de H/C y O/C para determinar la madurez de un kerógeno.

Las líneas punteadas indican reflectancia de la vitrinita (Ro %) y las flechas indican la dirección del incremento de la madurez.

El ejemplo presenta datos pertenecientes a EE.UU (Kerógeno tipo I), Arabia Saudita y Francia (Kerógeno tipo II),
Groenlandia (Kerógeno tipo III) y Alaska (Kerógeno tipo IV)

(Tomada de Hunt, 1996).



En el Kerógeno:

Durante la diagénesis: el O_2 se pierde rápidamente en forma de CO_2 y H_2O.

Durante la catagénesis y metagénesis: el H_2 se pierde más rápidamente, por la generación de hidrocarburos.

Con la pérdida de H_2 la capacidad de generación de hidrocarburos disminuye hasta agotar su potencial petrolífero.

El color cambia progresivamente:

Amarillo-Dorado-Naranja-Café Claro-Café Oscuro-Negro

INDICE DE ALTERACIÓN TÉRMICA (TAI)

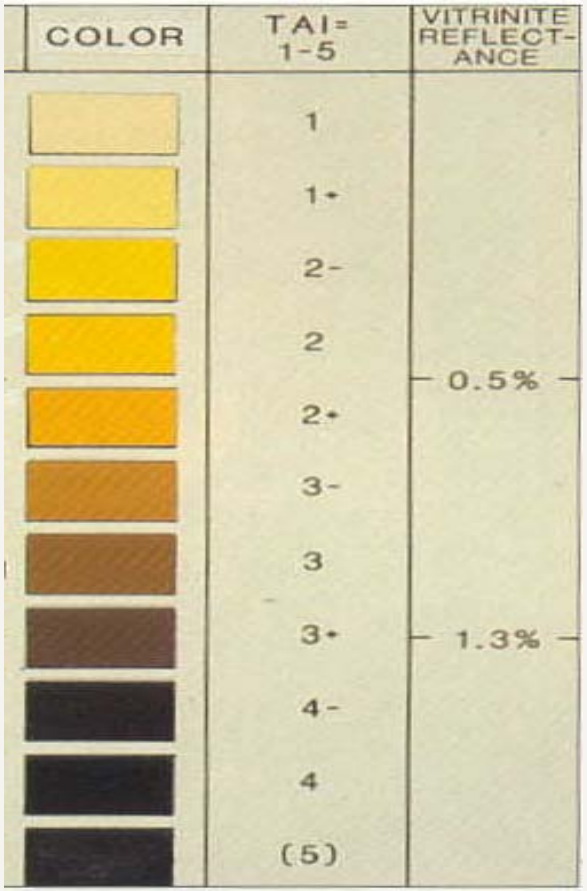
SEGUN EL COLOR DE LA MATERIA ORGÁNICA SE PUEDE DETERMINAR LA MADUREZ DE LA MISMA

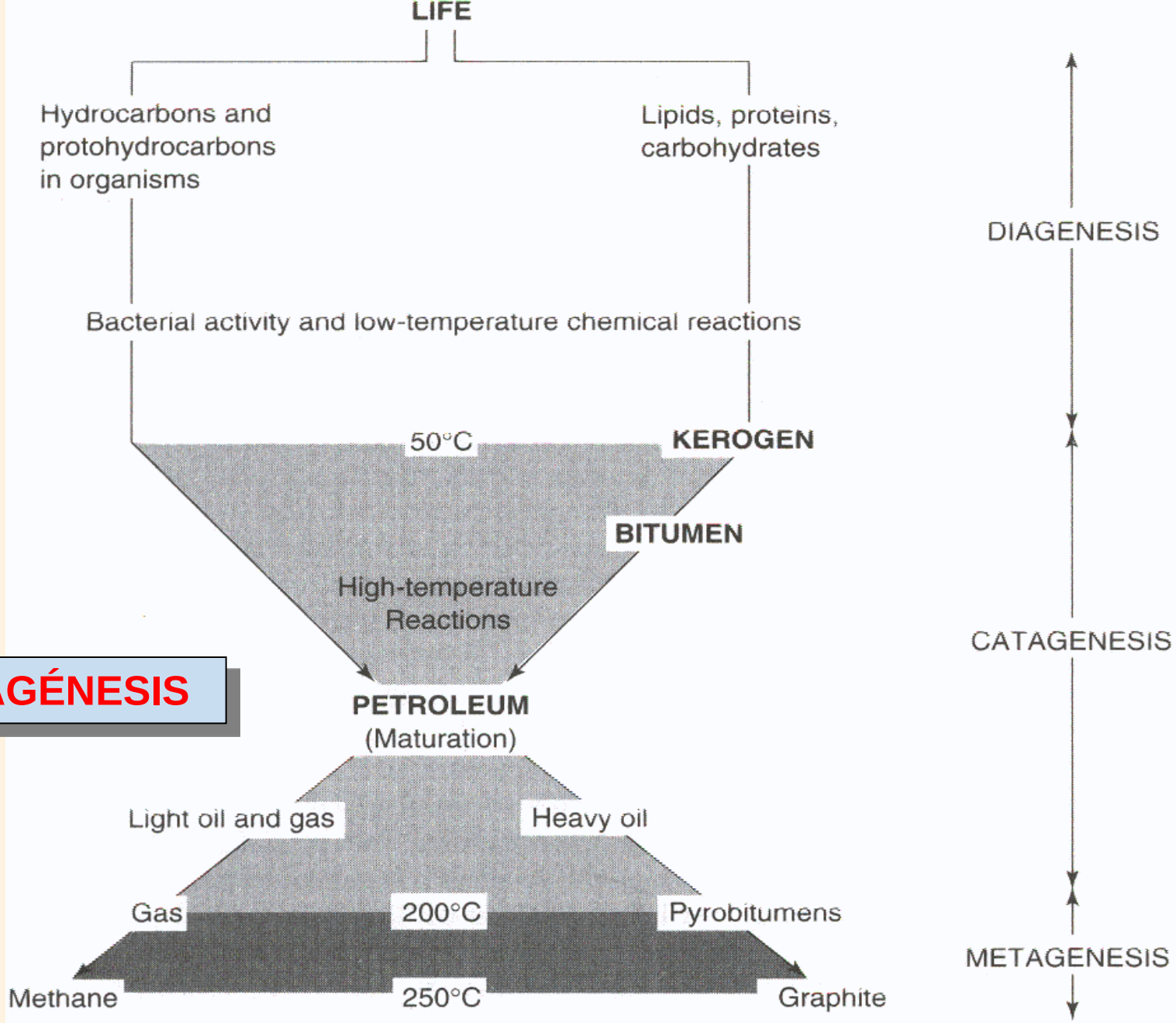
MADUREZ:

