

**ESTRUCTURAS**

**TECTÓNICAS:**

**PLIEGUES Y**

**FALLAS**

# INTRODUCCIÓN

Como sabemos, en las cuencas sedimentarias (zonas deprimidas de la corteza) se depositan los sedimentos que originarán posteriormente las rocas sedimentarias, de **manera horizontal**, pero posteriormente observamos que solo en algunas zonas denominadas mesetas se presentan así.

Lo normal, especialmente en zonas montañosas, es que las rocas sedimentarias se **presenten deformadas**, **plegadas** o **fracturadas**. La parte de la Geología que estudia esas deformaciones y sus causas es la **Tectónica**, que se basa en el **principio de superposición de los estratos o ley de Steno** que dice que “**si no ha habido ningún plegamiento cada estrato es más moderno que aquel sobre el que está situado**”.

Estratos horizontales en el Gran Cañón del Colorado





[The Colorado River as seen from Deadhorse Point, Canyonlands National Park, Utah.](#)



[Delicate Arch, Arches National Park.](#) Utah

## **Bardena Blanca** (Navarra).

Los estratos están en el orden en que se depositaron (los más antiguos en la parte inferior) ya que su depósito se produjo con posterioridad a la orogenia alpina (la última orogenia que ha habido) y no han sufrido plegamiento alguno..

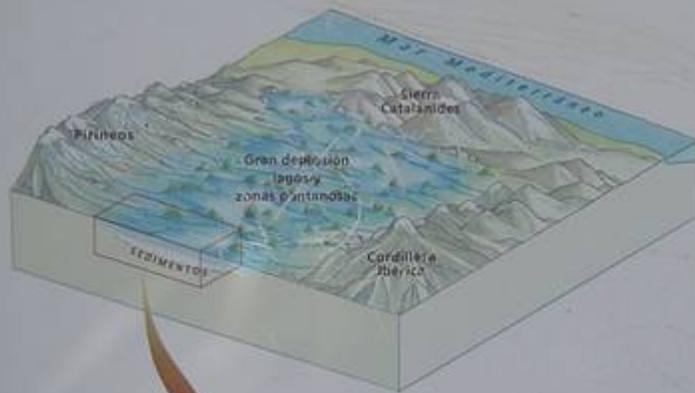


Fotografía: R. Álvarez

# FORMACIÓN DE LAS BARDENAS REALES DE NAVARRA.

## Fase de SEDIMENTACIÓN (hace 20-10 millones de años)

Durante el Terciario el choque de las placas Europea e Ibérica produjo el plegamiento que generó los Pirineos, la Córdillera Ibérica y la Sierra de los Catalánides. La elevación de estas tres cadenas montañosas creó una inmensa cuenca cerrada, sin salida al mar, situada en lo que hoy conocemos como Valle del Ebro. A esta depresión, llegaban los cursos de agua procedentes de las abruptas montañas, en la que, debido a su carácter cerrado, se formaron diversas zonas pantanosas y lagos. Las actuales Bardenas se localizarían en la zona central de esa cuenca.



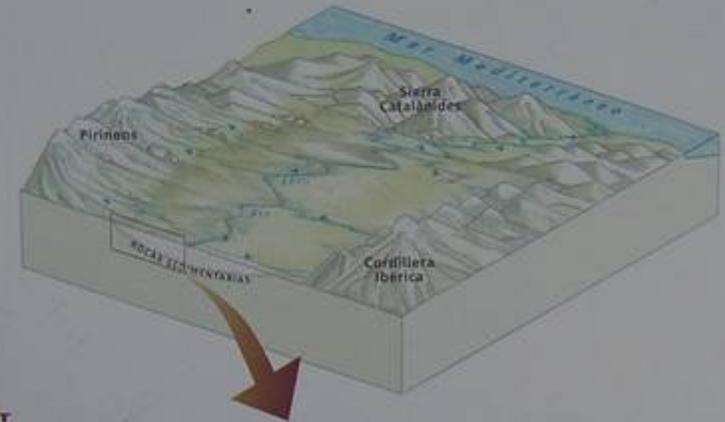
Sedimentos (cantos, gravas, arenas, arcillas, limos, etc.)

Los ríos arrastraban gran cantidad de materiales, fruto de la fuerte erosión de las montañas: cantos, gravas, arenas, arcillas, etc. Conforme los ríos perdían pendiente y energía, se fueron depositando los materiales más pesados (cantos y gravas) y a la zona central de lagos y pantanos sólo llegaron los materiales ligeros (limos, arcillas y algunas arenas). Esta acción continuada durante millones de años hizo posible que se llegaran a acumular espesores de sedimentos cercanos a los 4.000 m.

## FASE DE EROSIÓN

(desde hace 10 millones de años hasta la actualidad)

Hace 10 millones de años la cuenca se abrió por la costa catalana y de esta manera el agua que estaba acumulada encontró una salida hacia el Mediterráneo, surgiendo el río Ebro. En la cuenca, ya desaguada, comenzó el proceso erosivo de los materiales hasta entonces acumulados.



Los depósitos de sedimentos, por un proceso natural de compactación y cementación, se transformaron poco a poco en rocas sedimentarias. Estas no sufren la erosión por igual: las rocas más blandas (arcillas y margas) se erosionan con mayor rapidez que las duras (areniscas, calizas...).



ROCAS SEDIMENTARIAS

Los cabezos se han producido debido a que en la parte superior poseen una capa de roca dura (arenisca, caliza o conglomerado) más resistente a la erosión; dicha capa protege a las rocas subyacentes que son más blandas (sobre todo arcillas y margas). Castildetierra es uno de los ejemplos más espectaculares y conocidos.



# Vista de la Bardena Blanca desde el Santuario de Nuestra Señora del Yugo



**Castildetierra**

Fotografía: R. Álvarez

# Vista de la Bardena Blanca desde el Santuario de Nuestra Señora del Yugo

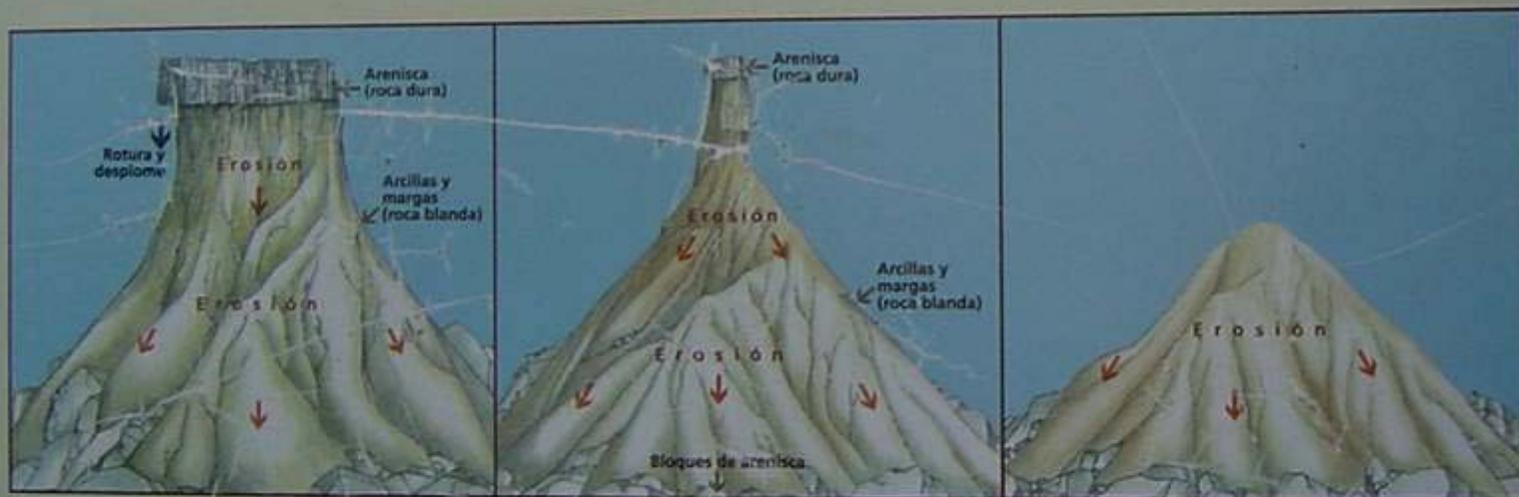
**Castildetierra**



Fotografía: R. Álvarez

# CASTILDETIERRA

Es un cabezo singular y emblemático, símbolo de las Bardenas Reales. Resultado de un proceso erosivo natural de millones de años, hoy la erosión continúa y debemos evitar que la acción humana la acelere. Sus laderas arcillosas son muy frágiles.



Cabezo de  
Castildetierra hace  
miles de años

Castildetierra  
en la  
actualidad

Castildetierra  
en el  
futuro...

