

Departamento de Ciencias de la Tierra

Facultad de Ciencias

Universidad de Zaragoza



Compendio Didáctico de Geología



Textos explicativos (niveles ESO & Bachillerato)





Departamento de Ciencias de la Tierra

— Facultad de Ciencias —

Universidad de Zaragoza

7ª Olimpiada Española de Geología 2016

---

# Compendio Didáctico de Geología

Textos explicativos (niveles ESO & Bachillerato)

---



**COMPENDIO didáctico de Geología:** textos explicativos (niveles ESO & Bachillerato) / 7.<sup>a</sup> Olimpiada Española de Geología 2016, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias de la Tierra; [M<sup>a</sup> José MAYAYO y Alfonso YUSTE (eds.)]. — [Zaragoza]: Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 2016.

215. p. ; 16 × 20. cm

D.L.: Z-328-2016

I.S.B.N. 978-84-608-68-59-0

1. Geología 2. Recursos didácticos I. MAYAYO, María José (ed.) II. YUSTE, Alfonso (ed.) III. Universidad de Zaragoza. Departamento de Ciencias de la Tierra IV. Universidad de Zaragoza. 7.<sup>a</sup> Olimpiada Universitaria (2016. Zaragoza)

C.D.U.: 55(07)



Observatorio de la  
Lectura y el Libro



# ÍNDICE

Las páginas vienen numeradas desde la cubierta, a la que corresponde el N.º 1

---

Ficha catalográfica . . . . .	4
Presentación . . . . .	9
Álbum 01. <b>Cristalografía y Mineralogía</b> . . . . .	11
Álbum 02. <b>Petrología</b> . . . . .	39
Álbum 03. <b>Estratigrafía</b> . . . . .	73
Álbum 04. <b>Paleontología</b> . . . . .	109
Álbum 05. <b>Geodinámica Interna</b> . . . . .	135
Álbum 06. <b>Geodinámica Externa</b> . . . . .	165
Anexo. Índice de láminas . . . . .	x
Anexo. Colofón y agradecimientos . . . . .	x



*Pyrophylacium*



## «¿Servicio público?

El aprendizaje corporativo es un **servicio público**.

También lo son las ciencias de la Tierra.

Con la **S** y con la **P** escribimos:

Saber Pagar,

Saber Parar,

Sabrosa Penitencia,

Saber Procurar,

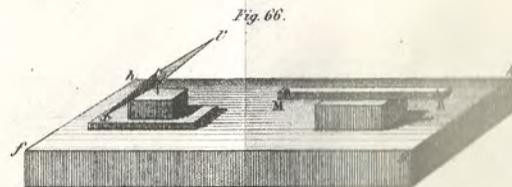
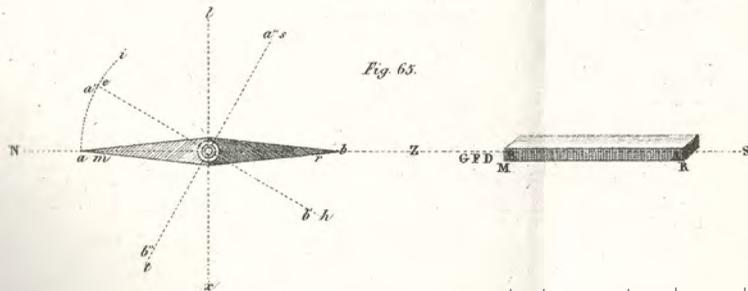
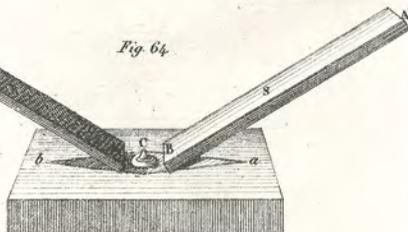
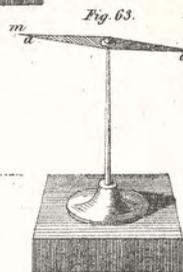
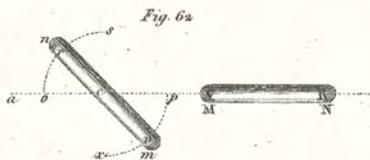
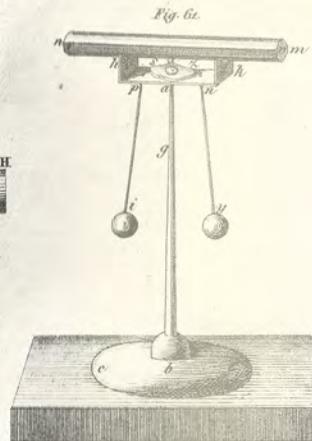
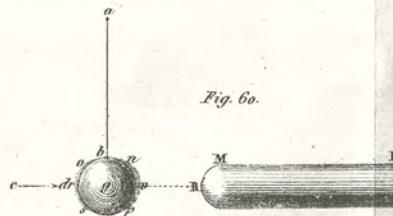
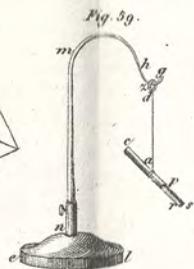
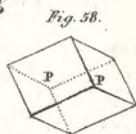
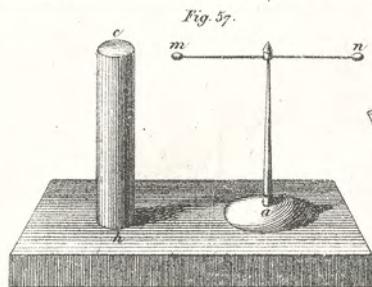
Sabia Pregunta,  
 Santa Penitencia,  
 Sabio Pensamiento,  
 Sacrificio Permanente,  
 Sacudir Polvo,  
 Salario Precario,  
 Salir Perdiendo,  
 Salmo Penitencial,  
 Sancionar Prudente,  
 Sangre Perdida,  
 Sangre Preciosa,  
 Santa Perseverancia,  
 Según Podamos,  
 Satisfacción Propia,  
 Sed Perseverantes,  
 Secreto Profesional,  
 Sed Perfectos,  
 Sed Prácticos,  
 Seguro Proceder,  
 Sentido Preciso,