INMADUREZ

MADUREZ.
FASE PRINCIPAL DE GENERACION DE ACEITE

SOBREMADUREZ.
FASE PRINCIPAL DE GENERACION DE GAS





CATAGÉNESIS

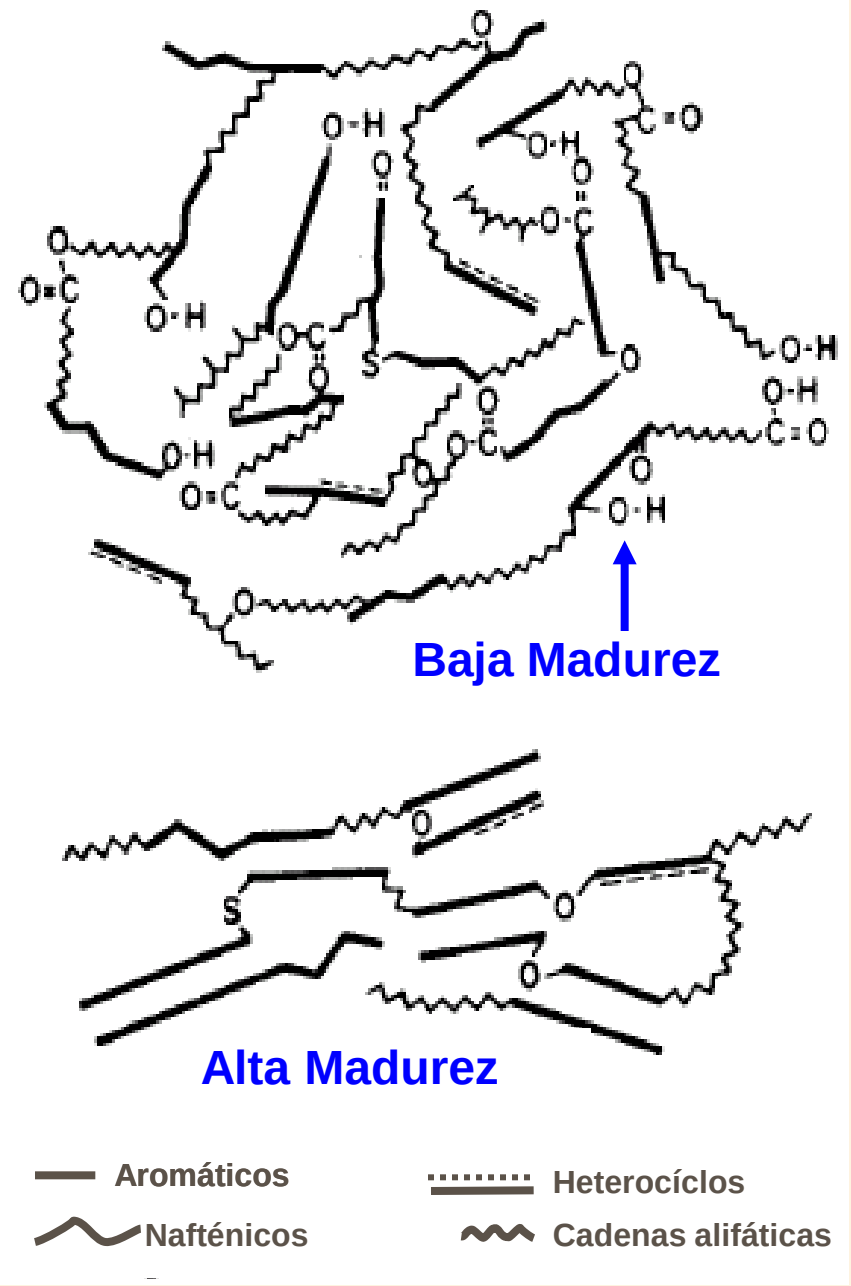
Origen y madurez del petróleo

Kerógeno:

Conforme el Kerógeno se madura, su estructura se aromatiza (Son compuestos no saturados donde alternan enlaces simples y covalentes, en una cadena cerrada de seis carbonos, formando anillos llamados *bencenos*.)**y se hace más plana, mas organizada, y las partículas van reflejando mayormente la luz.**

El porcentaje de luz que reflejan las partículas de vitrinita es mayor conforme mayor sea su madurez. A esto se le llama poder de reflexión de la vitrinita ó reflectancia de vitrinita (Ro).

Los kerógenos fluorecen y la longitud de onda de la fluorescencia está en función de la madurez del kerógeno.

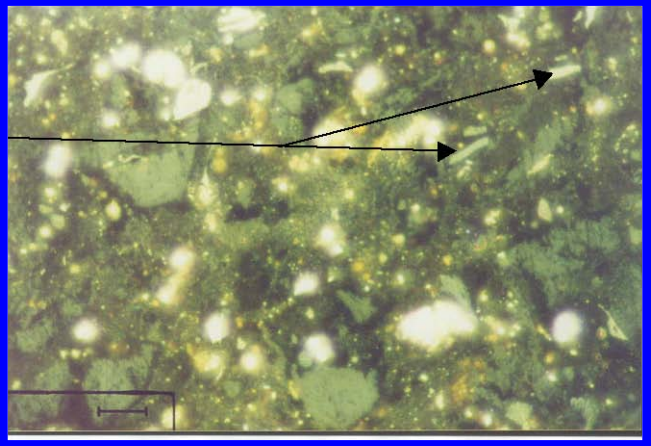


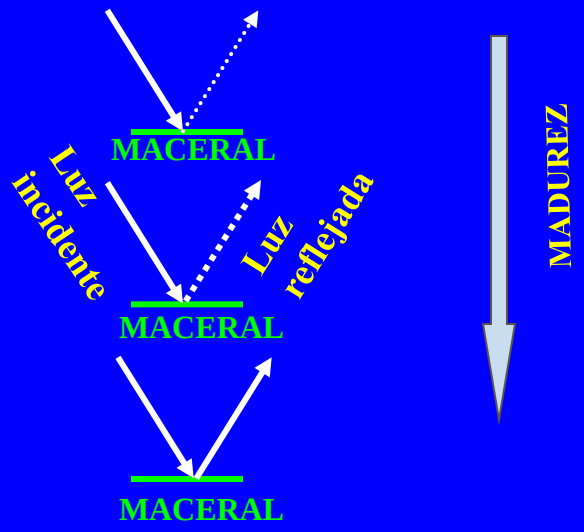
REFLECTANCIA DE LA VITRINITA

Macerales: constituyentes del carbón con estructura molecular similar a la materia orgánica de la cual se derivan, su poder de reflexión al hacerles incidir un rayo de luz es proporcional a su madurez