**Castildetierra.**  
**Estratos horizontales**  
en la **Bardena Blanca**  
(Navarra).

Están en el orden en  
que se depositaron ya  
que no hay sufrido  
ninguna orogenia.

Estratos de **areniscas** (rocas duras) en  
los resaltes que alternan con **arcillas** y  
**margas** (rocas blandas) que se  
erosionan con facilidad.



Fotografía: R. Álvarez

Las deformaciones de las rocas se producen por el movimiento de las placas litosféricas y son posibles gracias a que las rocas, especialmente las sedimentarias, se comportan como materiales plásticos a lo largo del tiempo, por ello pueden plegarse. Únicamente cuando se supera el umbral de plasticidad las rocas se fracturan y aparecen las fallas.

Para describir la posición de los **estratos** o capas de rocas sedimentarias plegadas o rotas, se utilizan dos medidas: la dirección de las capas y el buzamiento o inclinación.

La **dirección** es la **orientación** de la línea de intersección del plano de la capa o estrato con el plano horizontal. Para medirla se emplea la brújula (que señala el N magnético) y se da en grados desde el N (que se considera convencionalmente el 0) hasta la capa.

El **buzamiento** o **inclinación** de una capa es el ángulo que forma la línea de máxima inclinación del plano del estrato con el plano horizontal. Puede variar entre  $0^\circ$  (capa horizontal) a  $90^\circ$  que sería una capa totalmente vertical.

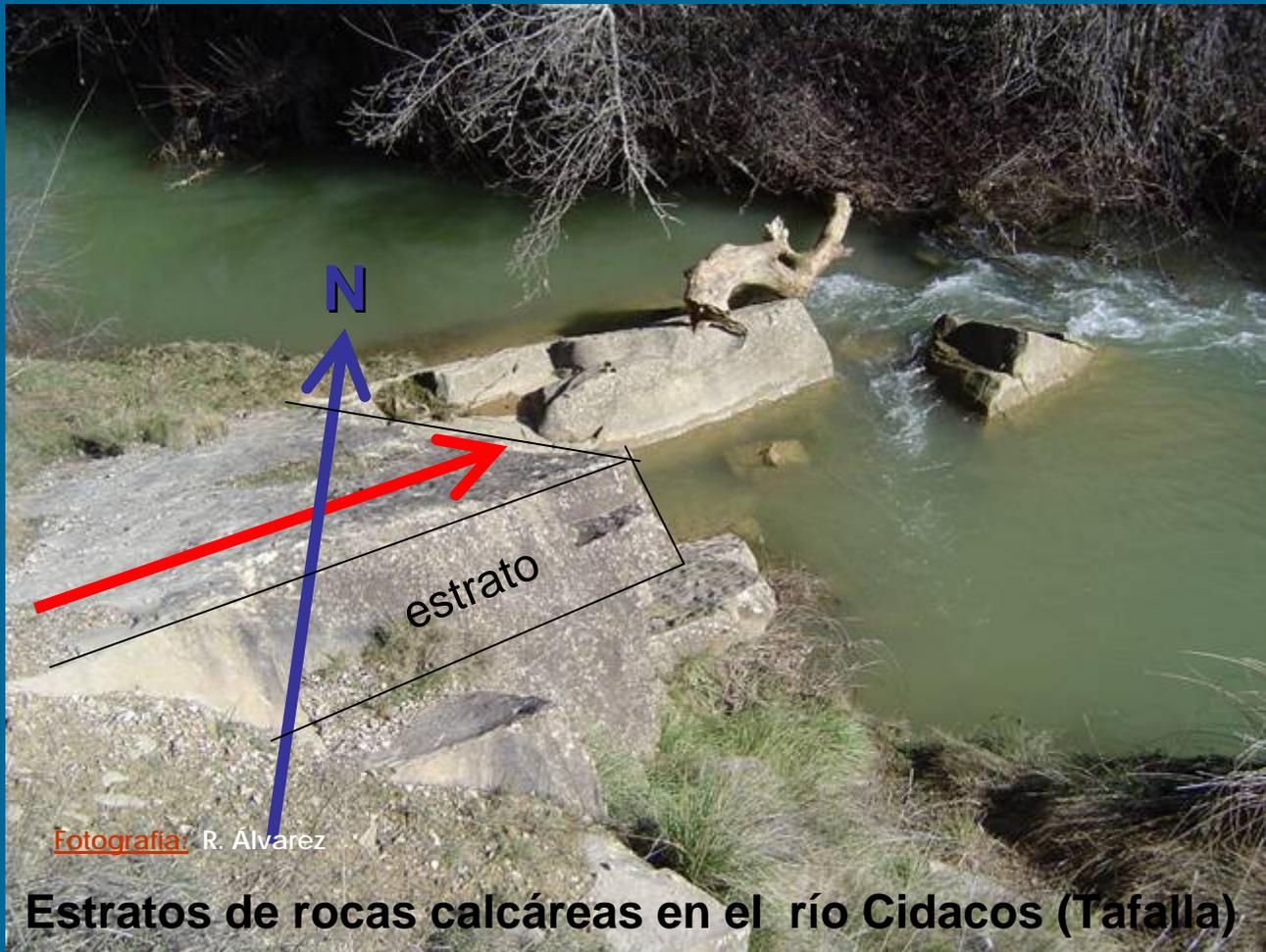
Todos los movimientos que afectan a las rocas de la corteza terrestre pueden ser bruscos (por ej. un terremoto) o lentos como son los movimientos isostásicos (en verticalidad) o epirogénicos (orogenias\* o formación de montañas) causados por el desplazamiento de las placas.

\**Oros*: montaña, *génesis*: formación. Todos estos movimientos tienden a generar relieve y su estudio corresponde a la Geodinámica interna.

# DIRECCIÓN de UN ESTRATO

**En azul:** el **Norte** magnético que nos señala una brújula

**En rojo:** la línea de **intersección** del plano del estrato con el plano horizontal



La **dirección** es la **orientación** de la línea de intersección de los estratos con el plano horizontal. Se mide en grados a partir del norte magnético.

Fotografía: R. Álvarez

**Estratos de rocas calcáreas en el río Cidacos (Tafalla)**

# BUZAMIENTO de UN ESTRATO



**Buzamiento:** es el ángulo que forma la línea de máxima inclinación del plano del estrato con el plano horizontal.

El buzamiento se mide con un **clinómetro**

Fotografía: R. Álvarez

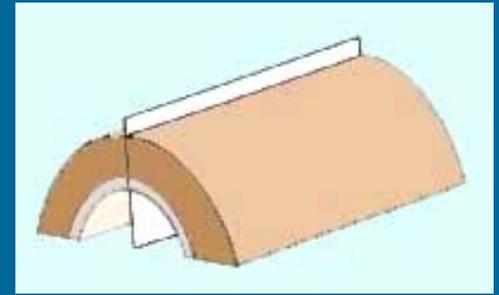
# PLIEGUES



PLIEGUE

¡Se escribe con una  
“u” después de la g!

## ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE LOS PLIEGUES



**Flancos:** cada una de las superficies que forman el pliegue. Presentan buzamientos opuestos y divergentes.

**Charnela:** la línea de unión de los dos flancos (línea de máxima curvatura del pliegue). Se puede considerar que en cada estrato existe una charnela, aunque solo se vea la del estrato exterior. Cuando la charnela no es horizontal el pliegue presenta cierta inclinación (**cabeceo** o **inmersión**).

**Plano axial:** plano imaginario formado por la unión de las charnelas de todos los estratos que forman el pliegue. Divide al pliegue en dos flancos con buzamientos opuestos y divergentes.

