

GEOMORFOLOGÍA **(por Alain Lavenu)**

Interacción entre movimientos horizontales o verticales (fallas) y superficie de la Tierra

Se abarcará un aspecto particular: la geomorfología tectónica o morfotectónica (Morisawa y Hack, 1985). Esta disciplina apareció hace unos 20 años.

Trata de analizar, definir y explicar la interacción entre movimientos (o deformaciones) horizontales y verticales de la superficie de la tierra y los procesos de erosión y deposición.

Trataremos de ver las relaciones entre deformación de tipo frágil (rupturas, fallas) y la morfología con resultado de la creación de una nueva morfología.

Cuando se trata de estudiar las relaciones entre planos (fallas y superficie de la tierra, capas y fallas, capas y superficie por ejemplo), una de las primeras cosas a realizar a averiguar en el terreno es la disposición de la intersección de estos planos:

- es la aplicación de la regla de las "V" (**Fig. 1**).

LOS DIFERENTES TIPOS DE FALLAS

Se observan tres tipos principales de fallas (**Fig. 2**):

- fallas normales
- fallas inversas
- fallas de rumbo.

Todos los intermedios pueden existir.

Escarpe de falla

Con las fallas normales e inversas existe el desarrollo de un relieve nuevo: aparece un escarpe (**Fig. 3**). Este escarpe será diferente según el tipo de falla, también será diferente debido a su evolución a lo largo del tiempo.

Con las fallas de rumbo, no hay verdaderamente creación de relieve.

1. LAS FALLAS NORMALES

Moviéndose, la falla corta la superficie desarrollando un escarpe de falla (**Fig. 4-A**). Sigue la creación que retrabaja el escarpe de falla. Este último retrocede aguas arriba.

Al pie del escarpe hay acumulación de productos de erosión hasta formar un cono aluvial.

La erosión del escarpe de falla por ríos o quebradas perpendiculares a la falla desarrolla facetas en los interfluvios. Son facetas triangulares.

El resalte de la falla retrocede detrás del plano de falla (**Fig. 4-B**) (**Fig. 4-C**).

Si la falla no se reactiva, hay una evolución (**Fig. 4-B**):

- de la parte baja que se rellena de conos aluviales;
- de la parte alta que se erosiona hasta desaparecer.

Cuando actúa una falla normal se nota un rejuvenecimiento del relieve; se pasa de un relieve generalmente poco desarrollado a un relieve que rejuvenece por erosión y que poco a poco vuelve a envejecer (**Fig. 5-1**).

Con el tiempo y en el caso en el cual no vuelve a moverse la falla, las facetas muestran una evolución múltiple, debido a la acción de la erosión.

- se produce una inclinación de las facetas hacia el relieve; aumenta el ángulo entre el plano de falla (virtual) y a faceta (**Fig. 5-2**).
- retrocede la cabeza de la faceta y en el mismo tiempo el pie se llena de escombros (**Fig. 6-1**).
- Disminuyendo de ángulo, la faceta se vuelve más grande. La erosión produce otras facetas más pequeñas (**Fig. 6-2**).
- La erosión puede producir la desaparición de las facetas: erosión en la cabeza, relleno en su pie (**Fig. 7**).

La reactivación de una falla (o la exhumación de un antiguo escarpe de falla) provoca la evolución de este escarpe (**Fig. 8-1**):

- a - escarpe de falla no disectado;
- b - desarrollo de facetas por corrientes de agua;
- c - período de estabilidad con retroceso de la pendiente y formación de un pequeño pedimento, (aquí el autor no indica en su figura si existe un envejecimiento del escarpe de falla o de las facetas triangulares);
- d - reactivación del plano de falla;
- e - disección del nuevo escarpe por las corrientes principales anteriores y nuevas corrientes desarrolladas a partir de las facetas;
- f - nuevo período de estabilidad y retroceso del nuevo escarpe;
- g y h - etc ...

Cabe notar que:

- las facetas más antiguas son las más grandes y las más altas. Son también las más erodadas;
- las facetas más jóvenes se ubican en el mismo plano de fallas o marcan su traza y son las más pequeñas; remanentes de pedimentos son preservados al tope de cada grupo de facetas.

El ángulo de la pendiente de la faceta triangular cambia con el retroceso del escarpe en relación al tiempo y a la reactivación de la falla (**Fig. 8-2**).

El pie del escarpe presenta aspectos variados (**Fig. 9**):

- escarpe de falla simple;
- escarpe con fisura;
- escarpe con falla antitética (la fisura evoluciona en graben con bloques caídos);
- escarpe múltiple (fallas sintéticas); aparición de gradas o escarpes secundarios;
- escarpe con hundimiento de la parte baja (" subsidencia") (**Fig. 10**).