TIPO DE KEROGENO	MACERAL
I	ALGINITA
II	EXINITA
III	VITRINITA

MACERAL VITRINITA PRINCIPAL MATERIAL PARA MEDIR LA REFFLECTANCIA Ro





Escala de madurez los valores de la reflectancia de la vitrinita son:

Madurez	Reflectancia (Ro %)
Inmadurez	0.2 a 0.5
Madurez temprana	0.5 a 0.65
Madurez media	0.65 a 0.9
Madurez tardía	0.9 a 1. 35
Sobre-madurez	> 1.35

Macerales*	Tipo de Kerógeno	Materia Orgánica Original
Alginita	I	Algas de agua dulce.
Exinita	II	Polen y esporas.
Cutinita	II	Cutículas de plantas terrestres.
Resinita	II	Resinas de plantas terrestres.
Liptinita	II	Lípidos de plantas terrestres y algas marinas.
Vitrinita	III	Material leñoso y celulósico de plantas terrestres.
Inertinita	IV	Carbón: materia altamente oxidada o retrabajada

Los petrógrafos del carbón definen a los "Macerales" como "Minerales Orgánicos"

TIPOS DE KERÓGENOS

Tipo I

- **Poco común, derivado de algas lacustres.**
- **Se limita a lagos anóxicos y raramente a ambientes marinos.**
- **Tiene gran capacidad para generar hidrocarburos líquidos.**
- **Ej. Lutita Green River (Eoceno) Wyoming, Utah, Colorado.**

Tipo II

- **Fuentes diversas: algas marinas, polen, esporas, ceras de hojas y resinas fósiles y lípidos bacteriales.**
- **Gran potencial para generar HC's líquidos y gaseosos.**
- **Se asocia a sedimentos marinos de ambientes reductores.**
- **Ej. Lutitas del Kimmeridgiano (Jurásico Superior), del Mar del Norte, del Toarciano (Jurásico Inferior), en París, Cenomaniano-Turoniano (Cretácico Superior), del Medio Oriente, Fm. Monterrey del Mioceno, USA. Jurásico Superior del Golfo de México.**

TIPOS DE KERÓGENOS

Tipo III

- Se compone de Materia orgánica terrestre (celulosa y lignina) carente de compuestos grasos o cerosos.
- Tiene muy bajo potencial generador, principalmente de gas.
- Con inclusiones de kerógeno tipo II puede generar algo de líquidos.

Tipo IV

- Consiste principalmente de material orgánico retrabajado y de compuestos altamente oxidados de cualquier origen.
- Se le considera como un kerógeno sin potencial para generar hidrocarburos.

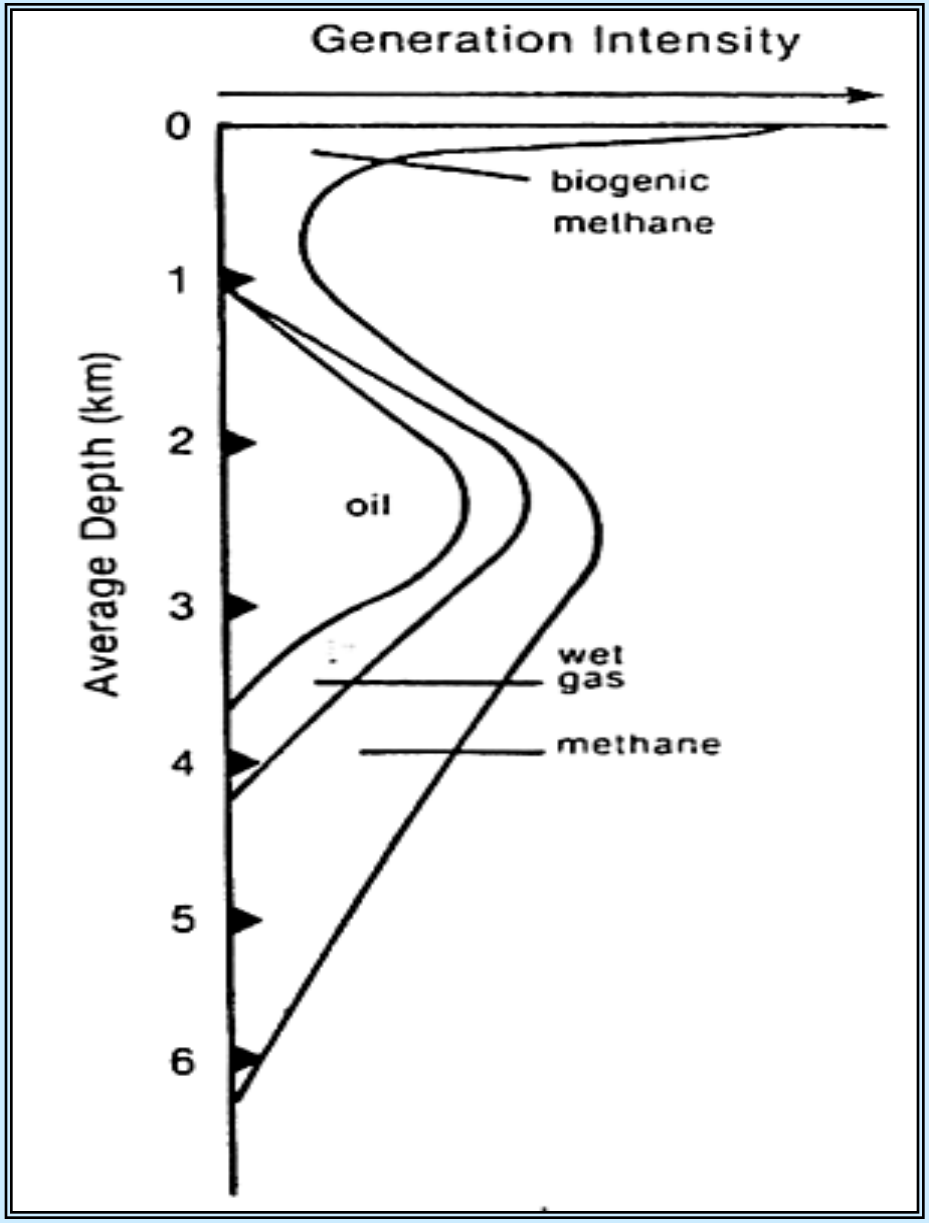
La madurez es un fenómeno irreversible…

Al incrementarse la madurez, en el kerógeno….