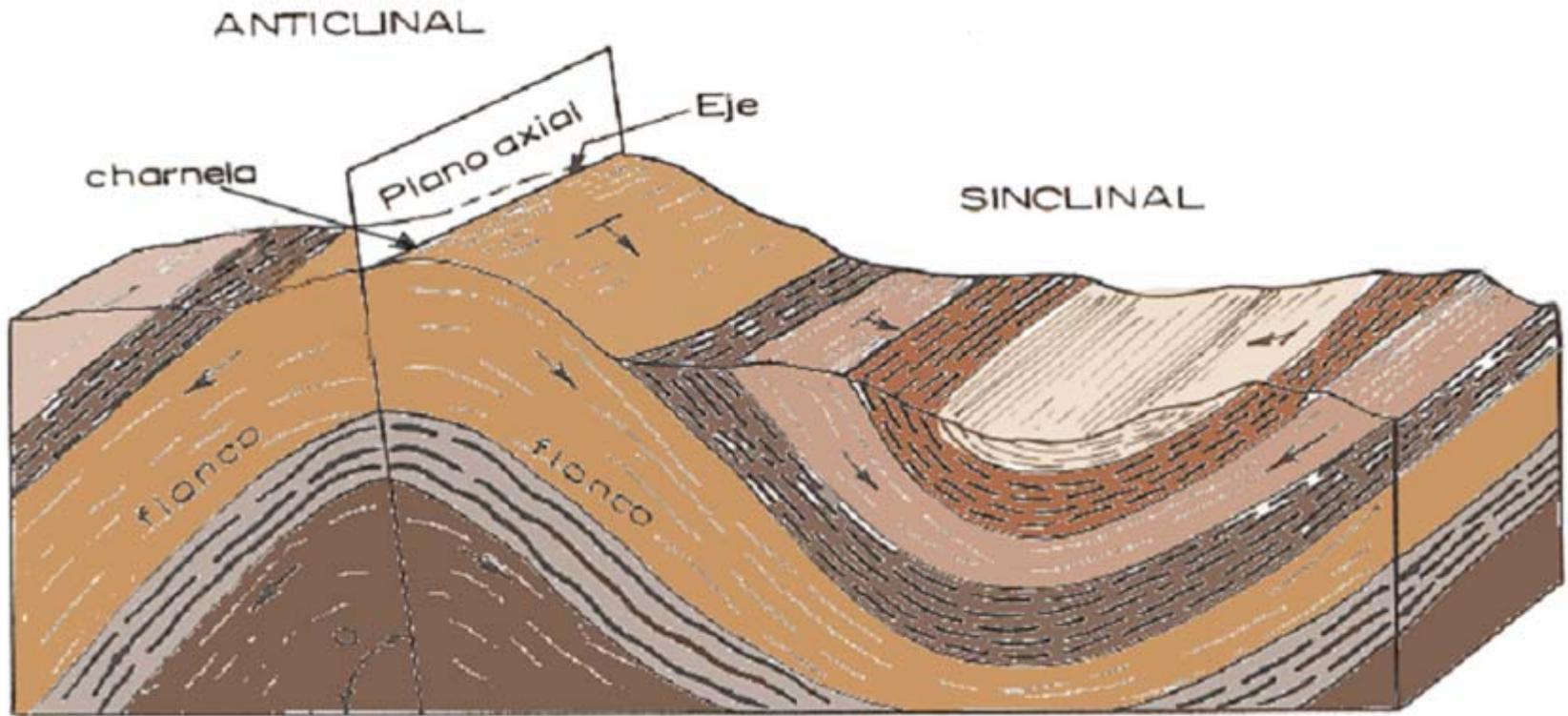
Su alejamiento de la vertical indica la **vergencia** o inclinación del pliegue.

**Vergencia:** es la inclinación o buzamiento del plano axial.

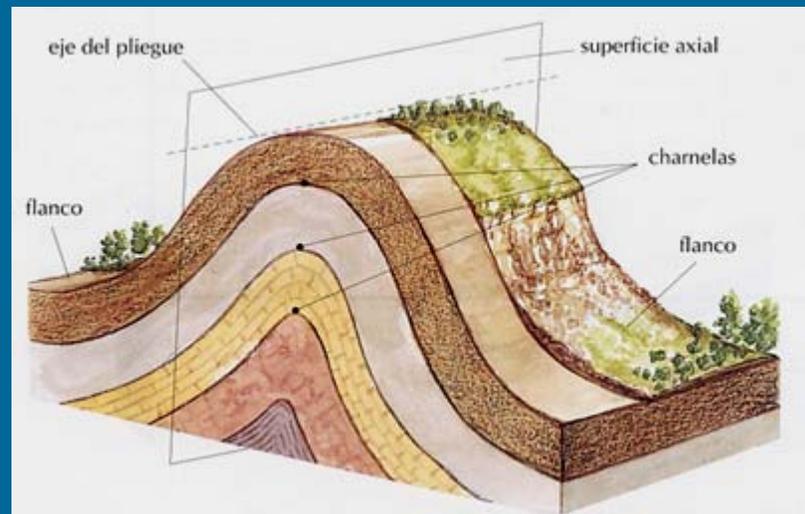
**Eje del pliegue:** línea imaginaria formada por la intersección del plano axial con el plano horizontal.

Su orientación geográfica indica la orientación del pliegue.

El ángulo que forma con la charnela indica la **inmersión** del pliegue.



Nota: algunos autores definen el eje igual que la la charnela (o como “la intersección entre la charnela y el plano axial”, que es lo mismo). Tal como lo hemos definido aquí la charnela y el eje coincidirían cuando el pliegue no presenta inmersión o cabeceo.



# TIPOS DE PLIEGUES

Se pueden clasificar atendiendo a diversos factores de forma independiente.

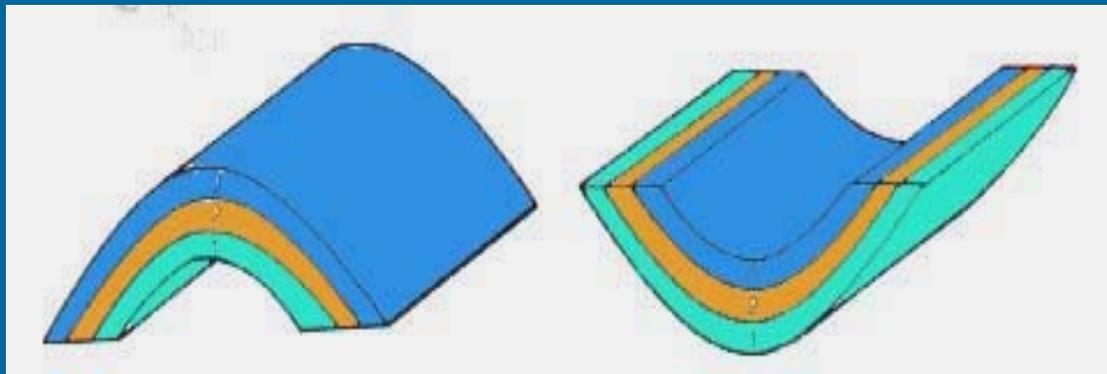
## 1. Por la disposición de las capas:

**Anticlinal:** los materiales más antiguos están situados en el núcleo del pliegue. Generalmente tienen forma de bóveda.

**Sinclinal:** son los materiales más modernos los que se sitúan en el núcleo o centro del pliegue. Generalmente tienen forma de cubeta.

Sinclinales y anticlinales suelen aparecer asociados alternándose.

**Monoclinal o pliegues en rodilla:** pequeña inflexión en los estratos.



Anticlinal

Sinclinal

**Pliegue anticlinal:** se distingue la charnela, zona donde los estratos cambian de buzamiento y los flancos divergen. El plano axial viene dado por el plano de simetría del anticlinal.



# Pliegue anticlinal



Fotografía: R. Álvarez

Carretera a Saint Palais (Francia)

# Pliegue anticlinal, en Isaba (Navarra)



Fotografía: R. Álvarez



**Anticlinal-sinclinal**, en Milagro (Navarra).  
Terciario (yesos) y Cuaternario (terrazza del río Ebro)

Fotografía: R. Álvarez

**Pliegue sinclinal:** Los elementos son los mismos que en un sinclinal, con la diferencia del buzamiento de los flancos (son convergentes). (Nueva Escocia)



**Castillo de Acher. Valle de Hecho (Hu). Junio  
2009. 2930 m. Sinclinal colgado.**



**Castillo de Acher. Valle de Hecho (Hu). Junio  
2009. 2930 m. Sinclinal colgado.**



Fotografía: R. Álvarez

CAMPAMENTO  
RAMERO EL MONJE  
HUESCA

**Castillo de Acher. Valle  
de Hecho (Hu). Junio  
2009. 2930 m. Sinclinal  
colgado.**



**Fotografía:** R. Álvarez

**Castillo de Acher. Valle de Hecho (Hu).  
Junio 2009. 2930 m. Sinclinal colgado.**



Fotografía: R. Álvarez

**Castillo de Acher. Valle  
de Hecho (Hu). Junio  
2009. 2930 m. Sinclinal  
colgado.**



**Fotografía:** R. Álvarez

**Castillo de Acher. Valle  
de Hecho (Hu). Junio  
2009. 2930 m. Sinclinal  
colgado.**



**Fotografía:** R. Álvarez



← Plano axial del sinclinal.  
Además la estructura está  
fallada. Es un pliegue falla.

**Pliegue sinclinal-anticlinal**, cerca de Isaba (Navarra)

**Pliegue monoclinal:** Es una simple inflexión de los estratos, con cierta frecuencia, estos pliegues degeneran en fallas al producirse un estiramiento y fractura de la rama monoclinal del pliegue.



