

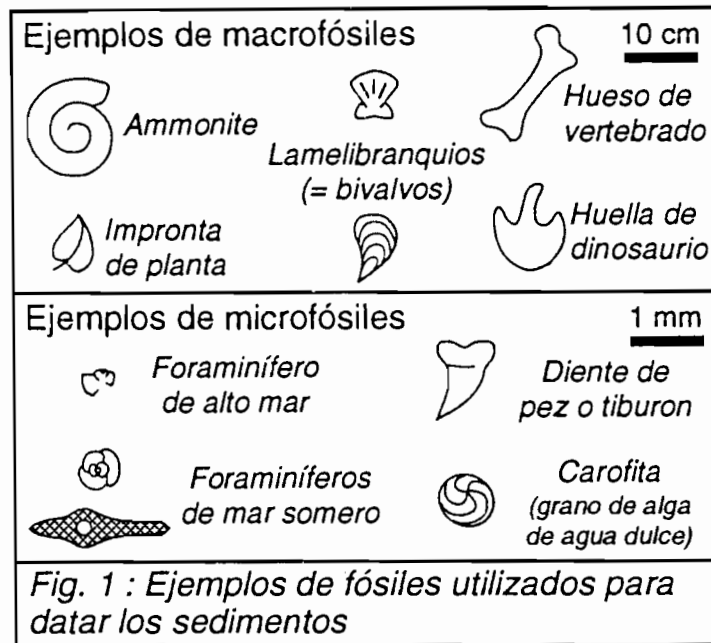
METODOS Y OBJETIVOS DEL ANALISIS DE LAS CUENCAS SEDIMENTARIAS

por
Etienne JAILLARD y René MAROCCO
ORSTOM, Unidad de Investigación " Geodinámica y Concentraciones Minerales"

Una cuenca sedimentaria es una depresión en la superficie de la corteza terrestre, rellena por sedimentos formando capas superpuestas, que representan edades geológicas sucesivas. El análisis del contenido de las cuencas sedimentarias es una preciosa herramienta para identificar, datar y caracterizar los eventos tectónicos, magmáticos y geodinámicos que ocurrieron durante su relleno. Además, estos sedimentos pueden encontrarse deformados durante, o después de su deposición. El análisis de estas deformaciones tectónicas informa sobre los esfuerzos que las provocaron. En este trabajo, expondremos los métodos del análisis de las cuencas sedimentarias utilizados en el marco de los convenios firmados por la Escuela Politécnica Nacional de Quito (EPN) y el Orstom para los años 1987-1993, y por Petroproducción (filial de Petroecuador) y el Orstom desde el año 1991.

I. EDAD DE LA CREACION Y DEL RELLENO DE UNA CUENCA SEDIMENTARIA

La geología siendo la ciencia del pasado alejado, el primer trabajo, fundamental, del geólogo es datar el objeto de su estudio, cualquier que sea. Por eso, dispone de varias herramientas, que se puede dividir entre naturalistas y físicas.



1. 1. Métodos naturalistas

El método naturalista, conocido desde hace mucho tiempo, consiste en el estudio, por los paleontólogos, de los fósiles contenidos en los estratos. Los fósiles son muy variados (fig. 1) : los grandes (vertebrados, moluscos, etc) se colectan mayormente en los afloramientos de campo, mientras que los microscópicos (organismos planctónicos marinos, pólenes de plantas, etc) están utilizados en el estudio de muestras de perforaciones.

1. 2. Métodos físicos

Los métodos físicos fueron desarrollados en las últimas décadas. Entre los más utilizados, la *radiocronología* se basa en la transformación atómica de minerales inestables (radioactivos, por ejemplo) con el tiempo. Conociendo la velocidad de su transformación, y midiendo su estado final (actual), se puede deducir el tiempo pasado desde su estadio inicial, es decir la edad de su formación y la de la roca que los contiene. El *paleomagnetismo* utiliza el fenómeno de inversión periódica del Norte magnético terrestre. Midiendo la sucesión de inversiones magnéticas en rocas que las registraron (sedimentos finos, rocas volcánicas), y correlacionándolas con las inversiones reconocidas y datadas a escala mundial, se puede determinar la edad de la roca estudiada.

II. CARACTERÍSTICAS DEL RELLENO SEDIMENTARIO

La segunda etapa del análisis es el estudio de los sedimentos que constituyen el relleno de la cuenca. Esto se basa en un proceso clásico de observación-interpretación, yendo desde lo más pequeño o elemental hasta lo más grande y/o interpretativo.

