

Origen y Formación del Petróleo y gas



- **Las distintas teorías sustentadas para determinar el origen del petróleo, corresponden a la última parte del Siglo XIX.**
- **En la últimas cinco décadas, el avance sobre la génesis de los hidrocarburos, por medio de la información geoquímica, geológica y bacteriológica, ha permitido cancelar muchas teorías y acabar con el misterio de dicho origen.**

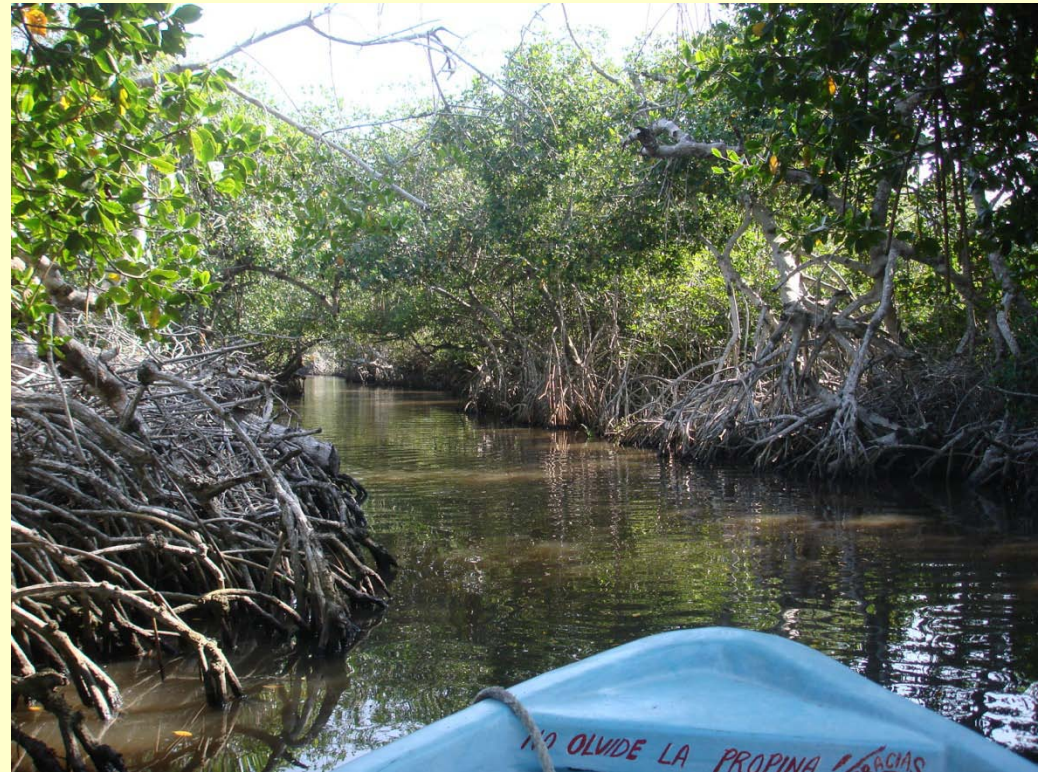


Centro de pruebas de Schlumberger en Cameron, Texas. Este centro cuenta con un equipo de perforación para pruebas de mediciones de pozo e integración de sistemas. Se encuentra montado sobre rieles para permitir el acceso conveniente a las diferentes bocas de una amplia variedad de pozos direccionales.

- **Para tratar de señalar la historia de los hidrocarburos, es necesario plantearse y resolver las siguientes interrogantes:**
- **a) ¿Cuál es la procedencia de los elementos Hidrógeno y Carbono?**
- **b) ¿Cómo se mezclan y acumulan estos elementos?**
- **c) ¿Cómo se da la transformación a hidrocarburos?**
- **d) ¿Cómo se sepultan estos materiales?**
- **e) ¿Cómo ocurre la transformación de sólido a líquido o gas?**
- **f) ¿Cuál fue el ambiente que favoreció este cambio?**
- **g) ¿Cómo puede explicarse la complejidad química del petróleo?**

Introducción

La cantidad de materia orgánica preservada en los sedimentos varía enormemente dependiendo de la cantidad, de la actividad biológica y del ambiente de depósito.



En los mares de Islandia, así como en el Mar Caspio y cuencas como en el Mar Báltico y en el Mar Negro, proporcionan en la actualidad condiciones de alta preservación de la materia orgánica, depositada junto con sedimentos de grano fino y minerales autigénicos.

También en sedimentos que han sido acumulados de la materia orgánica original (como esporas y resinas, remanentes orgánicos de algas y plancton).



Mar del báltico visto desde el espacio

El mar Caspio es un mar de agua salobre que se extiende entre Europa y Asia. Su superficie es de 371.000 km², su profundidad media es de 170 m, la máxima es de 995 m y **es el lago más extenso del mundo**. Sus dimensiones son **1210 km** en dirección norte-sur y de 210 km a 436 km en dirección este-oeste.



El mar de Aral era un lago endorreico, o mar interior, situado en Asia Central, entre Kazajistán, al norte, y Uzbekistán, al sur.



Antiguamente uno de los cuatro lagos más grandes del mundo, con una superficie de 68.000 kilómetros cuadrados, el Mar de Aral se ha ido reduciendo desde la década de 1960, después de que los ríos que lo alimentaban fueran desviados por los soviéticos, a causa de los proyectos de riego, y se ha reducido a menos del 10% de su tamaño original. Este hecho se ha calificado como uno de los mayores desastres medioambientales ocurridos en la historia reciente.



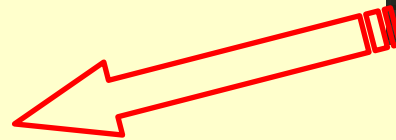


Aguas con deficiencia de oxígeno son llamadas **sapropels**.

Como en los deltas de Nigeria y el delta de Mahakam (en Indonesia), son **ejemplos típicos para el depósito de sedimentos ricos en materia orgánica** establecidos en las costas en áreas de alta vegetación.



Durante la subsidencia de las cuencas sedimentarias con un incremento en la sobrecarga, los sedimentos son convertidos progresivamente a rocas sedimentarias por procesos diagenéticos como: compactación, recristalización y/o procesos de remineralización.