**Pliegue monoclinal o en rodilla**, cerca de Salvatierra de Esca (Zaragoza, cerca de Navarra, del pantano de Yesa y de la Sierra de Leyre)

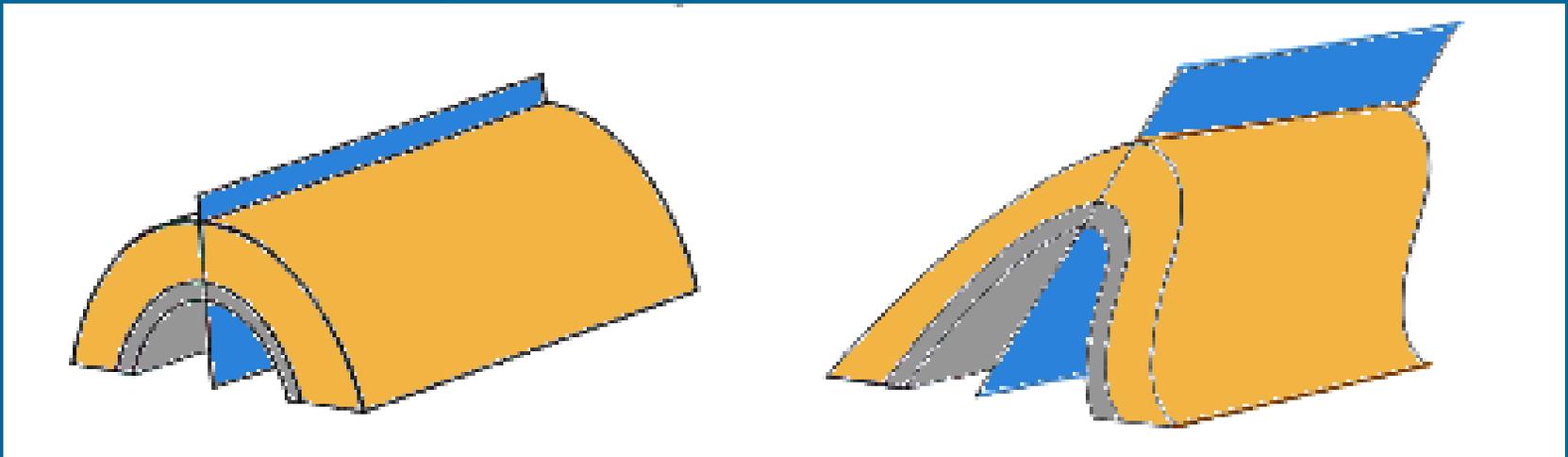


Fotografía: R. Álvarez

## 2. Por su simetría:

**Simétricos:** el ángulo (buzamiento) que forman los dos flancos con la horizontal es aproximadamente el mismo. El plano axial suele ser vertical.

**Asimétricos:** los dos flancos tienen inclinaciones (buzamientos) claramente distintas. El plano axial suele estar inclinado.

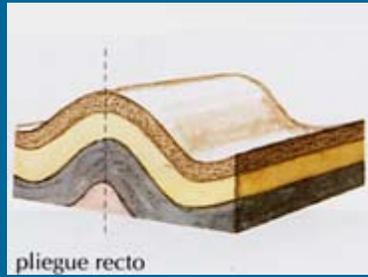
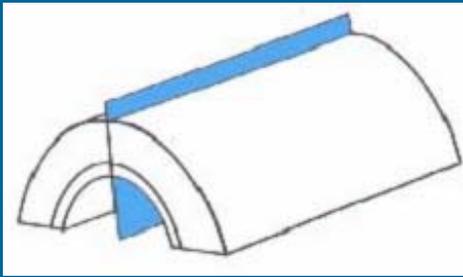


### 3. Por inclinación (vergenza) del plano axial:

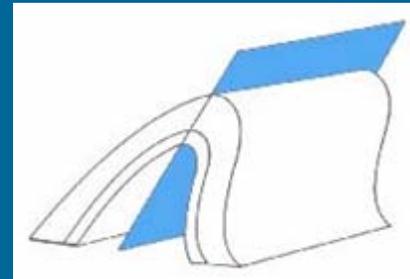
**Recto:** el plano axial es vertical.

**Inclinados:** el plano axial forma un ángulo con la vertical.

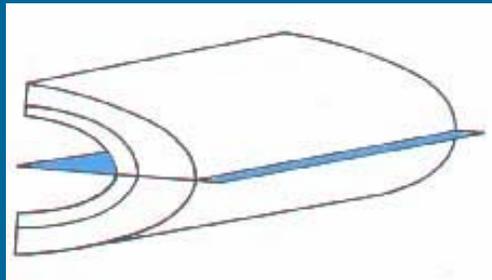
**Tumbados (acostado, volcado) :** el plano axial es horizontal y en uno de los flancos la sucesión estratigráfica queda invertida, con los estratos más modernos debajo de los más antiguos.



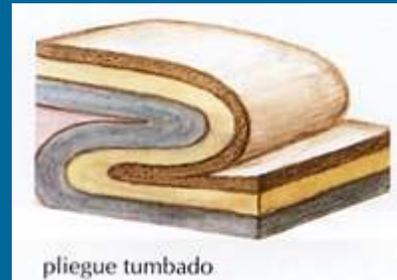
Recto



Inclinado



Tumbado



**Ejemplo de pliegue volcado o acostado:** Cuando el pliegue es más o menos asimétrico, con el plano axial casi horizontal.

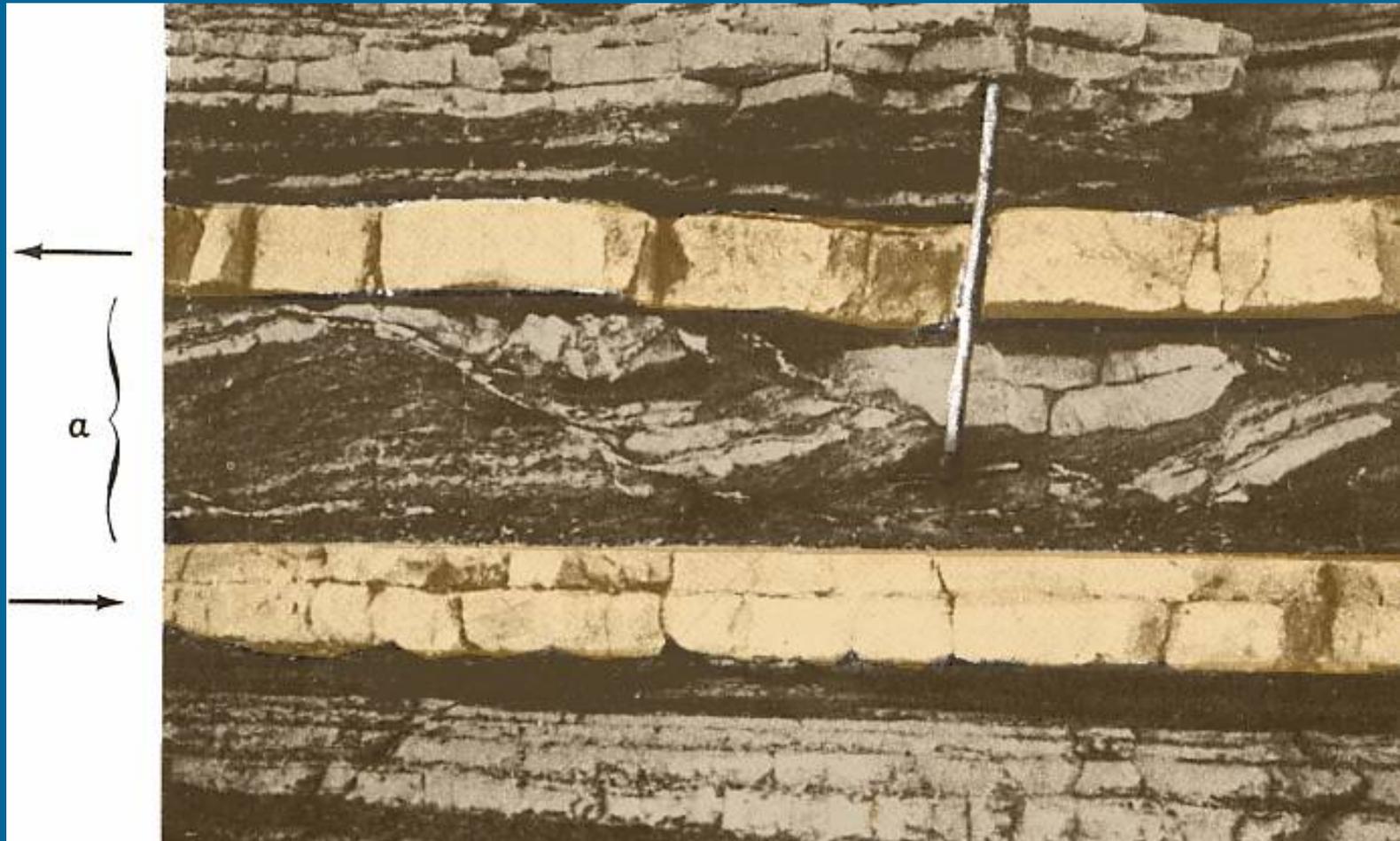


#### 4. Por el comportamiento de los materiales:

**Pliegues armónicos:** Los estratos se comportan de forma parecida ante los esfuerzos tectónicos y todas las capas son paralelas entre si

**Pliegues disarmónicos:** se producen cuando alternan capas blandas con capas duras que responde de distinta manera a los esfuerzos tectónicos. Las capas blandas o incompetentes se deforman irregularmente entre las capas duras o competentes que dibujan un pliegue regular. En este caso se llaman **pliegues de arrastre** a los que se forman en las capas blanda se incompetentes.