2. 1. Naturaleza del sedimento y de sus componentes

La naturaleza misma del sedimento informa sobre las circunstancias de su depósito. Condiciones áridas y calientes provocan la evaporación del agua, la concentración de las sales disueltas que contiene y su precipitación bajo la forma de yeso o sal (*evaporitas*). Aguas marinas limpias, calientes y someras favorecen el desarrollo de macro- o microorganismos con concha o cáscara calcáreas, y el depósito de calizas. En cambio, aguas cargadas en partículas detríticas, al prohibir la penetración de la luz, impiden la fotosíntesis, inicio de la cadena ecológica que permite la sedimentación calcárea.

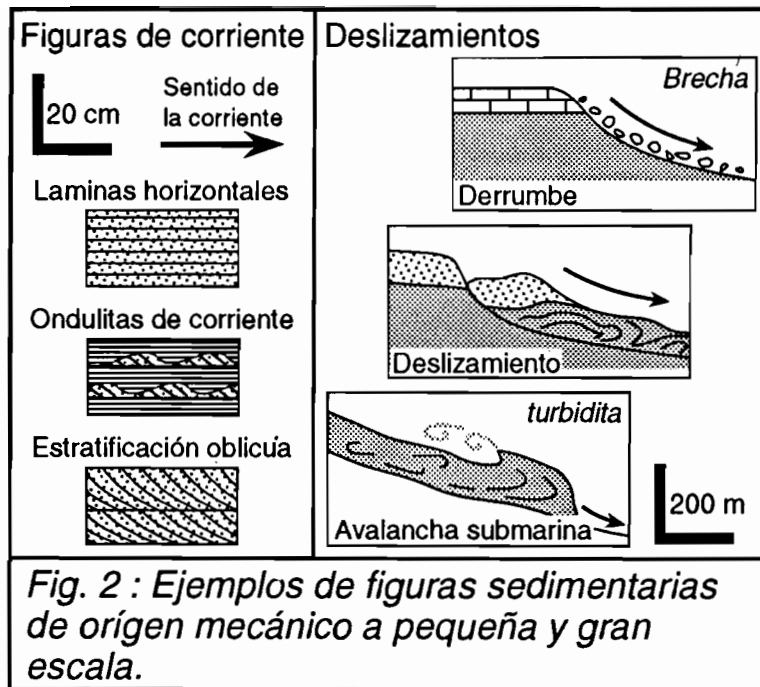
La presencia de sedimentos detríticos no solo indica que la erosión estaba actuando en los bordes de la cuenca, pero permite tener ideas sobre su procedencia. Existe una correlación grosera entre el tamaño de los granos detríticos (arcilla, arena, cantos) y la intensidad de la erosión, y por tanto la importancia de los relieves en curso erosión. Granos detríticos redondeados indican una erosión importante durante un transporte largo, y un área fuente lejana. Finalmente, la naturaleza de los granos detríticos informa sobre la naturaleza del relieve erosionado : abundantes cuarzos indican una zona fuente granítica o continental, minerales ricos en óxidos metálicos proceden de lavas volcánicas o de la corteza oceánica, cantos calcáreos atestiguan de la erosión de sedimentos, etc.

2. 2. Figuras sedimentarias

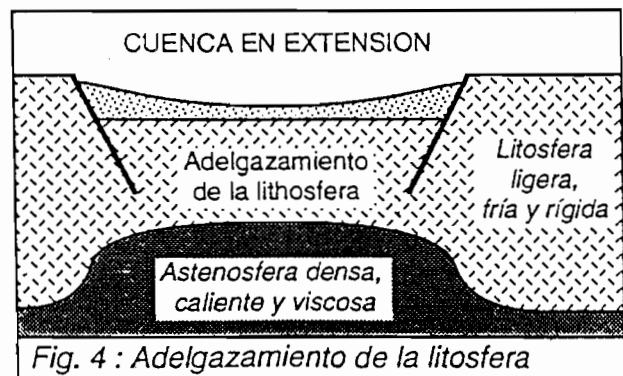
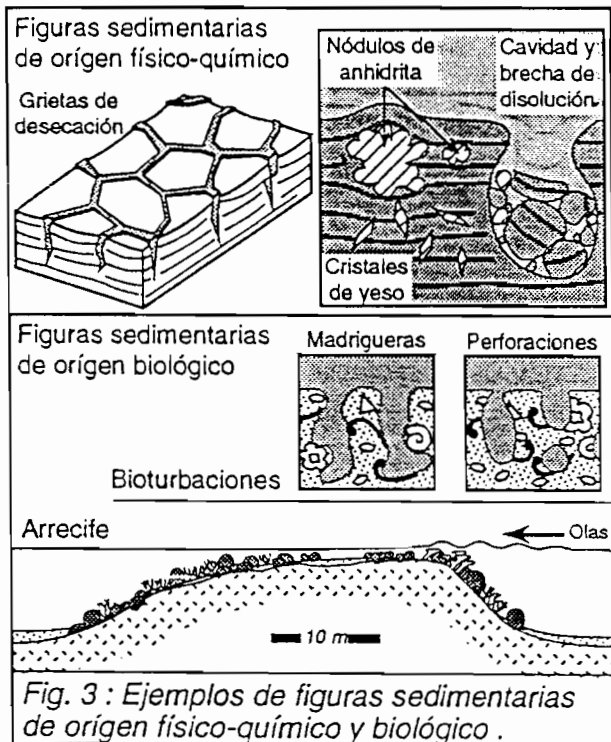
Todas las rocas sedimentarias presentan estructuras particulares debidas a su modo de depositación. Estas figuras sedimentarias tienen varios orígenes.