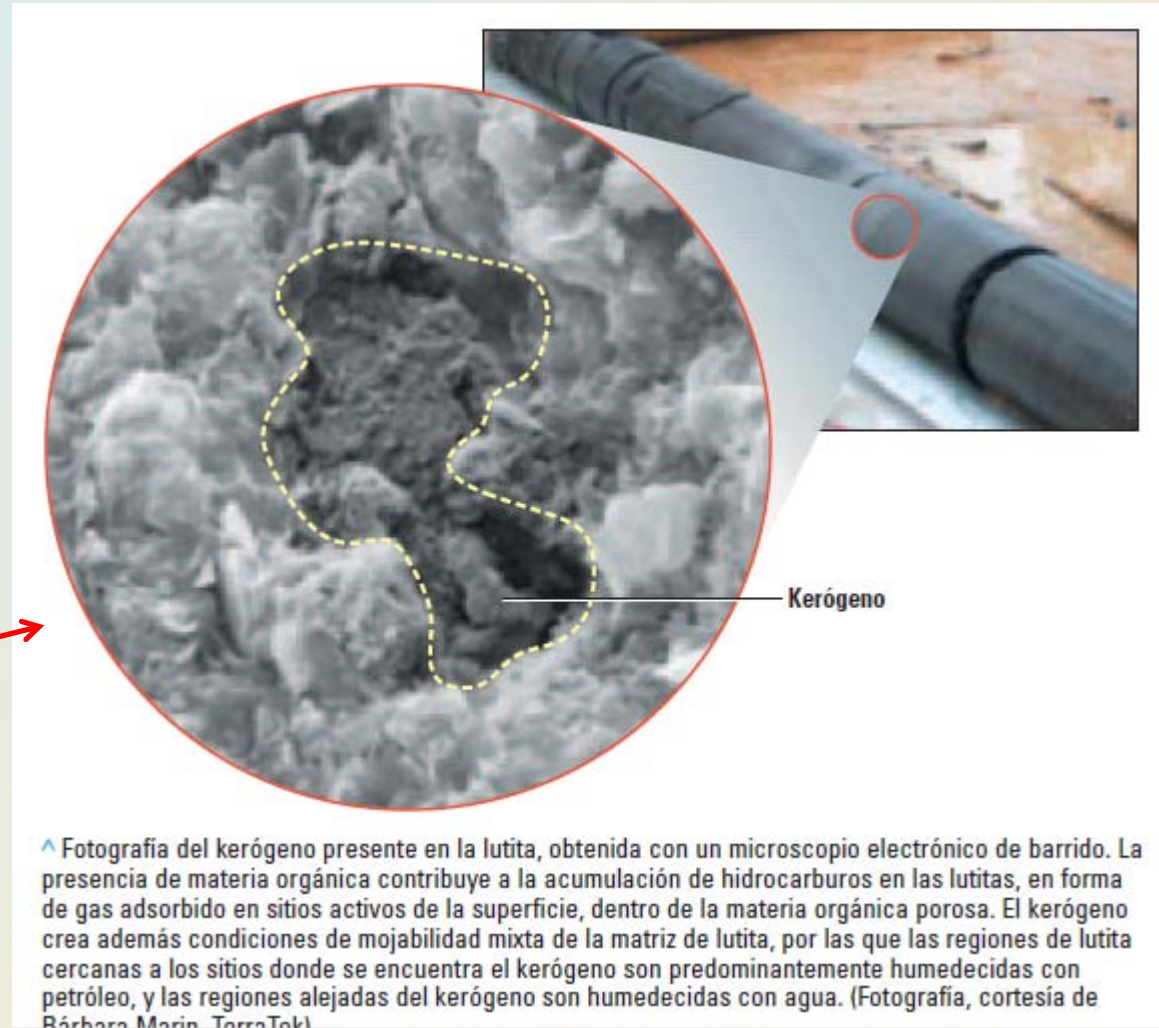
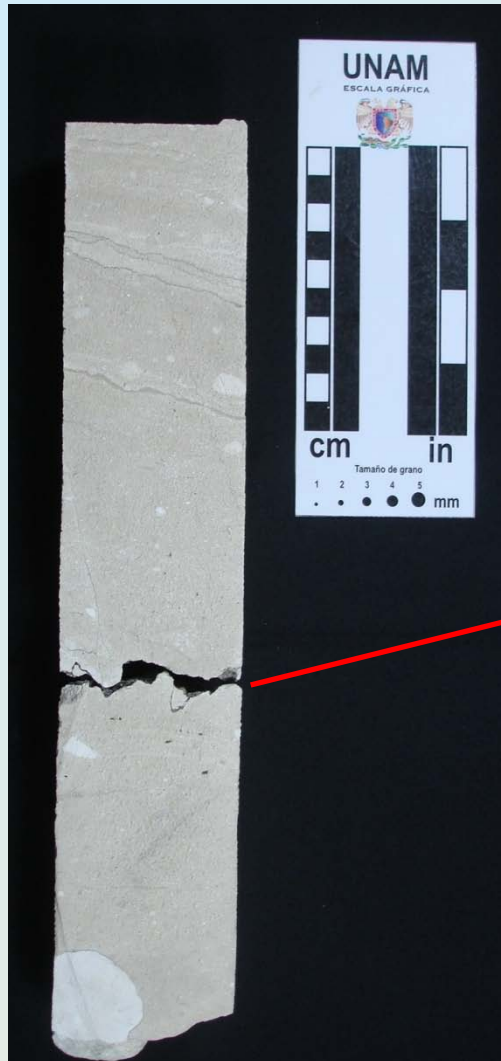


Provocando modificaciones en el tamaño del poro y su geometría.



Resultando una reorganización estructural.

Por ejemplo en las litologías carbonatadas, el kerógeno probablemente se encuentra concentrado debido a la formación de estilolitas y a grandes procesos de disolución.



Origen del petróleo

- Las teorías que han tratado de explicar este problema se han dividido, en dos grandes grupos:
 1. *Teorías inorgánicas o minerales.*
 2. *Teoría orgánica.*



TEORÍAS INORGÁNICAS

Las teorías inorgánicas fueron esencialmente las hipótesis de fines de siglo XVIII, durante el siglo XIX y a principios del siglo XX, elaboradas principalmente por químicos.

“Postulan que el petróleo y el gas asociado se forman mediante procesos inorgánicos reproducibles en el laboratorio”.

Las más importantes son:

- A. *Teorías de los metales alcalinos* o de Berthelot (1886).
- B. *Teoría de los metales alcalinos modificada* por Byasson (1891).
- C. *Teoría de los carburos metálicos* o Teoría de Mendeleiv (1897 - 1899).
- D. Teoría de las emanaciones volcánicas (1900).
- E. *Teoría* postulada por *Sabatier y Senders* (1902).
- F. *Teoría del origen cósmico* (1903).
- G. *Teoría por procesos subterráneos* de emanación o destilación (Gaedicke, “*Teoría semi-orgánica*”, 1904).
- H. *Teoría de la caliza, el yeso y el agua.* (1904).

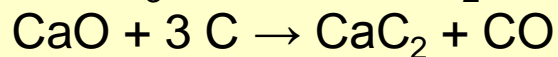
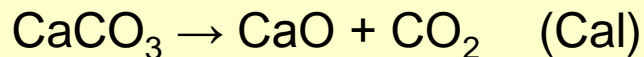
A. TEORÍA DE LOS METALES ALCALINOS O DE BERTHELOT

Berthelot (1886), “Interpreta que en el interior de la Tierra existen metales alcalinos en estado libre y que el Bióxido de Carbono podría reaccionar con ellos, formando carburos y éstos al reaccionar con el agua, podrían generar acetileno (C_2H_2)”.