**Diapiros:** son un caso de pliegues disarmónicos producidos por masas de rocas salinas, poco densas que tienden a ascender a la superficie por su poca densidad empujando a los estratos que están encima. En realidad es un fenómeno independiente de la tectónica, pero causa un plegamiento en forma de domo o cúpula (montaña de sal de Cardona, diapiro de Estella). Si los estratos superiores son blandos se pueden originar en ellos pliegues disarmónicos.



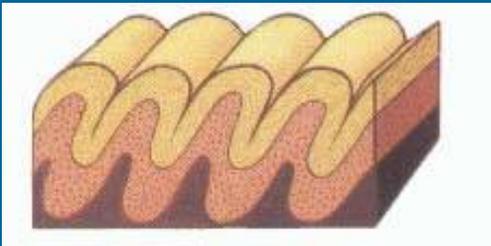
- Ejemplo de dos estratos de caliza que han sufrido desplazamientos relativos, en el sentido de las flechas, originando *pliegues de arrastre* en el estrato *a*, de pizarras, intercalado entre ambos. El eje del anticlinal al que corresponde esta estructura se encuentra a la izquierda, ya que en este sentido se ha desplazado el estrato más moderno (superior); los ejes de los pliegues de arrastre y las diaclasas del estrato *a*, también se inclinan en este sentido (hacia la izquierda). Flysch eoceno de Fuenterrabía (Guipúzcoa).

## ASOCIACIONES DE PLIEGUES

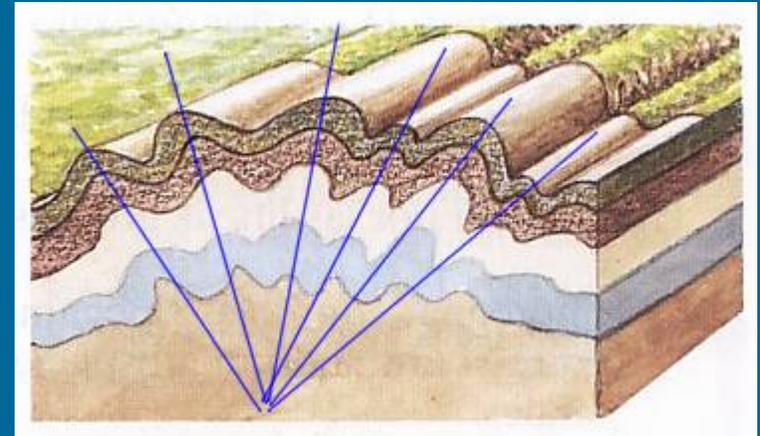
Series **isoclinales** (o **isiclinorio**): los planos axiales de los pliegues que intervienen en la asociación son paralelos.

**Anticlinorios:** los planos axiales convergen hacia el centro de la Tierra, formando el conjunto **una gran estructura anticlinal**.

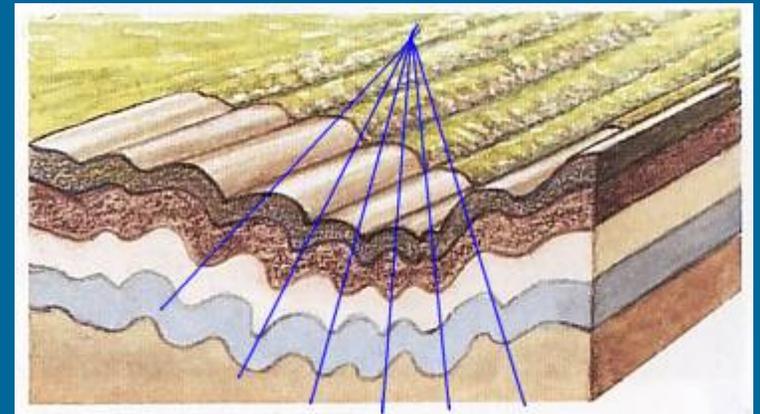
**Sinclinorios:** los planos axiales convergen hacia el exterior de la Tierra. El conjunto forma como **un gran sinclinal**.



Isoclinal



Anticlinorio

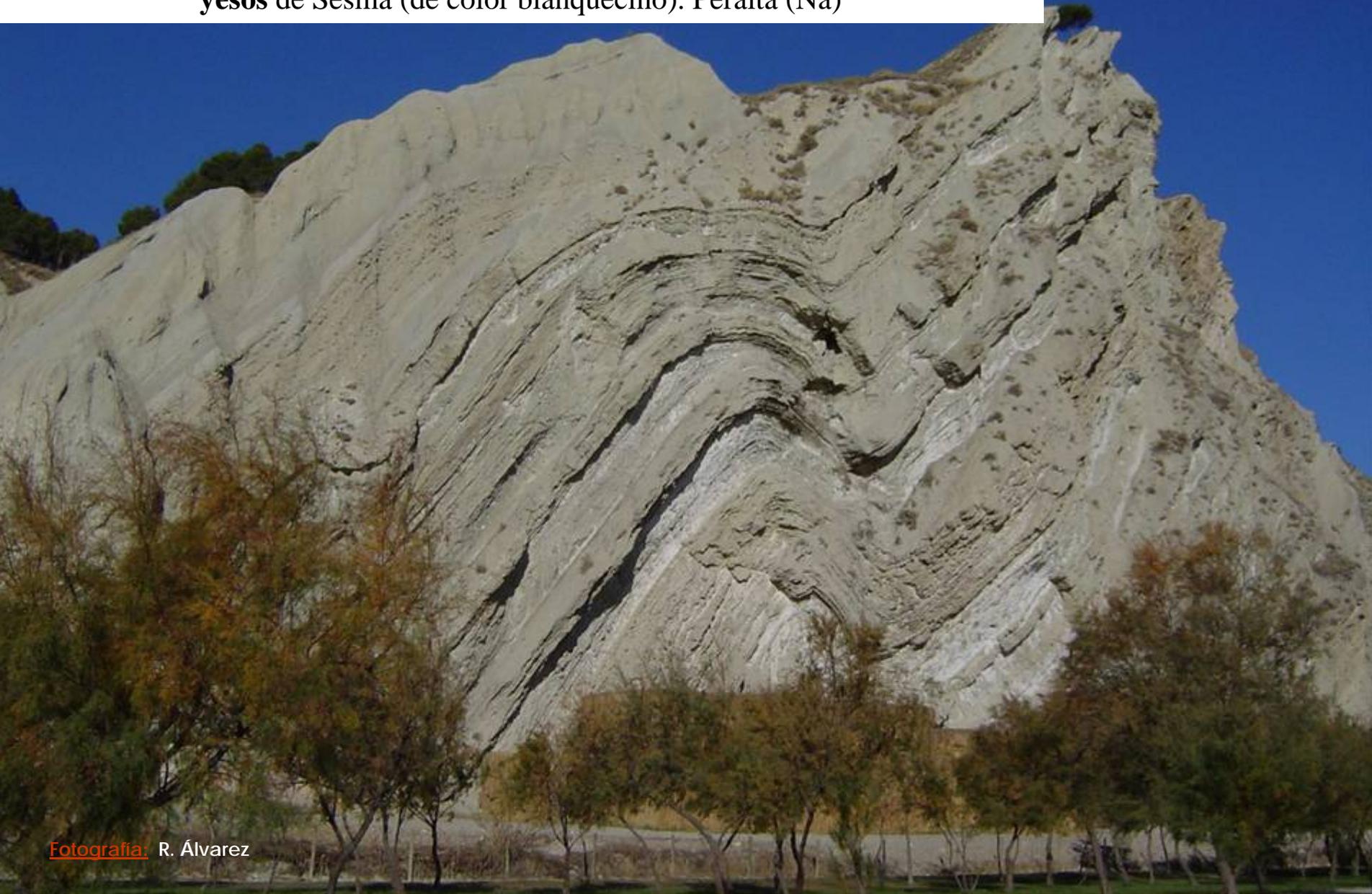


Sinclinorio

**Ejemplo de pliegue isoclinal:** Cuando una serie de pliegues sucesivos llegan a presentar sus flancos paralelos, originan una serie isoclinal continua, de estratos con buzamiento uniforme.