- ✓ **El contenido de Hidrógeno se reduce.**
- ✓ **Las partículas se oscurecen.**
- ✓ **La reflectividad aumenta.**
- ✓ **La capacidad para generar hidrocarburos disminuye.**

CATAGÉNESIS

En el proceso de catagénesis la temperatura juega un papel muy importante, por lo que se pueden también realizar divisiones que nos indican los cambios que experimenta la materia orgánica por el incremento del gradiente geotérmico.



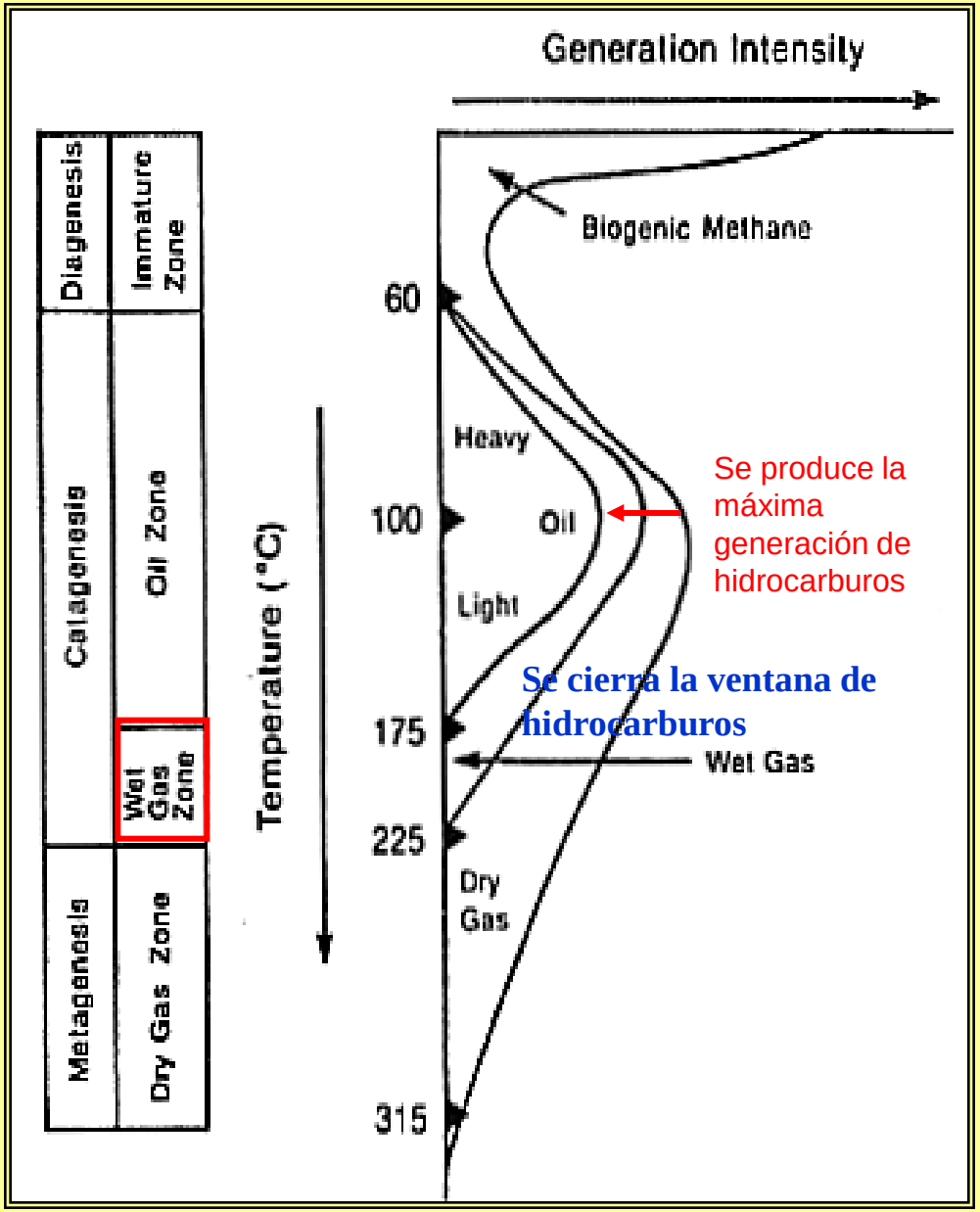
CATAGÉNESIS

A los 60° C empieza la generación principal de hidrocarburos líquidos, los cuales son pesados y ricos en nitrógeno, azufre y oxígeno.

Incremento de temperatura los aceites se van haciendo sucesivamente más ligeros: a los 100 °C se produce la máxima generación.

Por encima de los 100°, la generación de hidrocarburos disminuye y se forman hidrocarburos condensados y gases. La ventana de generación de hidrocarburos líquidos se cierra a los 175 °C.

Es importante señalar que la generación directa desde el kerógeno termina en los 225°C



En la Catagénesis:

- Es la zona principal de formación de aceite.
- Es la zona de formación de gas, en donde el gas húmedo, con una proporción creciente de metano, se genera en cantidades por medio de la desintegración.

CATAGÉNESIS

Durante la exploración petrolera, un parámetro importante a considerar es la reflectancia de la vitrinita, la cual en la catagénesis tiene valores de Ro entre 0.5 y 2.0.

Si al hacer el análisis en una muestra de materia orgánica se obtienen valores dentro de este intervalo, se puede concluir que la roca entró en la ventana de generación y se produjeron hidrocarburos.

Formación de hidrocarburos durante la Catagénesis

Para conocer la degradación térmica del kerógeno se requiere saber el contenido orgánico total del sedimento.

Por ejemplo el contenido de carbono del kerógeno inmaduro de la Cuenca de París, a la profundidad de sepultamiento de 400 a 800 m, equivale a 94% del total del carbono orgánico de la roca, mientras que el kerógeno sepultado a 2500 m en la parte central de la cuenca tiene tan sólo 81% del total del carbón orgánico recuperado en los núcleos.