Demostó que si el acetileno se calienta a una temperatura de $900\text{ }^\circ\text{C}$, aproximadamente, se polimeriza en benceno (C_6H_6) y si el benceno se calienta en condiciones apropiadas pierde hidrógeno y los residuos se combinan para formar difenil eter ($C_{12}H_{10}$) o sea:

Los hidrocarburos ligeros pueden ser generados del acetileno por reacciones químicas a altas temperaturas.

Carburo= un carbono + un metal (alcalino)



Todas las reacciones descritas en esta teoría pueden verificarse en el laboratorio, solo que la debilidad de la teoría de Berthelot, estriba en suponer que en la Tierra existen metales alcalinos en estado libre.

TABLA PERIÓDICA

PULSA SOBRE EL ELEMENTO PARA CONOCER SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

1A	2A											3A	4A	5A	6A	7A	8A
H	He											B	C	N	O	F	Ne
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar
Na	Mg	3B	4B	5B	6B	7B	8B					1B	2B				
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									
LANTANIDOS		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
ACTINIDOS		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	No	Lr		

Recientemente, los científicos, han descubierto que el etano y otros hidrocarburos más pesados pueden ser sintetizados bajo las condiciones del manto superior.

Los alquinos pueden reaccionar con cationes metálicos para formar derivados metálicos sólidos (sales orgánicas).

Elementos
mayores: >1%



SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO
 Na_2O , K_2O , H_2O

B. TEORÍA DE LOS METALES ALCALINOS MODIFICADA POR BYASSON

En 1891, Byasson desarrolló una teoría fundamentada en la propuesta por Berthelot, pero él además **postula que los sulfuros de hierro son sustituidos por metales alcalinos.**

Los sulfuros de hierro se encuentran en muchas **secuencias ígneas y sedimentarias.**



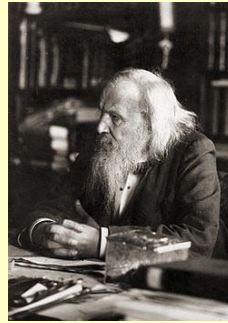
Posiblemente formados a partir de fuentes hidrotermales, en ambientes anaeróbicos y de alta temperatura (100°C) y presión



Wächtershäuser elaboró la hipótesis de que el ácido acético, una combinación sencilla de carbono, hidrógeno y oxígeno que se puede encontrar en el vinagre desempeñó un papel esencial. El ácido acético forma parte del ciclo del ácido cítrico que es fundamental para el metabolismo celular.

C. TEORÍA DE LOS CARBUROS METÁLICOS O TEORIA DE MENDELEIV

En 1877, Mendeleev presentó esta teoría basada en la presunción de que **en la Tierra existen Carburos de Hierro** en estado nativo y que las aguas de infiltración, al reaccionar se polimerizan y forman hidrocarburos.

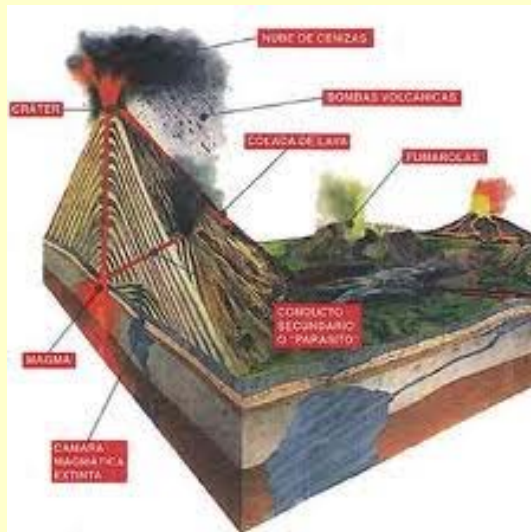


Se supone que esta teoría fue inspirada en los experimentos de Hahn Cloez y Williams, quienes demostraron que los hidrocarburos podrían producirse tratando el hierro fundido y el ferromanganeso con ácidos y agua.

Es dudoso que el agua necesaria para verificar estas reacciones pueda infiltrarse lo suficiente para reaccionar con los carburos de hierro, ya que hay razones para creer que la porosidad y las fracturas de las rocas tienden a desaparecer con la profundidad.

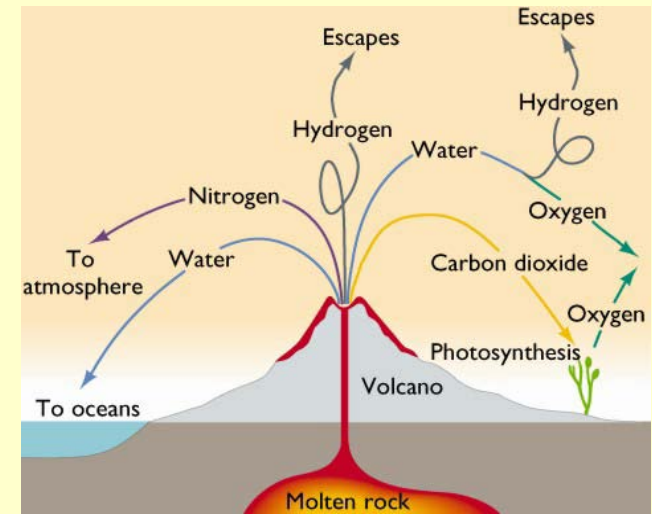
D. TEORÍA DE LAS EMANACIONES VOLCÁNICAS

Se basa en el hecho de que algunos gases de las emanaciones volcánicas contienen pequeñas cantidades de hidrocarburos.



Supone que dichos gases son originados a grandes profundidades, indicativos de la composición química de los elementos que constituyen el interior de la Tierra y de sus reacciones.

También se cree que estos hidrocarburos gaseosos se condensan al aproximarse a la superficie y al decrecer la presión y temperatura, forman los hidrocarburos líquidos que originan los yacimientos actuales.



La debilidad de esta teoría esta en que en la mayoría de las secuencias volcánicas no hay yacimientos de hidrocarburos



E. TEORÍA POSTULADA POR SABATIER Y SENDERS

En 1902, Sabatier y Senders, produjeron una mezcla de hidrocarburos líquidos, con la intercalación de Acetileno e Hidrógeno, con la presencia de una reducida catálisis de níquel

(los que reducen la velocidad de la reacción son denominados “catalizadores negativos” o inhibidores), y de esta manera argumentaron que se podría haber generado petróleo.

El problema de esta teoría está en que no explican la procedencia del acetileno.

F. TEORÍA DEL ORIGEN CÓSMICO

Es una de las teorías más antiguas pero resurge en el siglo XIX, se fundamenta en la hipótesis de que el petróleo y el gas forman parte constitutiva de la materia nebulosa original o de las capas que envolvieron a la materia original, de donde se formó la Tierra.