Las figuras de origen *mecánico* (fig. 2) incluyen organizaciones particulares de los granos del sedimento, figuras de erosión o transporte, estructuras de deslizamiento, deformaciones tectónicas, etc.. Estas informan sobre la naturaleza e intensidad de las corrientes (marinos, fluviales, de marea, etc), la presencia de pendientes, de movimientos tectónicos, etc..

Fenómenos *físico-químicos* incluyen mayormente la desecación, la cristalización, la disolución y la circulación de fluidos (fig. 3). Las figuras sedimentarias que resultan brindan preciosas informaciones sobre la profundidad de depósito, la tasa de sedimentación, la concentración en sales del agua, etc.



Las figuras de origen *biológico* incluyen huellas, madrigueras o perforaciones de animales (bioturbaciones), estructuras edificadas por organismos constructores (corales, algas) y perturbaciones debidas a los gases formados por fermentación de la materia orgánica (fig. 3). Reflejan la actividad orgánica, que depende del clima, de la profundidad de depósito, de las condiciones físico-químicas, de la tasa de sedimentación, etc.



2. 3. Interpretaciones e integración

Por lo tanto, el análisis del sedimento y de sus figuras sedimentarias permite reconstruir el medio de depositación, es decir las condiciones climáticas, físicas, químicas, ecológicas, tectónicas, etc. que reinaban durante su depositación, y, finalmente tener una idea de la geografía de la zona estudiada en la época considerada.

III. MECANISMOS DE FORMACION DE LAS CUENCAS SEDIMENTARIAS

La tierra está constituida por un corazón caliente ($\approx 1250^{\circ}\text{C}$), denso y viscoso (*astenosfera*), sobre el cual "flota" una corteza fría y ligera (*litosfera*), formada por placas rígidas y móviles. Estas pueden ser sea ricas en cuarzo y ligeras (placas *continentales*), sea ricas en óxidos metálicos y densas (placas *oceánicas*). Cuando se enfrentan dos placas, la más densa pasa por debajo de la más ligera, creando una *zona de subducción*, como es el caso en los Andes donde la placa oceánica Pacífica se hunde por debajo de la placa continental América del Sur. Al hundirse, la placa inferior fusiona en profundidad, dando nacimiento a un magma que sube adentro de la placa superior formando un *arco magmático*, constituido por plutones profundos (granitos por ejemplo) y volcanes superficiales (*arco volcánico*).

3. 1. Isostasia

Por sus características físicas, las placas obedecen al principio de Arquímedes : cuando se apilan sedimentos sobre una placa, ésta se ahunde como un barco cargado, lo que permite la acumulación de más sedimentos. El fenómeno de hundimiento de una placa se llama la *subsistencia*, mientras que el principio de equilibrio entre la litosfera rígida y la astenosfera viscosa está llamado *isostasia*.