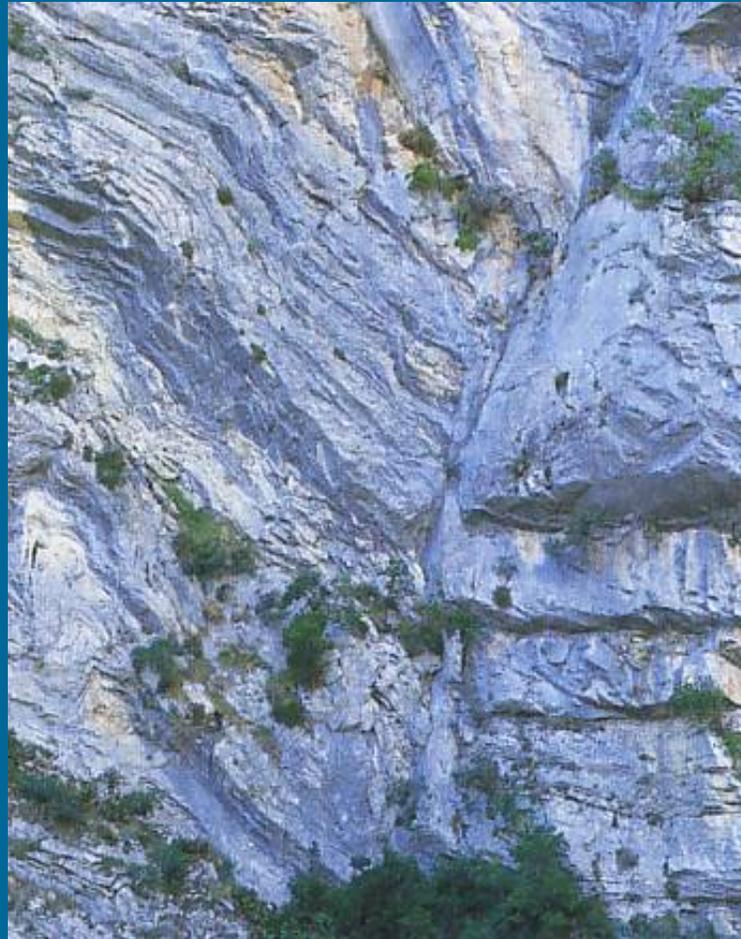


**Anticlinorio** (parte): **Arcillas** de Villafranca (de color grisáceo) alternando con **yesos** de Sesma (de color blanquecino). Peralta (Na)



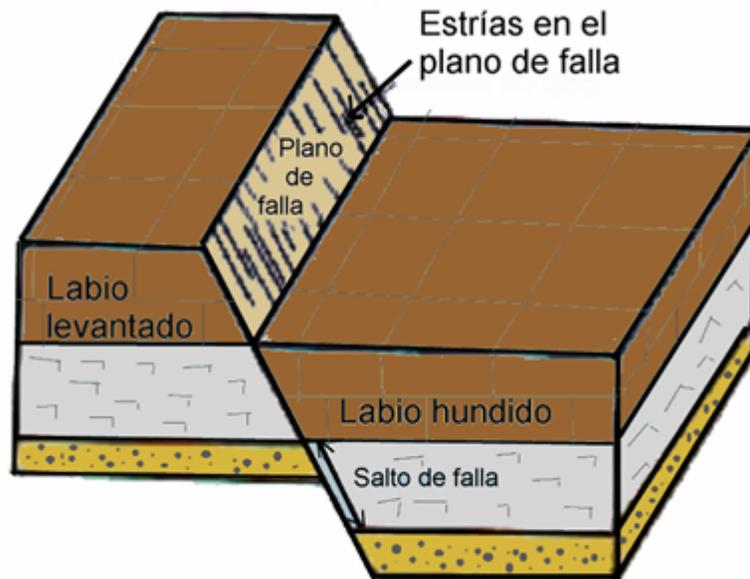
Fotografía: R. Álvarez

# FALLAS



La fracturación de las rocas de la litosfera se produce cuando los esfuerzos tectónicos sobrepasan el límite de resistencia o el umbral de plasticidad. Hay que distinguir entre las **diaclasas** que son fracturas en las que no se observa ningún desplazamiento y las **fallas** en las que se produce un desplazamiento relativo entre dos bloques de rocas separados por la fractura. Las dimensiones de las diaclasas o fallas son muy variadas, desde pocos cm a cientos de metros (en profundidad) y desde longitudes muy pequeñas a cientos de Km.

**Definición de falla:** es una superficie de discontinuidad, generalmente plana, a lo largo de la cual se ha producido un **desplazamiento** relativo de una de las partes con respecto a la otra.



# ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE LAS FALLAS

Al igual que en los pliegues, definir una serie de elementos geométricos en las fallas nos servirá para clasificarlas y averiguar ciertos aspectos sobre su origen.

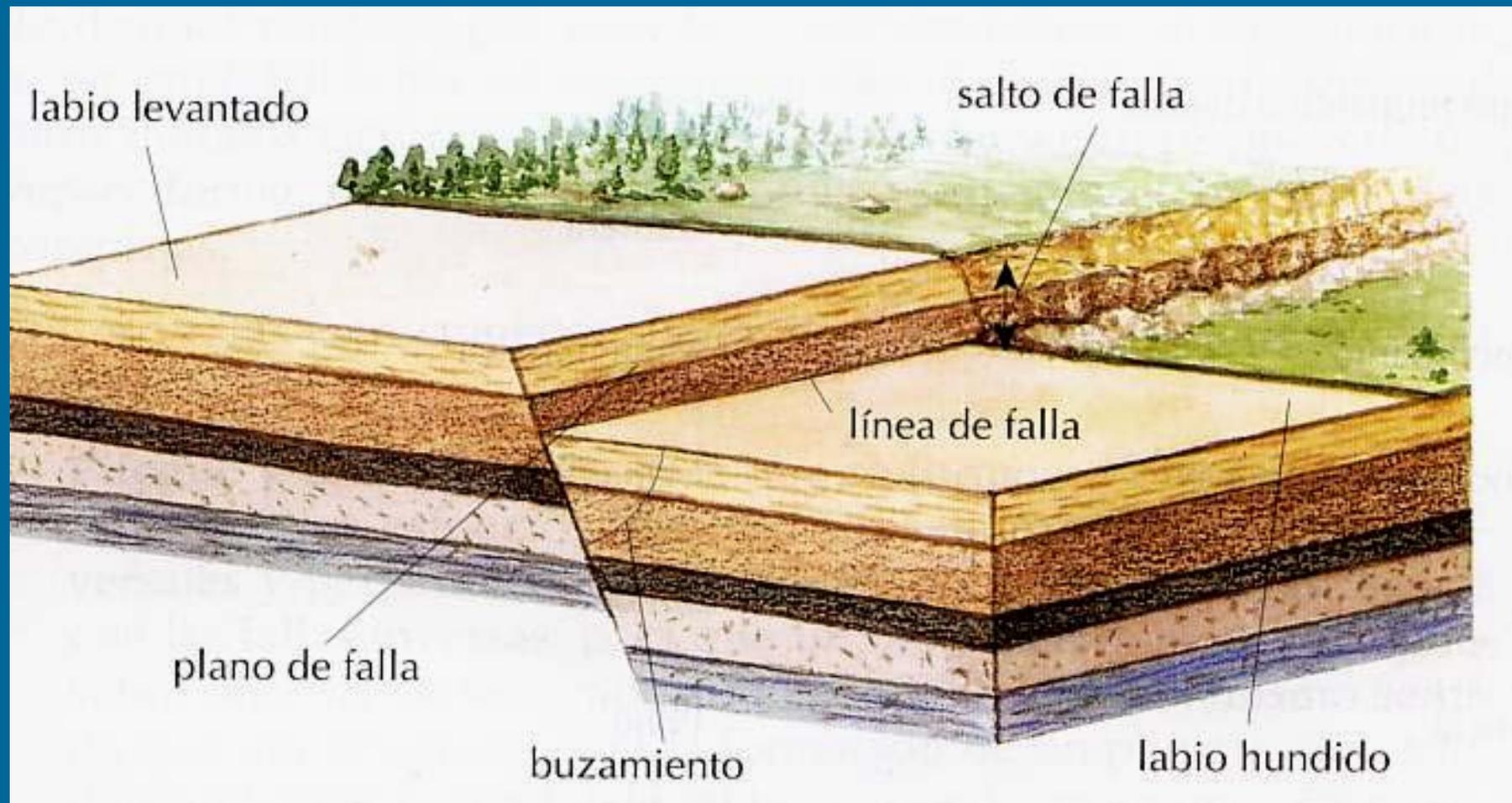
**Plano de falla:** es la superficie de fractura y deslizamiento. Para definirlo es necesario indicar su rumbo (o dirección) y su buzamiento. A veces aparecen en el estrías paralelas al movimiento de los bloques (**estrías de falla**). Otras veces la superficie del desplazamiento aparece pulimentada como consecuencia del rozamiento (**espejo de falla**)