La hipótesis postula que conforme se enfriaba el globo, el petróleo se precipitaba de la atmósfera y penetró en los poros de las rocas para llegar a constituir con el tiempo los yacimientos actuales.

GC 281, conocida como la nebulosa Pacman, is approximately 10,000 light-years away in the constellation Cassiopeia and part of the Perseus Spiral Arm.



De acuerdo a esta teoría se tendrían yacimientos petroleros en cualquier tipo de roca y de cualquier edad, sin embargo esto no sucede.

Lo que si sucede es que en los meteoritos existen cóndrulos de C, un ejemplo es el meteorito Allende



Es una condrita carbonosa.

La mayoría de los meteoritos que caen en la Tierra se conocen como **condritas ordinarias** y conforman el 70%. El otro 30% son los meteoritos metálicos. Dentro de estos últimos, **menos del 4% son los carbonáceos.**

“Allende probó ser algo muy interesante, porque se trata del tipo de los condriticos carbonáceos”

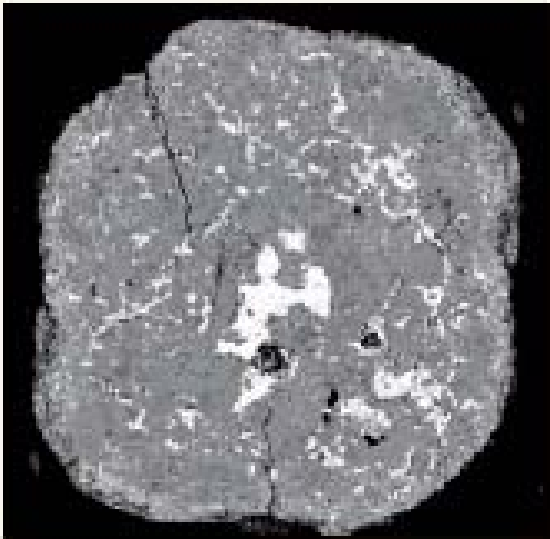
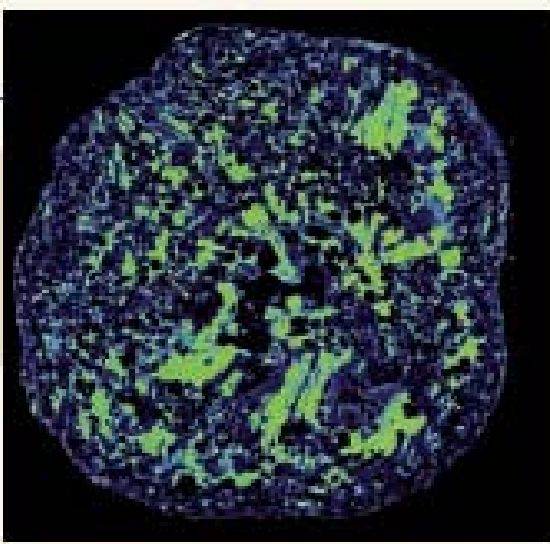


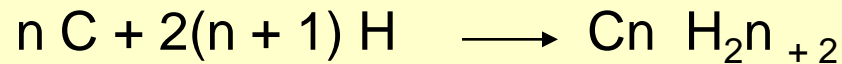
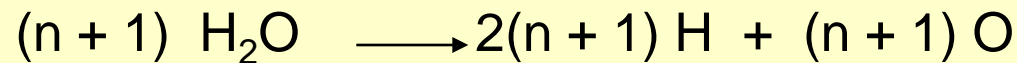
Imagen por microscopía electrónica de la estructura interna de un cóndrulo de Allende. Su forma esférica resulta del proceso de fusión y de enfriamiento rápido.

- “Lo que hace particularmente interesantes a las **condritas carbonáceas** es que son las que dan **las edades isotópicas más antiguas**; es decir, se trata del material más antiguo o primitivo perteneciente a las primeras etapas de evolución del sistema solar, lo que nos permite estudiar cómo se formó”.
- Las **condritas carbonáceas contienen muchos compuestos de carbono**, incluyendo elementos básicos para la vida, como aminoácidos, lo cual las hace todavía más atractivas.

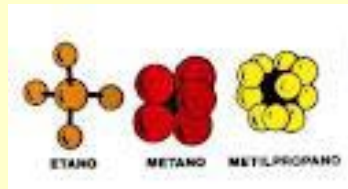
Meteorito Allende tiene una vida media de unos **730 000 años**

G. TEORÍA POR PROCESOS SUBTERRANEOS DE EMANACIÓN O DESTILACIÓN (GAEDICKE: TEORÍA SEMI-ORGÁNICA)

Esta sugiere que el **agua puede descomponerse en sus gases constituyentes**, debido a la acción de rayos gamma, emanados por minerales radiactivos. **El hidrógeno libre puede unirse con carbón para dar origen a hidrocarburos.**



El fundamento teórico esta sustentado en experimentos de laboratorio, sin embargo, es difícil que este proceso ocurra en la naturaleza.

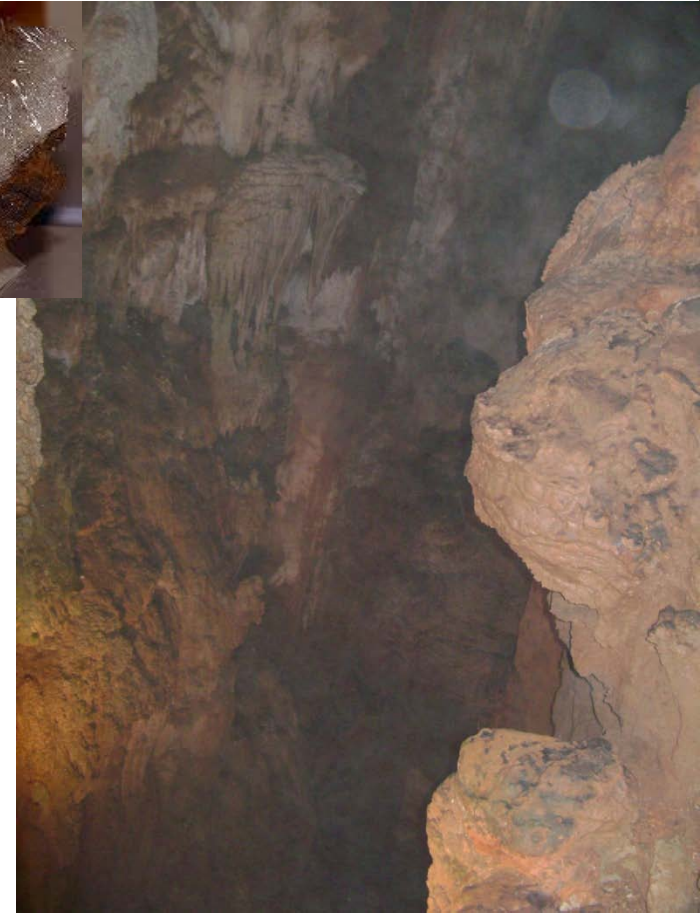
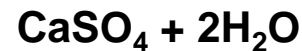


H. TEORÍA DE LA CALIZA, EL YESO Y EL AGUA

Postulada en 1904, y supone que los carbonatos y sulfatos de calcio al estar bajo la acción de agua caliente forman hidrocarburos como los que constituyen el petróleo.