2. LAS FALLAS TRANSCURRENTES

Las características principales de las fallas de rumbo o transcurrentes (*strike-slip*) son:

- fallas con ángulo de manteo elevado ($60^{\circ}/80^{\circ}$);
- gran extensión linear (1 km/1000 km);
- basamento a menudo involucrado en la deformación.

Aunque el desplazamiento horizontal, **en general**, no genera relieve como en el caso de fallas normales o inversas, la traza de la falla es muy nítida en el terreno (**Fig. 11-1**) (**Fig. 11-2**).

El desplazamiento horizontal provoca cambios en el paisaje de tal manera que:

- crea barreras desplazando las puntas de los lomos;
- perturba el patrón de drenaje;
- obliga a los ríos a cambiar de curso o a modificar su curso.

El desplazamiento horizontal no permite que el trazado anterior del río permanezca y lo modifica según el sentido del desplazamiento (**Fig. 12**).

* Canales desplazados:

- A - No alineamiento de un solo canal directamente relacionado con la cantidad de desplazamiento de la falla (sentido del desplazamiento **dextral**) y la edad del canal. No hay loma en la pendiente debajo de la falla. Descabezamiento (degollación) es común.

* Desplazamiento y deflexión

- C - Drenaje en malla producido por fallas en red, lomas en cuchilla (*sliver*) y lomas de obturación (*shutter ridges*).
- E - Desplazamiento y deflexión por lomas de obturación puede producir desplazamiento aparente exagerado o inverso
- F - Captura por un canal adyacente seguida por un desplazamiento dextral puede producir un patrón en Z.

* Desplazamientos falsos

- G - Levantamiento diferencial puede desviar corrientes y producir falsos desplazamientos.
- H - Fracturas "en echelon" encima de una falla seguidas por corrientes subsecuentes producen apariencia de desplazamiento (ver vocabulario de Davies 1850-1934: corriente **consecuente**, **subsecuente**, **obsecuente**, **resecuente**, **insecuente**, **antecedente**, **superposición**).

* Creación de relieves

El desplazamiento a lo largo de una falla transcurrente favorece el desarrollo de pequeños (vocabulario desarrollado durante el estudio geomorfológico de la falla San Andrés) (**Fig. 13-1**) (**Fig. 13-2**) (Wesson *et al.*, 1975):

- loma de obstrucción = *shear ridge*
- loma linear = *linear ridge*
- loma de presión = *pressure ridge*
- laguna de depresión = *sag pond*
- berma (banqueta) = *bench*
- valle linear = *linear valley* (depresión alargada = *trough*)
- escarpe = *scarp*

3. LAS FALLAS INVERSAS

Pocos son los ejemplos y los estudios de fallas inversas recientes o actuales.

Su estudio es más difícil:

- debido a un escarpe que no presenta a la vista el plano de falla (sin un corte perpendicular no se puede apreciar el desplazamiento horizontal; solo se nota en el mejor caso el resalte vertical) (**Fig. 14**).
- la traza de la falla no es tan linear como en una falla normal: sinuosidad del trazado,
- en la mayoría de los casos el plano de falla no alcanza la superficie (**falla ciega** = *blind thrust*) (**Fig. 15**) (**Fig. 16**), pero si se pueden observar deformaciones en superficie.

En el caso de la falla San Simeón el desplazamiento horizontal es importante en superficie, pero no existe una componente inversa en profundidad (sismo 6.6 km).

Un corte perpendicular (**Fig. 14**) muestra que a menudo, el **abombamiento** máximo en la zona o de máxima curvatura o al principio de la curvatura presenta estructuras de tipo graben o en fallas normales.

En el caso de la falla Ventura sólo se ve una deformación en **flexura** y pequeñas fallas normales (**fallas de extrado**) (**Fig. 17**).

Algunos autores trataron de cuantificar las características paisajes.

Por ejemplo, Bull y McFadden (1977) determinaron un índice de sinuosidad de frente montañoso como:

$$S = L_{mf} / L_s$$

L_{mf} es la longitud del límite piedemonte / montaña,

L_s es la longitud del frente montañoso.

Para $S \rightarrow 1$ falla creciente, la rectitud del frente es mayor

$S \rightarrow 2,3,4$ etc ... la sinuosidad aumenta por incisiones.

La sinuosidad es más o menos importante debida al tipo de falla, a la inactividad tectónica, a la evolución del relieve.