El balance de este total de carbono orgánico esta representado por la cantidad de betumen extraíble, generado a partir del kerógeno.

Con el objeto de observar la formación de petróleo generalmente se mide el total del betumen extraíble de la roca.

a) La relación de materia orgánica a petróleo:

$$\frac{\text{Betumen}}{C_o} = \frac{HC + R + A}{C_o} \quad \text{o sólo} \quad \frac{HC}{C_o}$$

HC, hidrocarburos

R, resinas

A, asfaltenos

C_o el total del carbón orgánico

- El sepultamiento de sedimentos es el responsable del aumento de la temperatura, el cual a su vez determina la generación de hidrocarburos.

- El estudio del sepultamiento en la generación del petróleo en los sedimentos, requiere de una situación en la cual todos los parámetros geológicos- geoquímicos permanecen constantes excepto la profundidad.

(Mioceno), Cuenca Sta. María, California

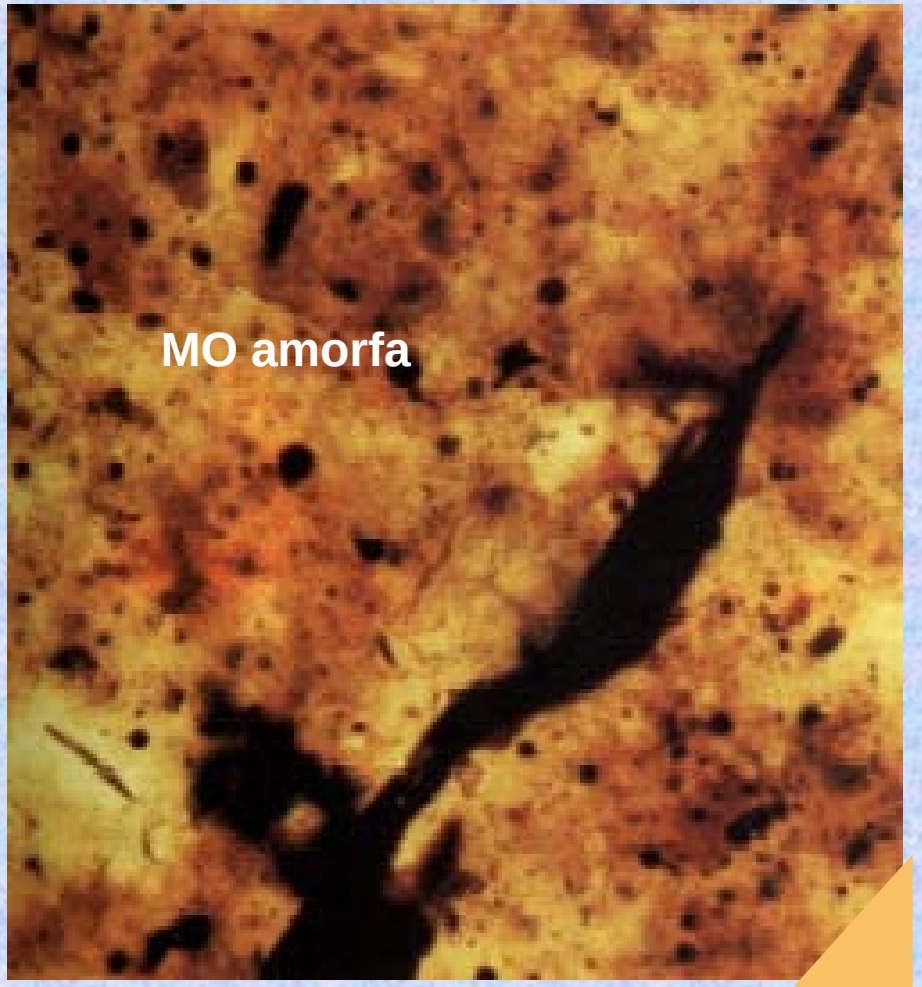
- **La composición química del kerógeno va a depender de la Materia Orgánica original y de sus cambios durante la diagénesis.**
- **Durante la Catagénesis se produce kerógeno residual cada vez más aromático y más pobre en H_2. Al mismo tiempo se producen moléculas pequeñas (bitúmenes), precursoras del petróleo y gas.**
- **La composición química del kerógeno define el tiempo de generación de los hidrocarburos y el tipo de productos a obtener.**
- **Los kerógenos ricos en lípidos son propensos a generar hidrocarburos líquidos, mientras que los que son pobres en lípidos generarán principalmente gas.**

Recordando la clasificación de TIPOS DE KERÓGENO

Los Kerógenos sapropélicos y húmicos a su vez se dividen, dependiendo del análisis visual del Kerógeno en:
(Cernock y Bayliss, 1977; en Hunt, 1979)