Las calizas, el yeso y el agua, existen en abundancia y están íntimamente asociados en la naturaleza, por otra parte, contienen todos los elementos necesarios para la formación de hidrocarburos.

Posiblemente bajo condiciones favorables de presión y temperatura, el petróleo se pueda formar de esta manera, pero las reacciones químicas en las que se apoya esta teoría no han sido explicadas satisfactoriamente.



- Sin embargo, cuando las técnicas del análisis geológico se perfecciono y se contó con información suficiente, se comenzó a dar importancia a las teorías de formación orgánica.

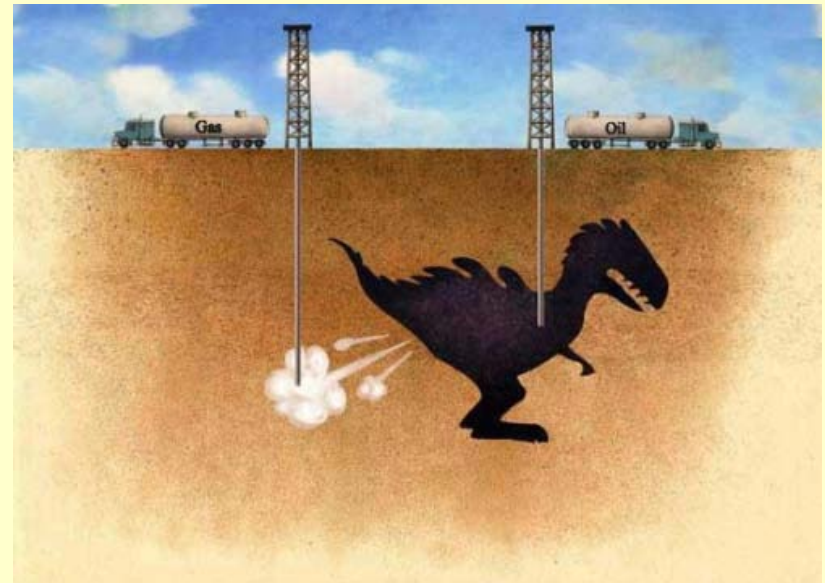


TEORÍA ORGÁNICA

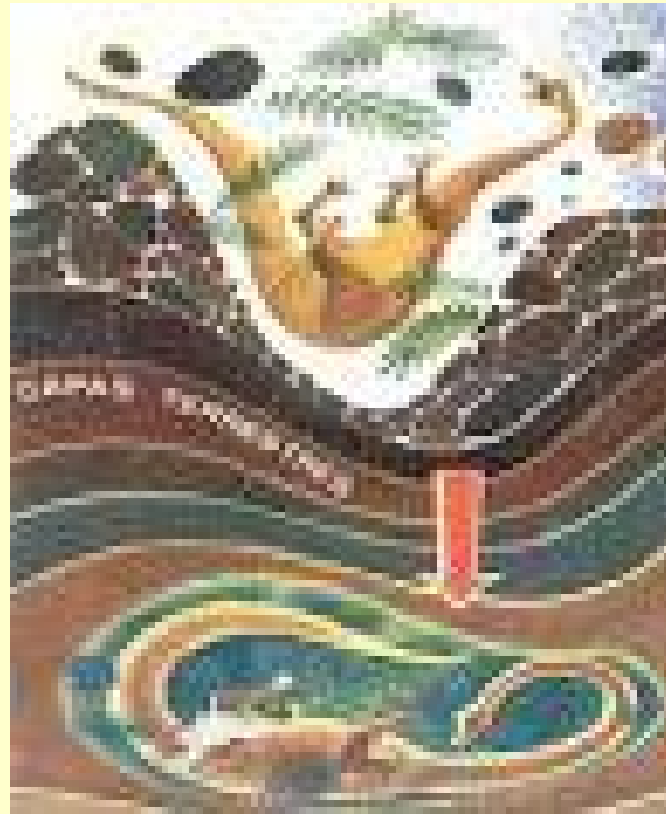
Basada en dos principios fundamentales:

- a) La producción de hidrocarburos a partir de organismos vivos.
- b) La acción del calor sobre la materia orgánica formada biogénicamente.

Postula que el petróleo es producto de la descomposición de organismos vegetales y animales que fueron sometidos a enormes presiones y altas temperaturas en ciertos periodos de tiempo geológico.



Organismos de vida marina y continental fueron **sepultados en un medio ambiente anaeróbico** y por cambios en la temperatura y presión (50 a 250 °C y 300 a 1500 bars), estos organismos que contienen Carbono e Hidrógeno en sus moléculas orgánicas, fueron convertidos en hidrocarburos en un lapso relativamente grande.