TECTÓNICA GRAVITACIONAL

El estudio de la morfología de pendiente debida a escarpe de falla permite determinar si se trata de una tectónica activa.

El movimiento de la falla produce desprendimientos de sedimentos (**Fig. 18**) (**Fig. 19**).

Esos movimientos en masa pueden ser directamente ligados a una falla pero también a taludes sin que haya forzosamente una falla.

Existen cambios en la morfología del escarpe de falla debido al tiempo.

Autores trataron de mostrar las relaciones entre los diferentes elementos de un escarpe y los productos de erosión en relación con la altura del escarpe y el tiempo (**Fig. 20**).

FALLAS Y RED DE DRENAJE

Los movimientos a lo largo de las fallas provocan cambios en la superficie de la tierra:

- creando relieves (fallas normales e inversas)
- modificando el aspecto de la superficie (fallas de rumbo).

La red de drenaje permite reconocer las zonas deformadas en las cuales las fallas afectan la superficie (**Fig. 21**) (**Fig. 22**) (Schumm, 1986; Ouchi, 1985).

1. Fallas normales y fallas inversas

Estos tipos de fallas provocan grandes cambios en la dirección de los flujos:

- cuando los movimientos son pequeños y/o lentos (antecedencia) (**Fig. 23**) (**Fig. 24-1-[6]**),
- o cuando el sentido de la corriente se hace según la línea de mayor pendiente (bloque levantado hacia el bloque hundido) (**Fig. 24-1-[5]**).

En este caso puede haber el desarrollo de una "lagunita" trampada al pie del escarpe de falla.

En caso de contrapendiente el flujo:

- no pasa la falla (**Fig. 24-1 [1,2,3]**),
- o contorna el obstáculo que representa un bloque basculado (**Fig. 24-2**).

Aparece un valle abandonado en el bloque levantado.

En el caso de una falla normal (**Fig. 25**) el río no cambia de cauce:

- no se nota cambio en la pendiente del río, el levantamiento es muy lento (antecedencia) (A);
- por erosión se produce un pedimento al pie del relieve de falla (B) (cono aluvial);
- se reactiva la falla.

¡Cabe notar que en A el tiempo es suficiente para permitir el encajonamiento del río pero no para la erosión del plano de falla, también en C!

En caso de una falla normal activa, el río no cambia de cauce pero el levantamiento es generalmente más rápido que la erosión. Entonces se producen caídas de agua (cascadas). Entre las facetas se desarrolla una erosión particular dicha "en copa de vino".

Perfiles perpendiculares a las fallas (o zona de falla, o flexura) y paralelos a los ríos, muestran cambios en la pendiente del cauce debidos al levantamiento diferencial de los bloques (**Fig. 26**).

2. Fallas de rumbo

A lo largo de estas fallas hay desplazamiento de los cauces de ríos según el trazado de la falla.

El cauce del río está desplazado (**Fig. 27-1**). En la zona de falla, se desarrolla una depresión con laguna (*sag pond*).

A escala de una cuenca, numerosos ríos (**Fig. 27-2**) (**Fig. 28**) presentan un cambio de dirección (traza en bayoneta). Se encuentran alineados según una dirección preferencial, traza de la traza.

La mayoría indica un desplazamiento dextral de la falla. Ciertos no son conformes y presentan apariencia de desplazamiento sinistral.

En las **figuras 27-2 y 28**, se nota que el río principal no sigue exactamente la traza de la falla. Queda al lado y paralelo.

Es un esquema general; el valle se desarrolla en una zona más estable y no sobre la falla misma.

Después del desplazamiento, empiezan los procesos de erosión.

En la **figura 29-1**, en A se forma un escarpe de falla FF'.

A la izquierda de A cada desplazamiento sucesivo produce una nueva zona de escarpe.

En B la barrera formada por el desplazamiento del lomo está erodada y los depósitos de aluvión trancados en C son disectados.

Durante el desplazamiento dextral, el segmento de canal a lo largo de la falla entre A y B se alarga. El gradiente de pendiente del cauce va disminuyendo.

Bajando esta pendiente, el río pierde energía para pasar por A y puede tratar de buscar un paso por otra parte.

En la **figura 29-2** en A un lomo R impide o no favorece el curso del río SS'.

En B empieza la erosión regresiva de G, cortando la falla.

En C sigue esta erosión y se depositan aluviones en la "lagunita" debido a la bajada de pendiente del cauce del río. El río cambia de cauce.

En D el lecho SS' se encuentra deformado por otro movimiento de la falla FF'.