**Bloques o labios de la falla:** son los dos bloques desplazados. Su movimiento queda definido al indicar el sentido del desplazamiento (vertical, horizontal, oblicuo). En los casos más frecuentes se distinguen:

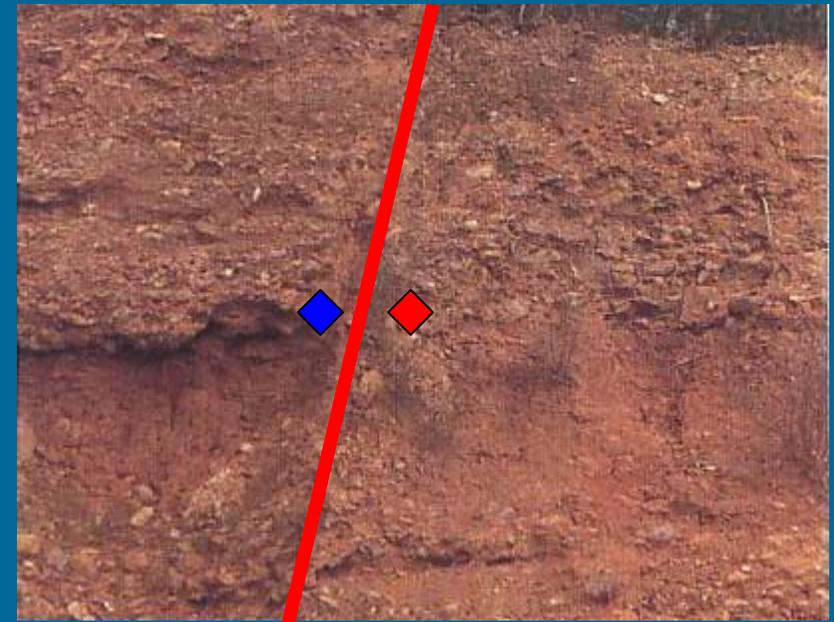
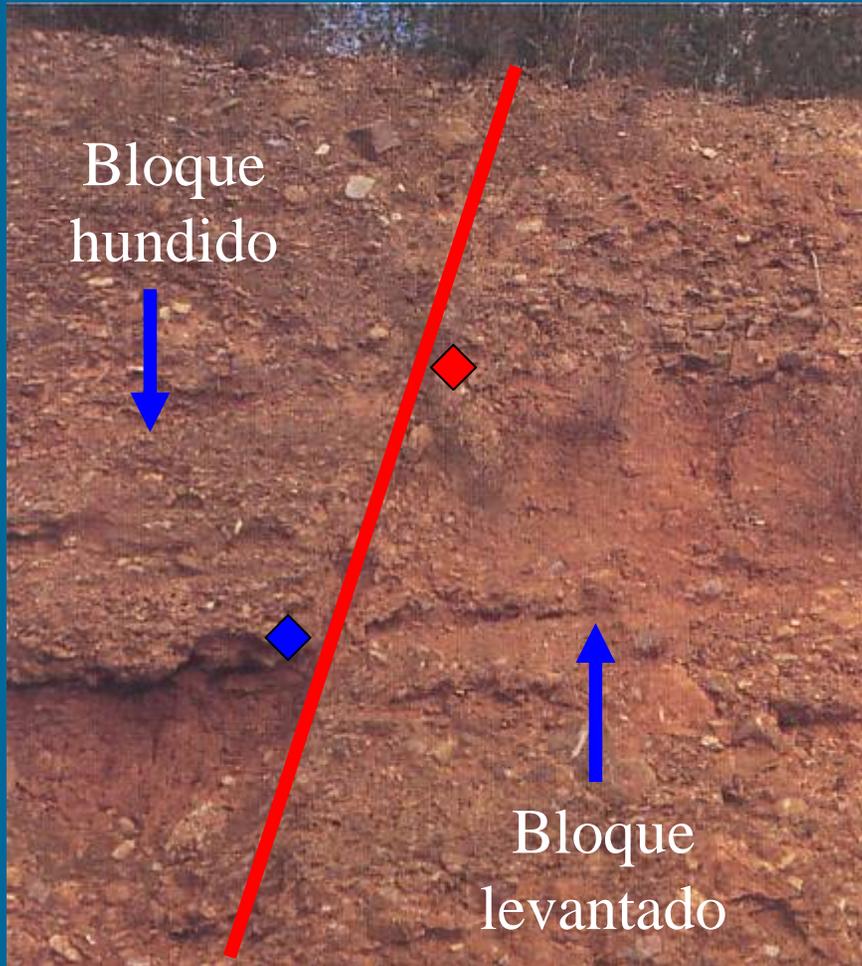
- \* Un **labio hundido:** el que queda en posición inferior con respecto al otro.
- \* Un **labio levantado:** se mantiene elevado con respecto al hundido.

Generalmente no se puede saber si se ha hundido uno o se ha levantado el otro. Sólo podemos observar el movimiento relativo de uno con respecto al otro.

**Salto o escarpe de falla:** es el desnivel que se produce entre los labios. El desplazamiento de los bloques produce un escalón morfológico en el terreno que suele ser rápidamente eliminado por erosión, por ello el salto de falla se suele medir por la diferencia de posición de un mismo estrato a ambos lados de la falla.



# Falla directa



# TIPOS DE FALLAS

Las fallas se clasifican con arreglo a la inclinación del plano de falla y el sentido del desplazamiento.

**1. Falla vertical:** el plano de falla es vertical

**2. Falla normal o directa:** el labio hundido se apoya sobre el plano de falla. Se deben a esfuerzos tectónicos de **distensión**, dado que hay un aumento de la superficie. El buzamiento puede oscilar de 0 a 90° pero lo más frecuente es que sea de 60 a 90°.

**3. Falla inversa:** el labio levantado se apoya sobre el plano de falla. Se originan por esfuerzos de **compresión**. Hay una disminución de superficie. El buzamiento más frecuente es entre 45 y 60°. Se pueden denominar de otras formas según el buzamiento:

**Fallas inversas o cobijaduras**, con buzamientos superiores a 45°.

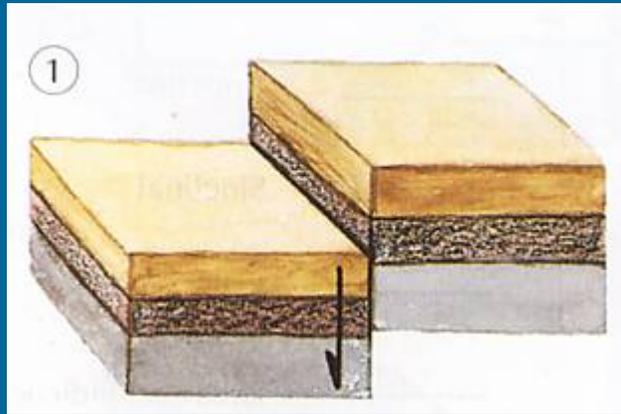
**Cabalgamientos**, con buzamientos entre 15 y 45°.

**Mantos de corrimiento (o nappes)**, con buzamientos entre 0 y 15°.

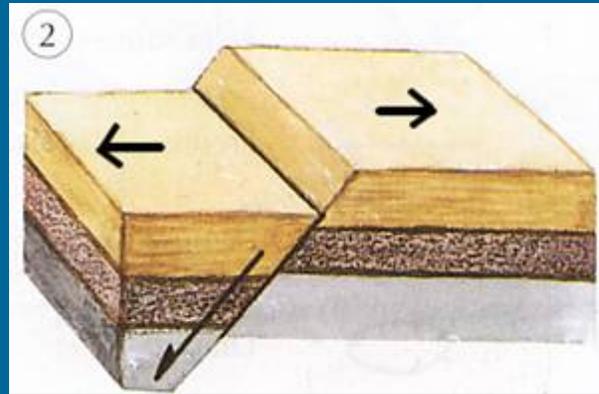
**4. Falla horizontal (= en dirección, =desgarre, =cizalladura):** el desplazamiento es exclusivamente horizontal.

**5. Falla rotacional o en tijera:** el movimiento se produce por una rotación alrededor de un eje. El salto varía en magnitud a lo largo del plano de falla.