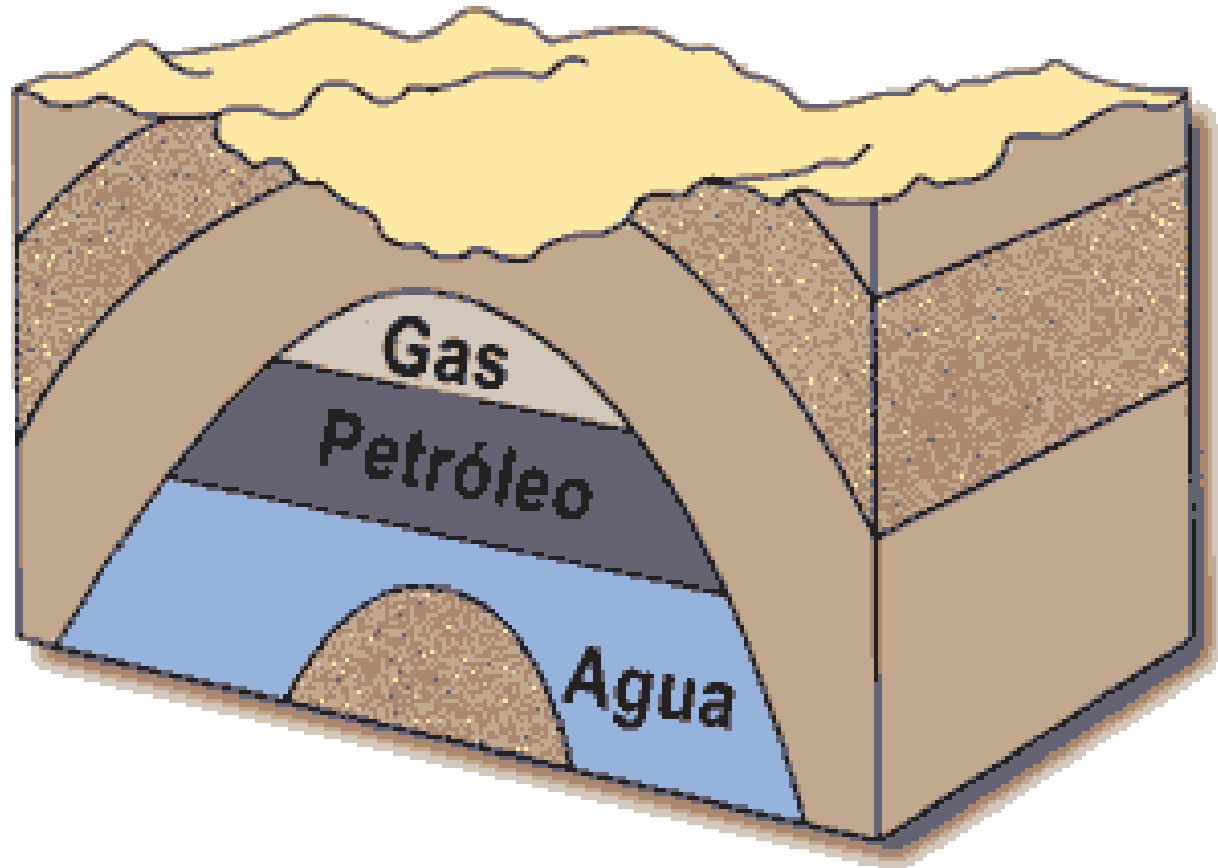


Localización Típica del Petróleo

Medios marinos

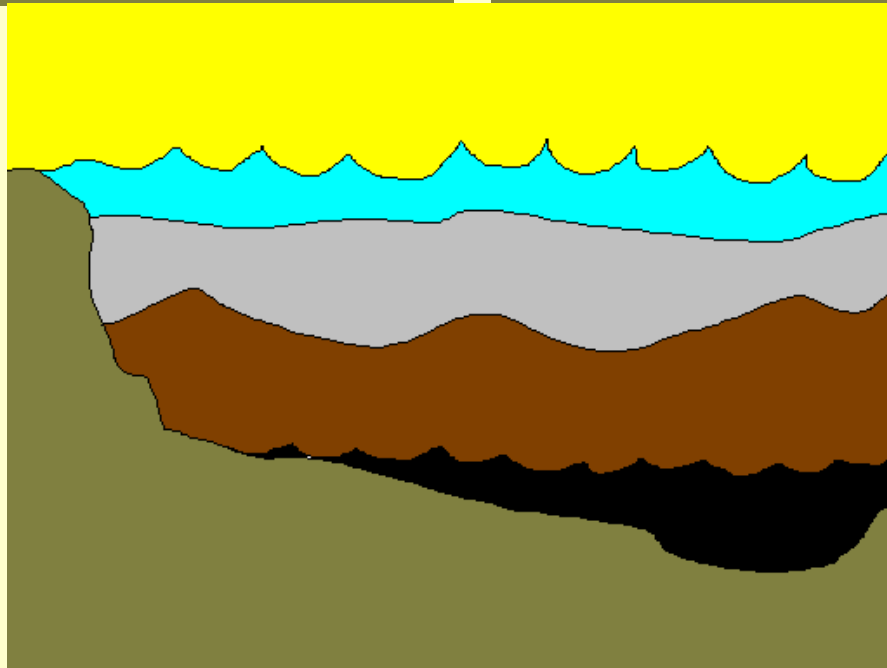
- Plataforma

- Talud



Origen

- Teoría Biogénica



TEORÍA DE ORIGEN ORGÁNICO

B. HAQUET NUREMBERG (1790): fue el primero en **sugerir el origen orgánico del petróleo**. Él argumentó que el aceite de Galicia provenía de moluscos.

WAKSMAN (1933): identifica a la **lignina** en el petróleo, la que **es característica de plantas terrestres**; señala que los complejos húmicos y la lignina contienen estructuras heterocíclicas en anillos, similares a las de algunos aceites.

SKINER (1952): el concluyó que el **vanadio** en las **porfirinas** es de **origen bioquímico**, ya que fue encontrado en las **holoturias**, y que **la presencia de porfirinas** en algunos aceites que son componentes activos ópticamente, **es una evidencia del origen orgánico del petróleo**. Se puede decir que la fuente del petróleo son animales y plantas.

DAVIS Y SQUIRES (1953): encontraron que **las bacterias metabolizan pequeñas cantidades de hidrocarburos no volátiles** que incorporan a su estructura celular.



Holoturias, molusco como los pepinos de mar

CRAIG (1953): descubre que el agua dulce y las plantas terrestres contienen menos ^{13}C y más ^{12}C que las plantas marinas, por lo tanto, la mayoría de hidrocarburos líquidos son derivados de materia orgánica marina (^{13}C).

El material orgánico terrestre contribuye en menor proporción a la formación del aceite y más a la formación de gas.



FRANCIS (1954): encuentra que el carbón mineral contiene productos sólidos y líquidos relacionados a los materiales encontrados en los petróleos pesados. Se encuentra aceite pesado y gas.



Evidencias de la TEORÍA ORGÁNICA

- 1.- La gran abundancia de materia orgánica, que existe en los sedimentos recientes y en los hidrocarburos asociados con dicha materia orgánica.**
- 2.- En los restos orgánicos predomina el H y el C, que son los componentes principales de los hidrocarburos y mediante los procesos bioquímicos (metabolismo de los animales y las plantas), se ha observado que producen continuamente pequeñas cantidades de hidrocarburos (aunque no del tipo del petróleo).**
- 3.- La presencia de Nitrógeno y de porfirinas en el pigmento de algún tipo de petróleo, sobre todo en la fracción pesada, ya que el nitrógeno es un componente esencial en los aminoácidos y estos componen las proteínas. Las porfirinas se relacionan con la clorofila de los vegetales y la hemoglobina en los animales.**

4.- La **actividad óptica que** presenta el petróleo es una propiedad típica de las sustancias orgánicas.

5.- La presencia en el petróleo de **“fósiles geoquímicos”**. Estas son moléculas orgánicas sintetizadas por los organismos vivos, los cuales son incorporados a los sedimentos conservando su estructura original, sin alterar o casi sin alterar.

6.- En forma experimental se pueden generar hidrocarburos a partir de materia orgánica mediante el calentamiento a altas temperaturas (rompimiento termal).

7.- En las cuencas sedimentarias se tienen la mayoría de los yacimientos petroleros (principalmente marinas aunque también hay continentales).

Tres reacciones predominan en la formación del petróleo: Diagénesis, Catagénesis y la Metagénesis.

Diagénesis: Ocurre a temperaturas bajas (menores a 50°C).