3. 2. Adelgazamiento de la corteza

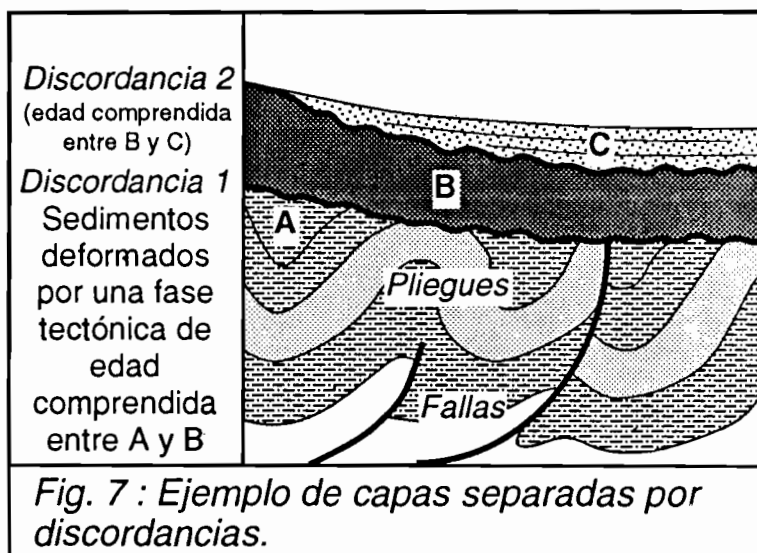
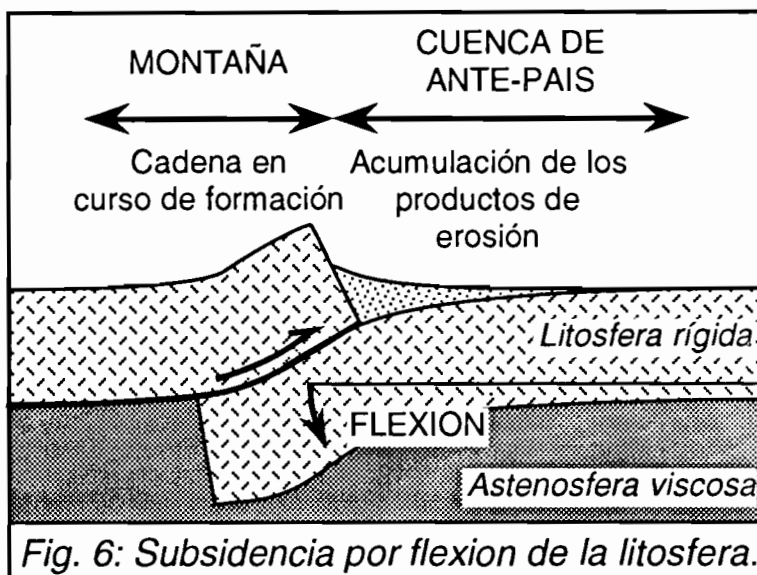
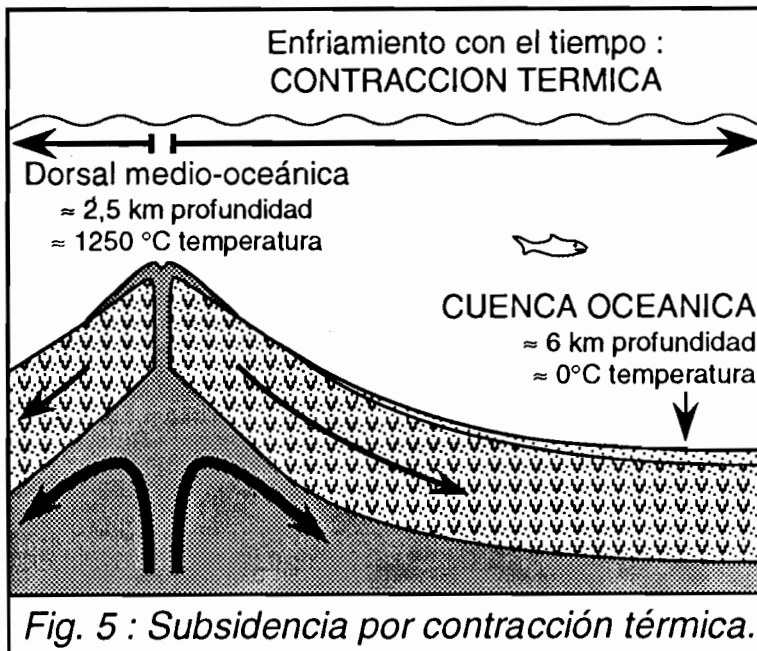
Por el contrario, si la placa disminuye de espesor, se levanta, pero dejando una depresión que corresponde a una cuenca sedimentaria (fig. 4). Esta disminución de espesor, siempre de origen tectónico, provoca una subsistencia tectónica, que puede ser debida a un estiramiento (*cuencas en extensión*), a una desgarradura lateral (*cuencas de rumbo*, también en extensión), o al arrastramiento de la parte inferior de la placa por fricción (*erosión tectónica*), fenómeno recientemente evidenciado en las zonas de subducción.