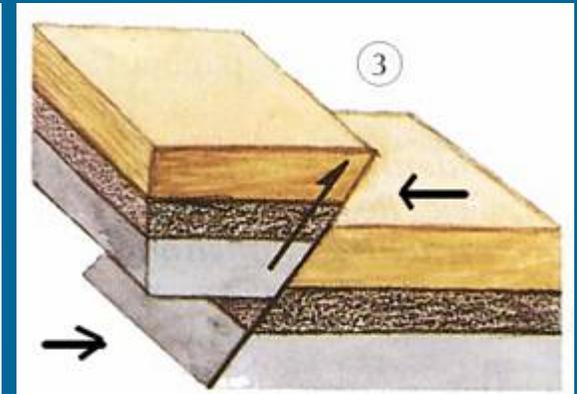
**6. Fallas de transformación:** conectan accidentes estructurales de primer orden, como placas litosféricas. Aparecen en las dorsales oceánicas y juegan un papel muy importante en la expansión del fondo oceánico.



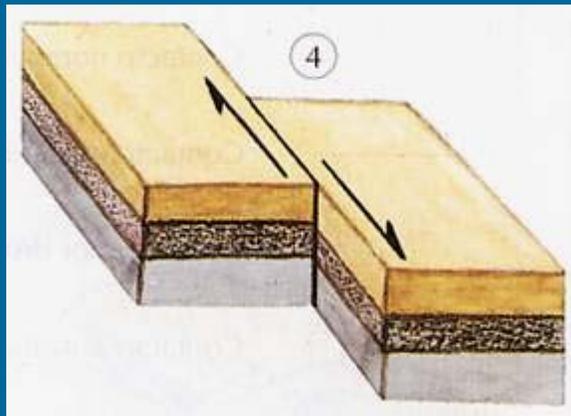
1. Vertical



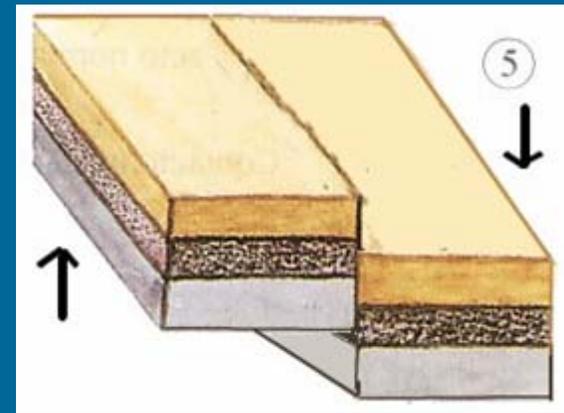
2 Normal o directa



3 Inversa



4. Horizontal o de desgarre



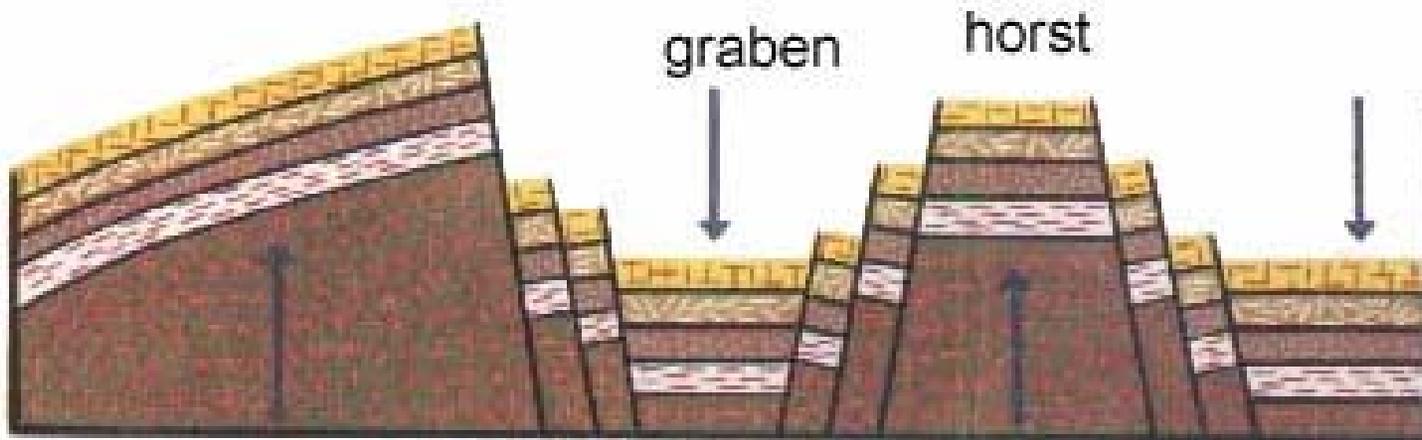
5. Rotacional o en tijera

## ASOCIACIONES DE FALLAS

Al igual que ocurre con los pliegues, las fallas no suelen darse de manera aislada, sino que aparecen asociadas, respondiendo a las características particulares de las fuerzas que las originaron.

**Horst o macizo tectónico:** asociación de fallas en la que la zona central aparece levantada con respecto a los laterales. Ejemplo: la [Sierra de Guadarrama](#).

**Graben o fosa tectónica:** la zona central aparece hundida con respecto a los laterales. Ejemplo: [la cuenca del Tajo](#).



La mitad occidental de la Península Ibérica, que se corresponde con los materiales más antiguos, tiene una estructura en Horsts y Grabens. De norte a sur:

Graben ----- Cuenca del Duero  
Horst ----- Sistema Central  
Graben ----- Depresión del Tajo  
Horst ----- Montes de Toledo  
Graben ----- Llanura Manchega

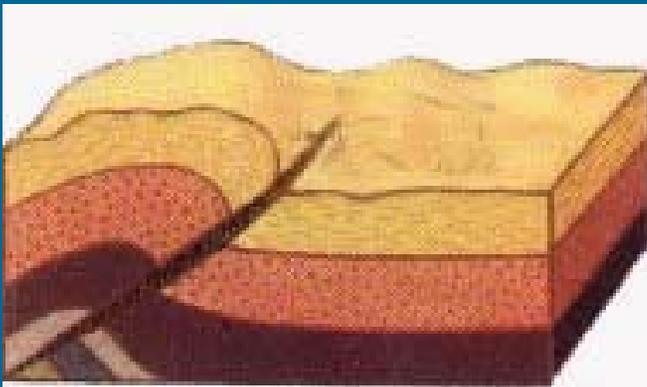
¡Ojo!. No todos los sistemas montañosos son asociaciones de fallas; también pueden ser por plegamientos (Sistema Ibérico); por estructuras mixtas (Sistema Bético y Pirineos); o parte de un tipo y parte de otro (Cordillera Cantábrica).

## ESTRUCTURAS ESPECIALES

**Pliegue-falla:** tras plegarse un material, si las fuerzas compresivas siguen actuando puede llegar a superarse su límite de plasticidad y romperse.

**Cabalgamiento:** si, tras producirse un pliegue-falla, siguen actuando las fuerzas. Una de las dos partes se desplazará por encima de la otra.

**Mantos de corrimiento:** son cabalgamientos de grandes dimensiones. El desplazamiento puede ser de cientos de kilómetros, llegándose a desconectar una parte de la otra. A estos mantos se les suelen superponer nuevos plegamientos.



Pliegue falla



Cabalgamiento o manto de corrimiento si es muy extenso

Para hacerse una idea de la magnitud que puede llegar a tener un manto:

- Toda Austria está sobre un manto de los Alpes.
- En los Alpes Centrales hay dos alineaciones montañosas, una al norte, los Alpes Septentrionales y otra al sur, los Alpes Meridionales. Al estudiar los fósiles anteriores a la formación de los Alpes resultó que los fósiles de la cadena septentrional proceden del Gondwana (el continente que había al sur), mientras que los de la cadena meridional proceden de Laurasia (el continente del norte).

## DIACLASAS

Son fracturas en las que no hay desplazamiento de los bloques. Su origen puede ser tectónico (por la energía interna de la Tierra) o no (alteraciones químicas de los minerales, cuñas de hielo etc). Como las fallas pueden afectar a otro tipo de rocas, magmáticas y metamórficas y no solo a las sedimentarias.

Algunos tipos de diaclasas son:

**De retracción:** grietas que se forman en las rocas por pérdida de volumen. Por ejemplo en las arcillas cuando se deshidratan o en rocas volcánicas (**basalto**) al solidificar.

**Por tensión:** por ejemplo en la parte externa de la charnela de los pliegues.

**Por compresión:** cara interna de la charnela de los pliegues.



Columnas exagonales que se forman al enfriarse el basalto, separadas por grietas o diaclasas.





← **Diaclasas en terreno  
granítico Toén (Orense)**