Sapropélicos
- **Amorfo**
- **Algáceo**
- **Herbáceo**

Húmicos
- **Maderáceo o leñoso**
- **Carbonáceo o inertinita**

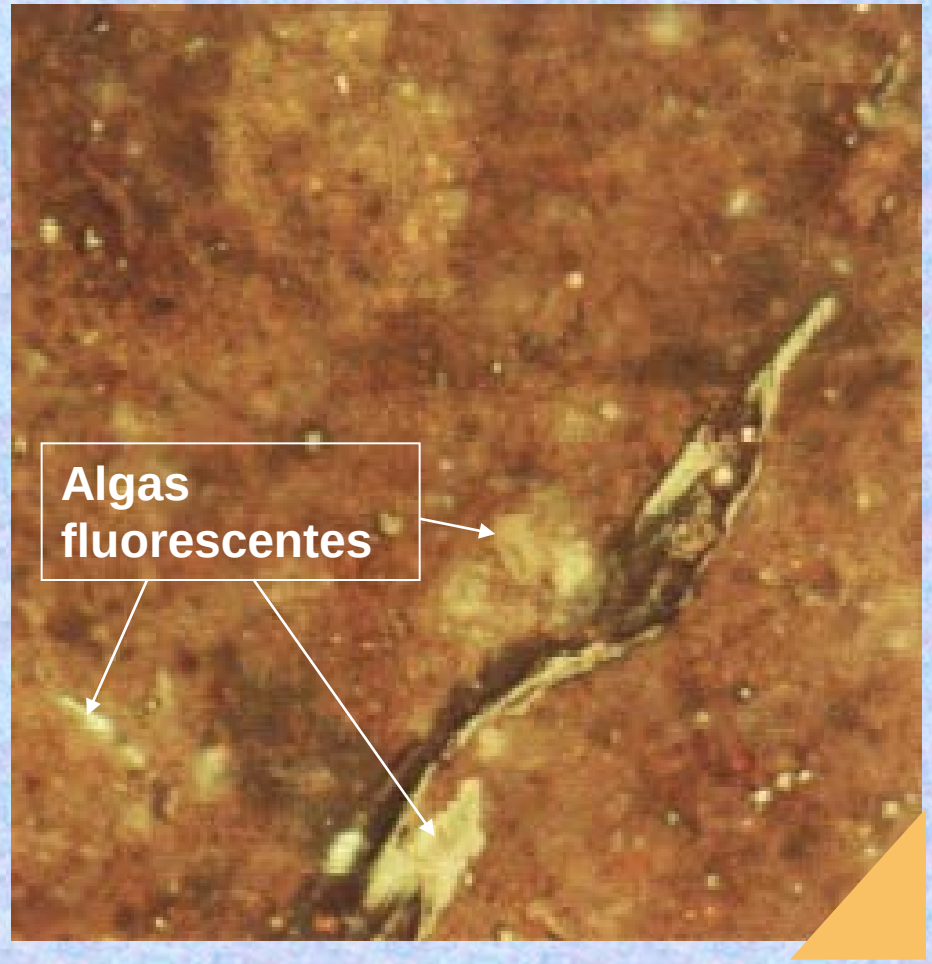


Luz transmitida

Luz natural reflejada

Lutitas del Toarciano (Jurásico Inferior), París.

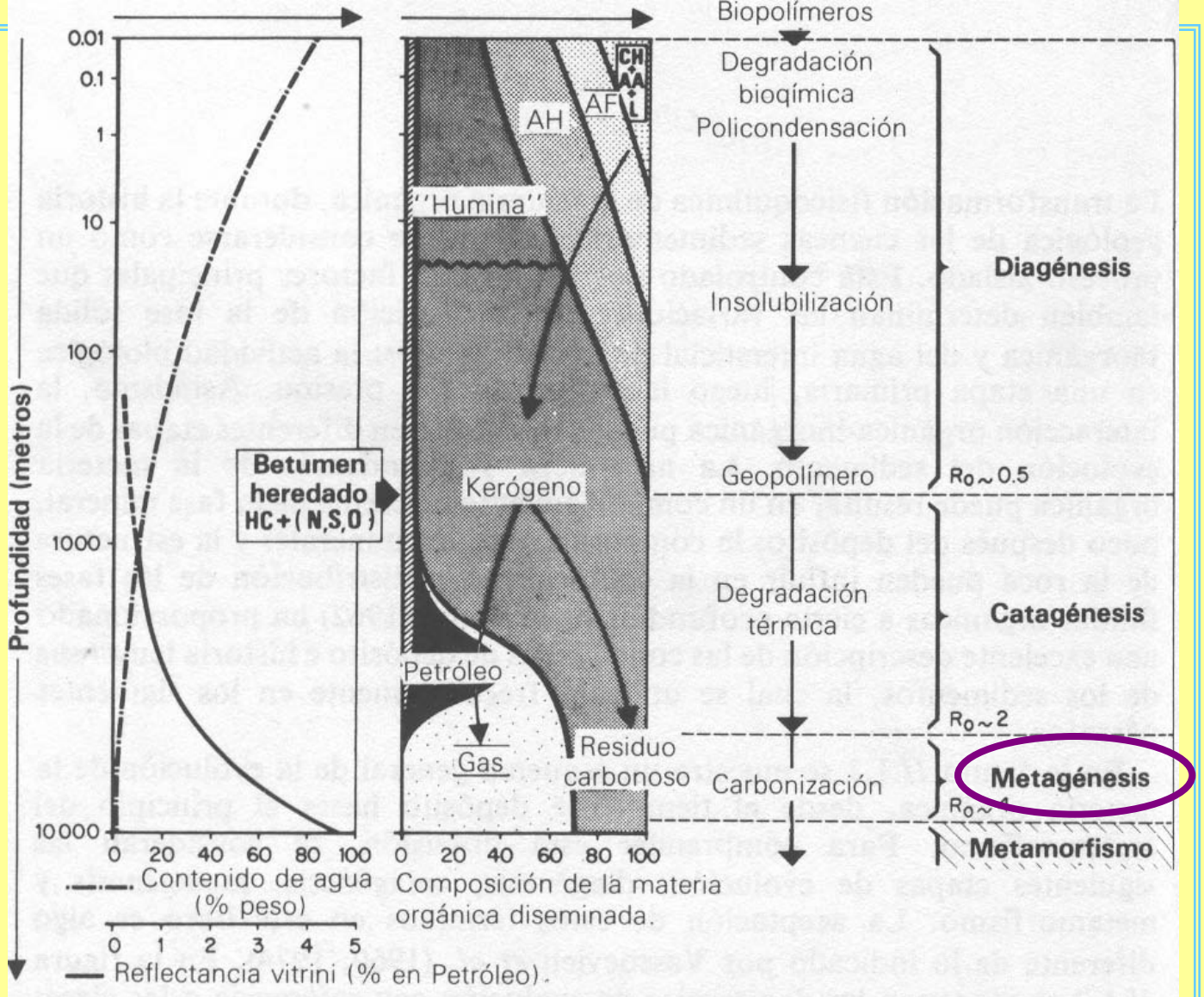
Luz polarizada



Fluorescencia, excitación UV

Lutitas del Toarciano (Jurásico Inferior), París.