El espectro molecular simple de los hidrocarburos proviene del espectro complejo del petróleo, **es decir se debe a la formación diagenética de un amplio grupo de hidrocarburos derivados de moléculas orgánicas, originales y a grandes cantidades de hidrocarburos originados por alteración térmica de la materia orgánica sepultada profundamente.**



El petróleo se habría originado por el depósito de minúsculos animales y sustancias vegetales que se fueron acumulando en el fondo lacustre y marino.

La materia orgánica es sintetizada por los vegetales, una pequeña parte se preserva y se introduce en los sedimentos, lo cual es el origen de los combustibles fósiles: **petróleo, gas natural, carbón, arenas y lutitas bituminosas.**

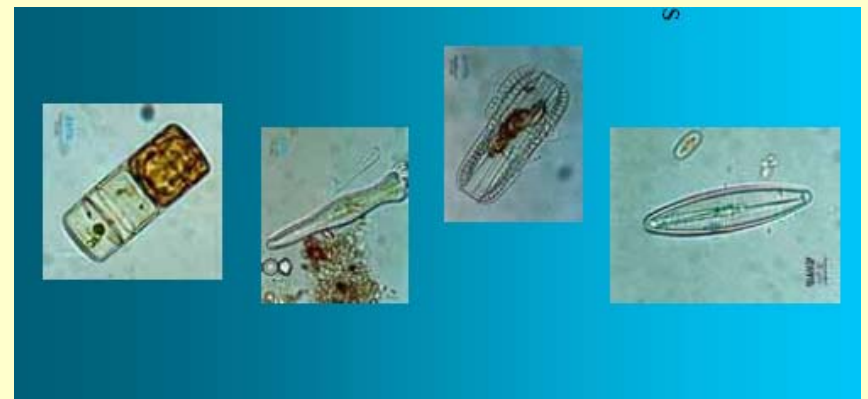
El aporte orgánico principal ocurre en los vegetales superiores, regido por las condiciones geográficas, particularmente por el clima (temperatura, lluvia, etc).

En el mar el fitoplancton es el productor primario. Comprende dos principales tipos de algas: las diatomeas y los dinoflagelados, además de los coccolitofóridos que forman el nivel trófico primario.

SEPULTAMIENTO

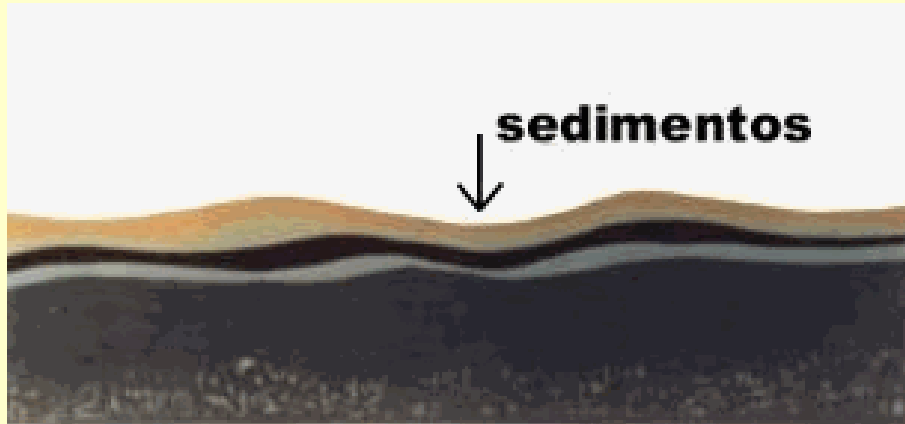


Ante el paso del tiempo la materia orgánica se descompone y va quedando en profundidad por los sedimentos que la van cubriendo.



- Desde el punto de vista cualitativo, **las producciones de materia orgánica marina**, son en orden de importancia:
 - **1. Fitoplancton**
 - **2. Zooplancton**
 - **3. Las bacterias.**
- En sedimentos finos depositados en un medio marino o lacustre (lodos arcillosos o lodos calcáreos), el acceso del oxígeno molecular se vuelve imposible. Dicho oxígeno disuelto dentro de los lodos producto del agua intersticial, se elimina fácilmente por la **acción microbiana de las partículas de la materia orgánica** y no es reemplazado, convirtiéndose en un medio anaeróbico.
- **Por lo que la actividad de los organismos anaeróbicos contribuyen a modificar la composición de la materia orgánica restante, aunque esta actividad cesa rápidamente.**

Generación del protopetróleo

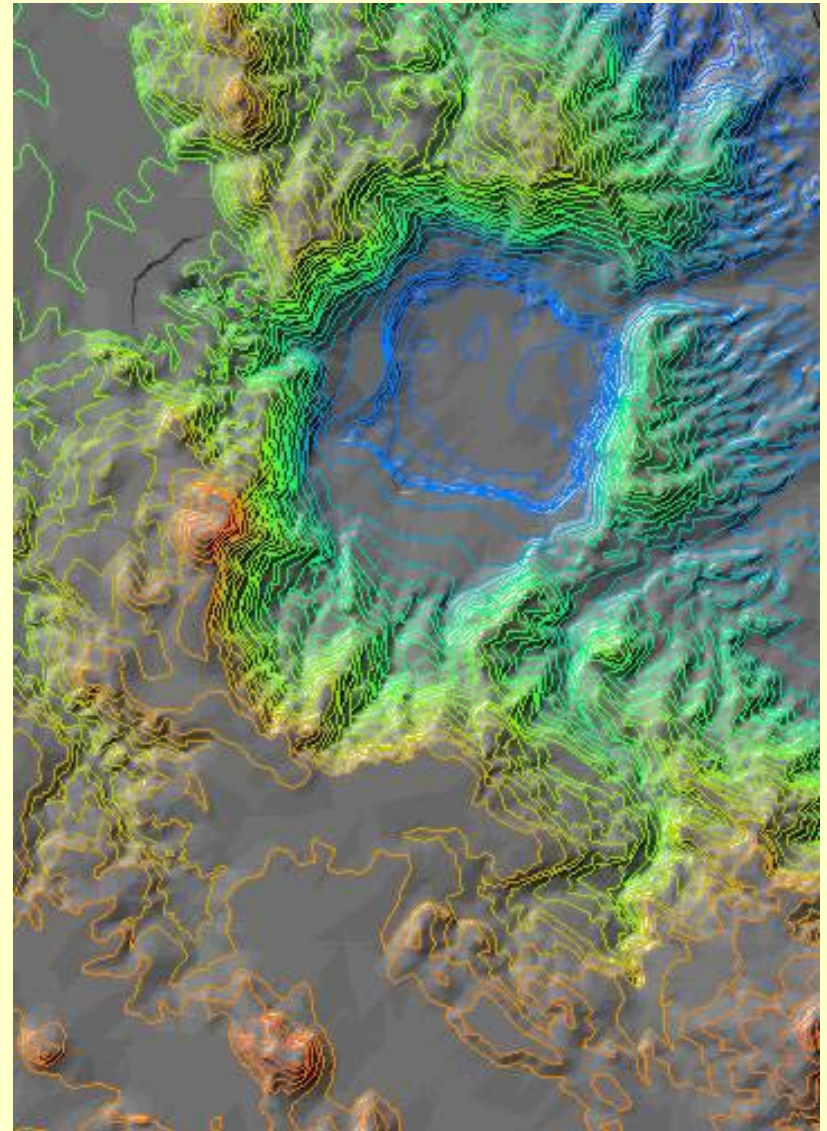


Los factores de presión, temperatura y procesos químicos y físicos, más la carencia de oxígeno posibilitaron la formación de petróleo líquido y del gas.