3. 3. Contracción térmica

Todo cuerpo aumenta de volumen cuando se calienta, y se contrae al enfriarse. Cuando este fenómeno afecta a placas, se habla de *subsistencia térmica*. Una placa oceánica se forma por la acumulación de lavas emitidas a $\approx 1250^{\circ}\text{C}$ por volcanes submarinos. Al enfriarse, la placa disminuye de volumen, y se crea una cuenca oceánica (fig. 5). De la misma manera, cuando se forma una cuenca sedimentaria por estiramiento de una placa continental, la proximidad de la astenosfera caliente calienta la placa, que luego se enfría y se contrae con el tiempo, provocando la subsistencia térmica de la cuenca.

3. 4. Flexión de la corteza

La subsistencia puede ser debida a la flexión del borde de una placa (*subsistencia por flexión*), bajo el efecto de un esfuerzo mecánico. Las flexiones más pronunciadas están debidas al sobrepeso de una cadena montañosa en proceso de edificación, dando lugar a depresiones muy subsidentes ligadas a un contexto en compresión, llamadas *cuencas de ante-pais* (fig. 6). Ocurren también flexiones menos fuertes, debidas a fenómenos de circulación en la astenosfera, circulaciones generalmente ligadas a las zonas de subducción.



IV. DEFORMACIONES TECTONICAS DEL SEDIMENTO

Este tipo de análisis ha sido llevado a cabo en el marco del convenio Orstom-EPN, pero solo está previsto para los próximos años en el marco del convenio firmado por Orstom y Petroproducción.

4. 1. Edad y estilo de la deformación

La edad de una fase de deformación (*fase tectónica*) está comprendida entre la edad más joven de las capas deformadas, y la edad más antigua de las capas sobreyacentes, no (o menos) deformadas, si existen. Esta disposición es una *discordancia* (fig. 7). El análisis de la geometría de los estratos deformados permite definir el estilo de la deformación, que a su vez, caracteriza la intensidad y las condiciones de la deformación tectónica.

4. 2. Esfuerzos tectónicos y cuantificación

En una segunda etapa, se trata de estudiar la geometría de las estructuras tectónicas para deducir la dirección (referidas al Norte actual) y la naturaleza (extensión, compresión, cisalla, etc) de los esfuerzos tectónicos. Esto, asociado con una reconstrucción cuidadosa de la geometría de las capas deformadas, puede llevar a estimar la cantidad de deformación (acortamiento, estiramiento, movimientos laterales, etc), experimentada por una capa o una zona (método de las *secciones equilibradas*).

V. INTERPRETACIONES GEODINAMICAS DE LA HISTORIA TECTONICA

Está ahora establecido que los movimientos (la *geodinámica*) de las placas controlan las deformaciones tectónicas de. Varios autores propusieron que las fases tectónicas esten relacionadas con cambios en la velocidad, la dirección de movimiento, la pendiente (*buzamiento*), la edad, etc., de la placa subductada, y también del movimiento de la placa superior. Sin embargo, las relaciones entre los eventos tectónicos y geodinámicos no están claras todavía.

El análisis de la subsidencia, de los levantamientos, de las erosiones, de las deformaciones, el establecimiento de un "calendario" tectónico, el estudio de los esfuerzos, y su comparación con los cambios en la geodinámica de las placas permiten, no solo de precisar las modalidades de la edificación progresiva de los Andes, sino también de precisar las relaciones entre un tipo de fase tectónica y un tipo de cambio geodinámico, y, así, proponer hipótesis sobre las consecuencias tectónicas propias de cada tipo de cambio geodinámico.

La formación de los Andes empezó hace unos 100 millones de años (Ma) (fin de la era secundaria, parte media del Cretáceo), pero la cadena andina emergió definitivamente solo hace 65 Ma (fin de la era secundaria y del Cretáceo). Durante toda esta época, cuencas marinas existieron en lo que se volveran los Andes, y su sedimentación registró las etapas del proceso. Para analizar el período más reciente (Terciario) durante el cual la erosión dominó en los Andes, uno debe estudiar sea cuencas ubicadas dentro de la cadena (cuencas intramontañosas del callejon interandino) que registraron directamente la erosión y la deformación de la cadena, sea las cuencas ubicadas al pie de las vertientes de los Andes (Oriente, Costa) que registraron indirectamente las etapas de su edificación.