Metagénesis

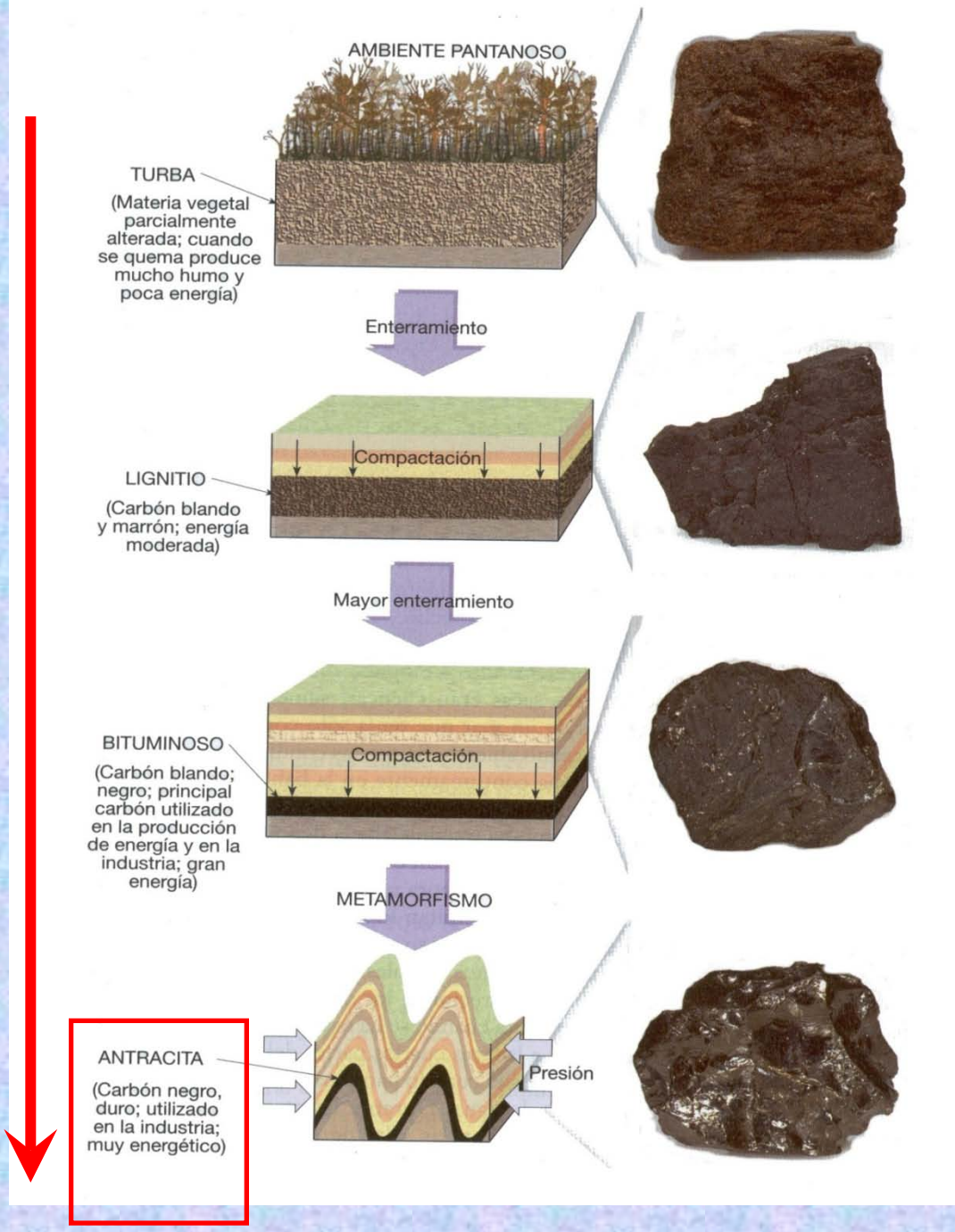


Esquema general de evolución de la materia orgánica, desde los sedimentos recientemente depositados hasta la zona metamórfica. *CH*: carbohidratos, *AA*: aminoácidos fúlvicos, *AH*: ácidos húmicos, *L*: lípidos, *HC*: hidrocarburos, *N,S,O*: compuestos de N,S,O (no hidrocarburos).

METAGÉNESIS

La tercera etapa dentro del proceso de transformación de la materia orgánica, corresponde a la metagénesis, que se realiza generalmente a grandes profundidades y altas temperaturas.

En esta etapa la materia orgánica residual se transforma en metano y el carbón en antracita.