En ciertos medios como el Mar Negro, el oxígeno disuelto desaparece a partir de los 200 m de profundidad, con el establecimiento de un medio reductor rico en sulfuros de Hidrogeno, puede calcularse alrededor del 4% de la materia orgánica producida.

El petróleo se origina de una pequeña fracción de la materia orgánica depositada en las cuencas sedimentarias en ambientes sedimentarios Mixtos y Marinos principalmente.

La mayor parte de esta materia orgánica proviene de los restos de plantas y animales que vivieron en el mar y la menor parte procede de la materia orgánica terrestre transportada a la cuenca por corrientes fluviales y en menor proporción por el viento.

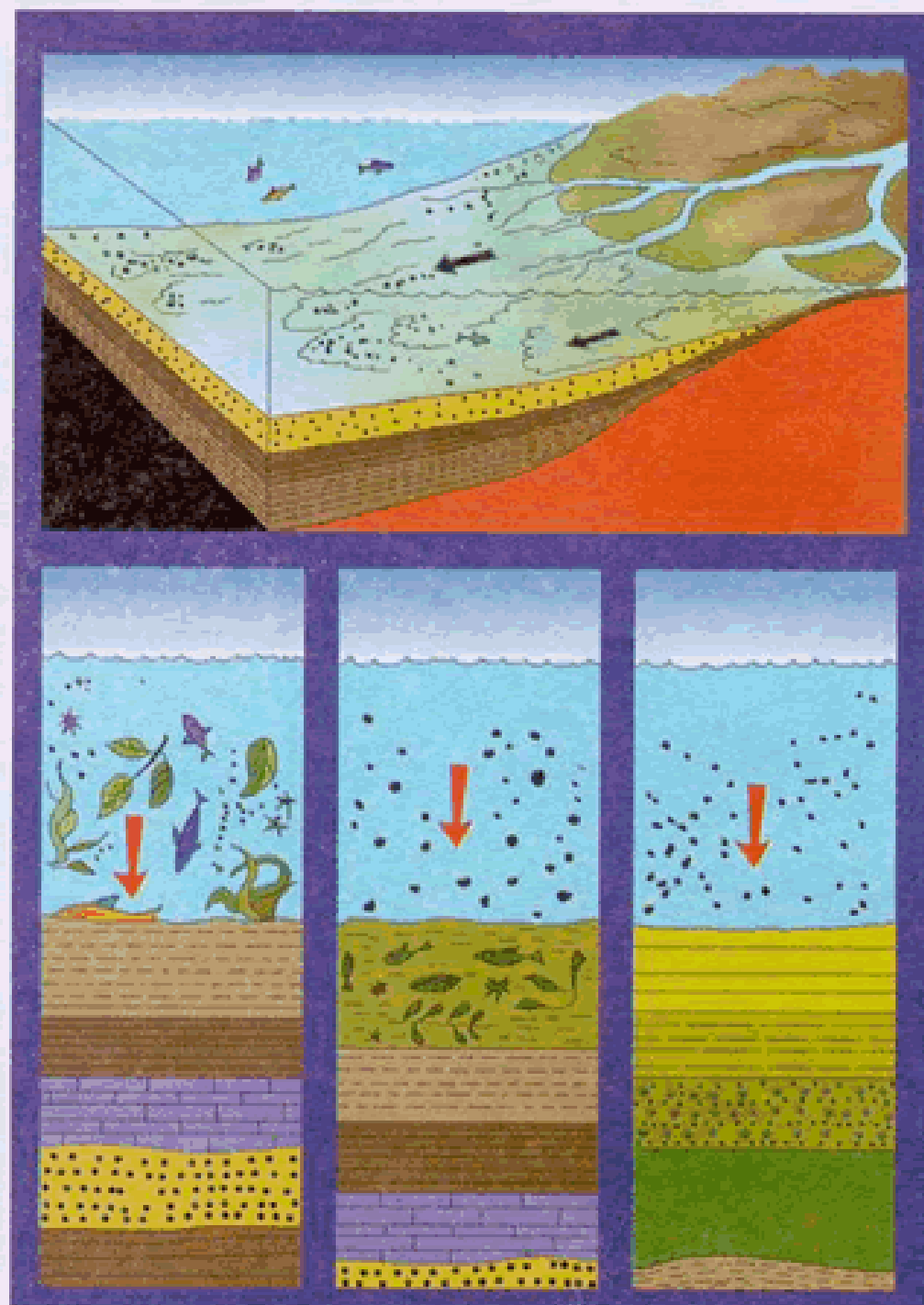


FORMACIÓN DEL “PETRÓLEO”

Los hidrocarburos que constituyen los crudos o gas, provienen básicamente de dos caminos diferentes:

- 1) **Del 10 al 15 % son hidrocarburos formados directamente por los organismos, preservados y que solo sufren pequeños cambios químicos. Este hidrocarburo difícilmente se conserva.**
- 2) **Del 85 al 90 % de los hidrocarburos que constituyen el petróleo, se forman a través de una serie de procesos químicos y bacterianos a los que es sometida la materia orgánica original, es decir, estos hidrocarburos se forman a partir de un proceso diagenético de transformación, donde la temperatura y la profundidad son los principales factores que influyen para la generación de los mismos.**

Tanto el petróleo como el Carbón son el producto de la transformación de la materia orgánica, la cual por efecto de la temperatura, la profundidad y el tiempo, se transforma en petróleo gas o Carbón.



Dependiendo del tipo de materia orgánica, tendremos el producto **oleoso o carbonoso**.



Así cuando se trata de material vegetal superior, el producto final es el carbón.



Cuando la materia orgánica procede de restos de microorganismos ricos en lípidos y proteínas, el resultado será la producción de aceite y/o gas.



^ Quemado de gas durante una prueba de un pozo descubridor situado en el Golfo de México (recuadro). En todo el mundo, la industria quema o ventea 57,000 millones de m³ [2 Tpc] de gas por año. La tecnología GTL ofrece formas de llevar al mercado el gas que actualmente se quema o se ventea. (Fotografía provista por gentileza de Energy Data Solutions, LLC, www.ocsbbs.com).