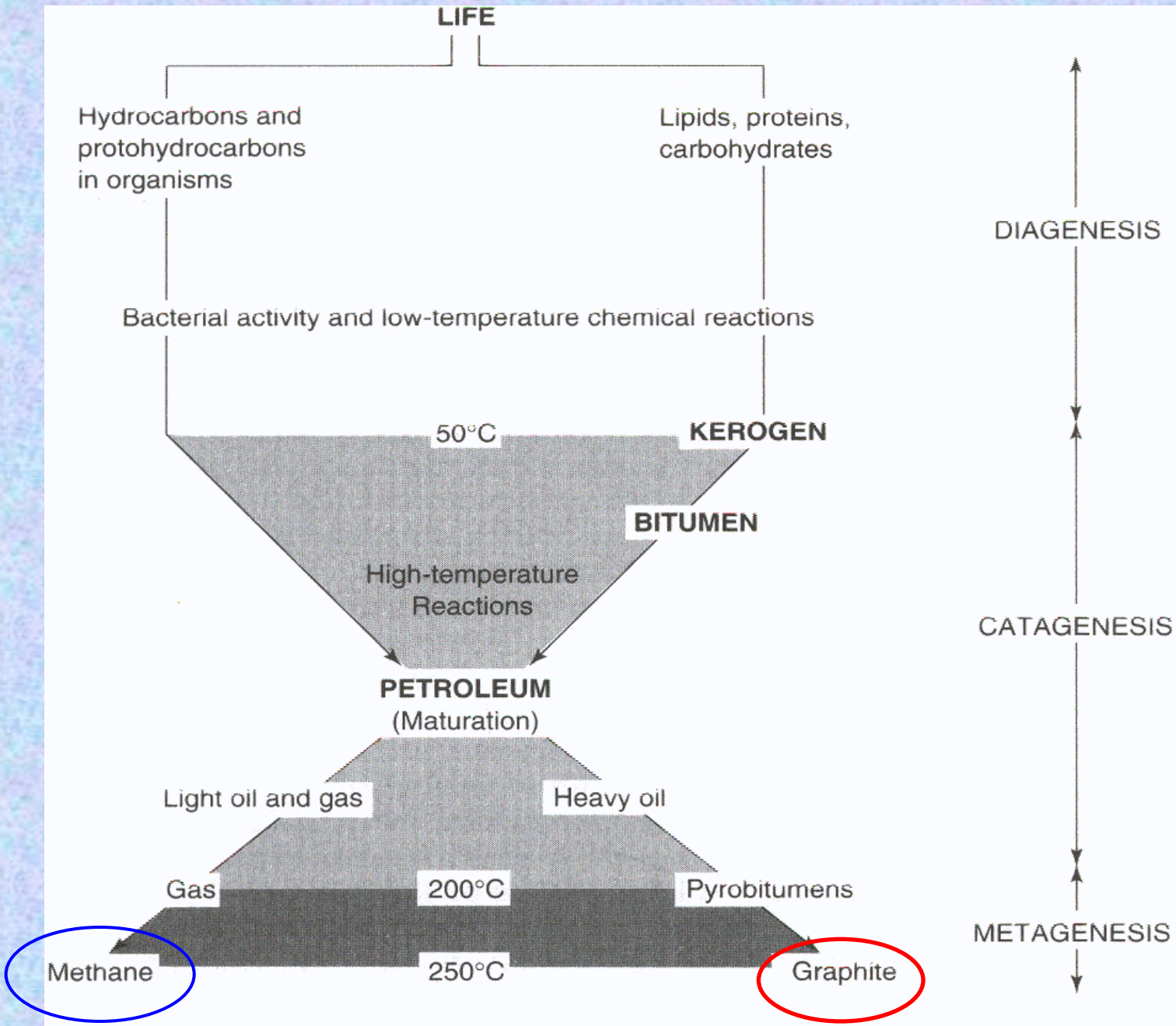


La metagénesis está considerada también como el inicio del metamorfismo.

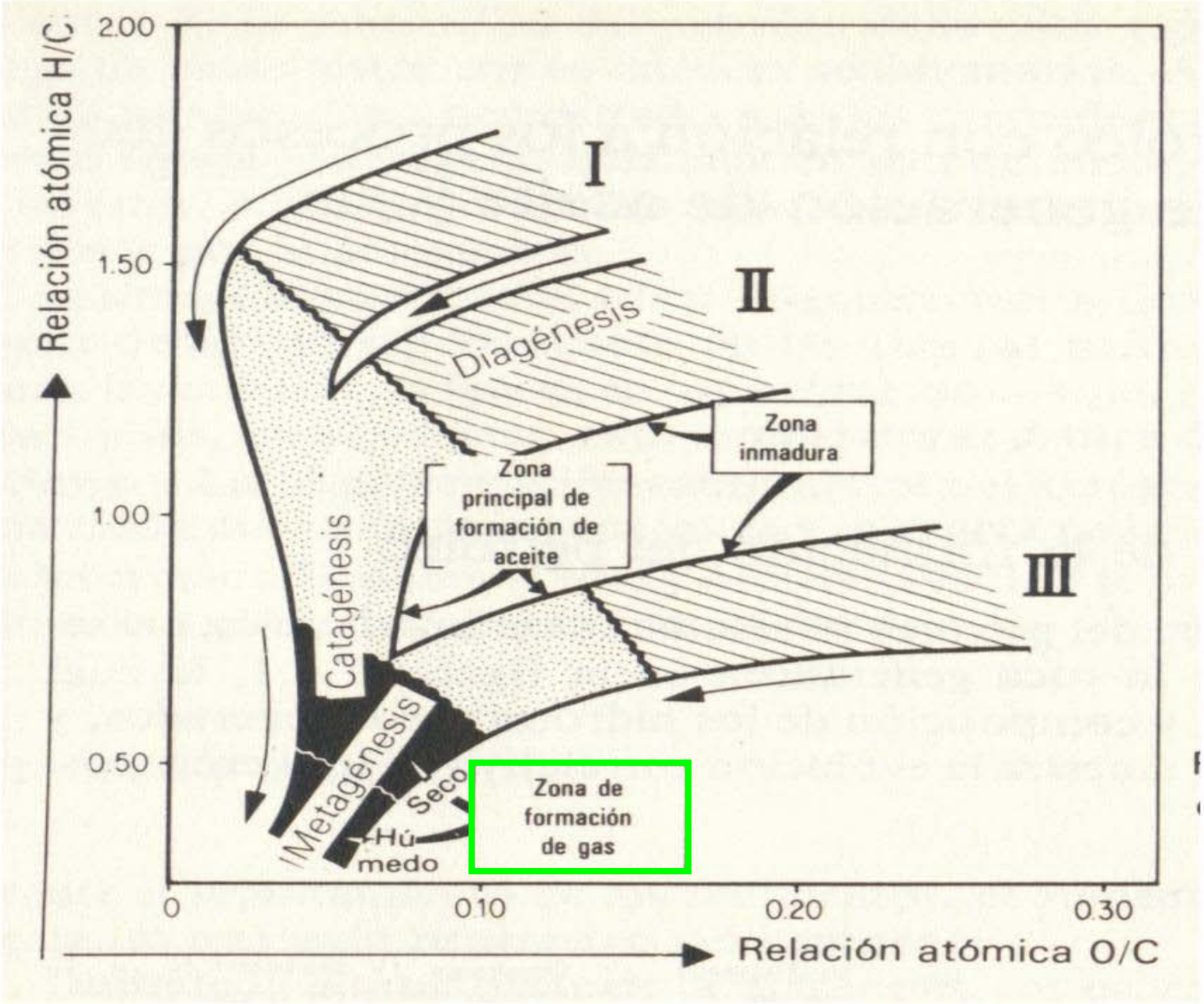
Se desarrolla a temperaturas mayores a los 225 °C y es la última etapa dentro de la transformación de la materia orgánica, considerada importante para la generación de gas.

La generación de metano acaba a los 315 °C con profundidades cercanas a los 8 Km, es decir, presiones litostáticas mayores a 1500 bares.

La porosidad de las rocas en estas condiciones disminuye notablemente, por lo que es difícil que se formen a estas profundidades yacimientos de hidrocarburos que tengan rendimiento económico.



Origen y madurez del petróleo


Relación atómica H/C
2.00
1.50
1.00
0.50
I
II
III
Diagénesis
Zona inmadura
Zona principal de formación de aceite
Catagénesis
Metagénesis
Seco
Hú medo
Zona de formación de gas
0
0.10
0.20
0.30
Relación atómica O/C

Metagénesis

- **Existe algo de generación adicional de hidrocarburos (principalmente metano) a partir del kerógeno; los hidrocarburos líquidos generados previamente también se desintegran y se convierten en gas.**

- Es la etapa de rearreglo estructural del kerógeno residual.

METAMORFISMO

Cuando el sepultamiento es mayor a los 10 km, inicia el proceso de metamorfismo, teniendo como resultado la transformación del carbón en meta-antracita y del kerógeno residual en grafito.

En estas condiciones, es imposible considerar la producción aun mínima de hidrocarburos gaseosos.