Ser Pensante,  
 Ser Paciente,  
 Ser Práctico,  
 Ser Pánfilo,  
 Separación Penosa,  
 Ser Probado,  
 Ser Puntilloso,  
 Siempre Puntual,  
 Servicio Paciente,  
 Seriedad Permanente,  
 Servicio Perfecto,  
 Síntesis Prometedora,  
 Siempre Pensando,  
 Siguiendo Prestación,  
 Silencio Profundo,  
 Sin Precipitación,  
 Sin Prejuicios,  
 Sonrisa Permanente,  
 Suavizar Problemas,  
 Sueño Perdido,  
 Soportar Palmazos.

San Pedro, S. Pantaleón, S<sup>ta</sup> Porfiria, S<sup>ta</sup> Petronila, S. Patricio, S<sup>ta</sup> Paula, S. Policarpo de Esmirna, S<sup>ta</sup> Piedad; santos y santas patronas del Servicio Público, **rogad** por nosotros y por todos.»

---

Ricardo GARCÍA GIL, P<sup>bro</sup>:  
*Oración al Servicio Público.*



2. Instrumentos de medición.

## PRESENTACIÓN

Y como un **servicio público** presentamos aquí estas páginas.

Las seis Áreas que conforman el **Departamento de Ciencias** de la **Tierra** proporcionaron una serie de materiales para la **Olimpiada Universitaria**. Los ofrecemos a continuación coordinados y editados.

Es una **información** elaborada para el alumnado de la **ESO** y el **Bachillerato**.

De esta manera, nuestra **Mater nutritia** quiere contribuir a despertar su **curiosidad** en las ciencias exactas.

La agrupación socio-educativa '**ál-May'ári-Valmadrid**' () viene desarrollando, desde hace 10 años, una iniciativa denominada **Taller de literatura experimental**; protegida por los **Planes Estatales** para el **Fomento de la Lectura** (MICYD, Madrid).

Conviene agradecer a esa entidad, lo mismo que al **EDEMUZ** (Equipo Docente de Electromagnetismo, **EINA, UZ**) su **decisivo** trabajo en red para presentar, de una manera atractiva, esta recopilación de datos.

Confiamos en que puedan ser de **UTILIDAD**.

---

M.<sup>a</sup> José MAYAYO y Alfonso YUSTE (Eds.)  
JACA, abril de 2016

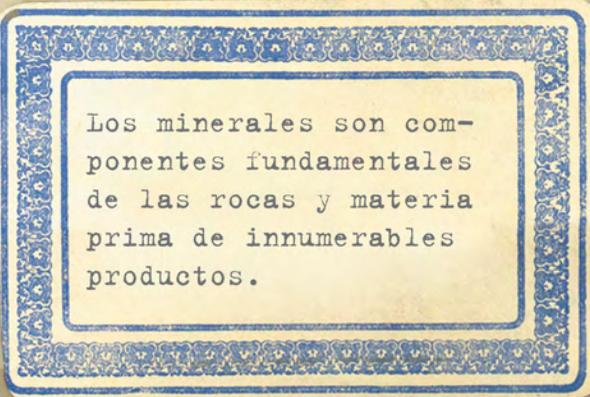
---

() Más detalles en: > YouTube > Canal de cultura > al May ari-Valmadrid  
O en: < tallerliteraturaexperimentalalmayari.blogspot.com >



# ALBUM





Los minerales son componentes fundamentales de las rocas y materia prima de innumerables productos.

# Cristalografía y Mineralogía

UNA GUÍA PARA EL ESTUDIANTE.

7ª OLIMPIADA ESPAÑOLA DE GEOLOGÍA. M.<sup>a</sup> José MAYAYO y Alfonso YUSTE

---



«LA NATURALEZA ESTÁ más vigorosa cada día, y el mundo más vistosamente adornado [...].»

«NO HAY VULGO en la República de la Naturaleza. Todas sus obras tienen mucho de sublime.»

Benito Jerónimo FEIJOO, OSB:  
*Teatro Crítico Universal o Discursos varios en todo género de materias para desengaño de errores comunes*, vol. VI, Discursos v y VI.  
Madrid, D. Joaquín Ibarra, 1777.



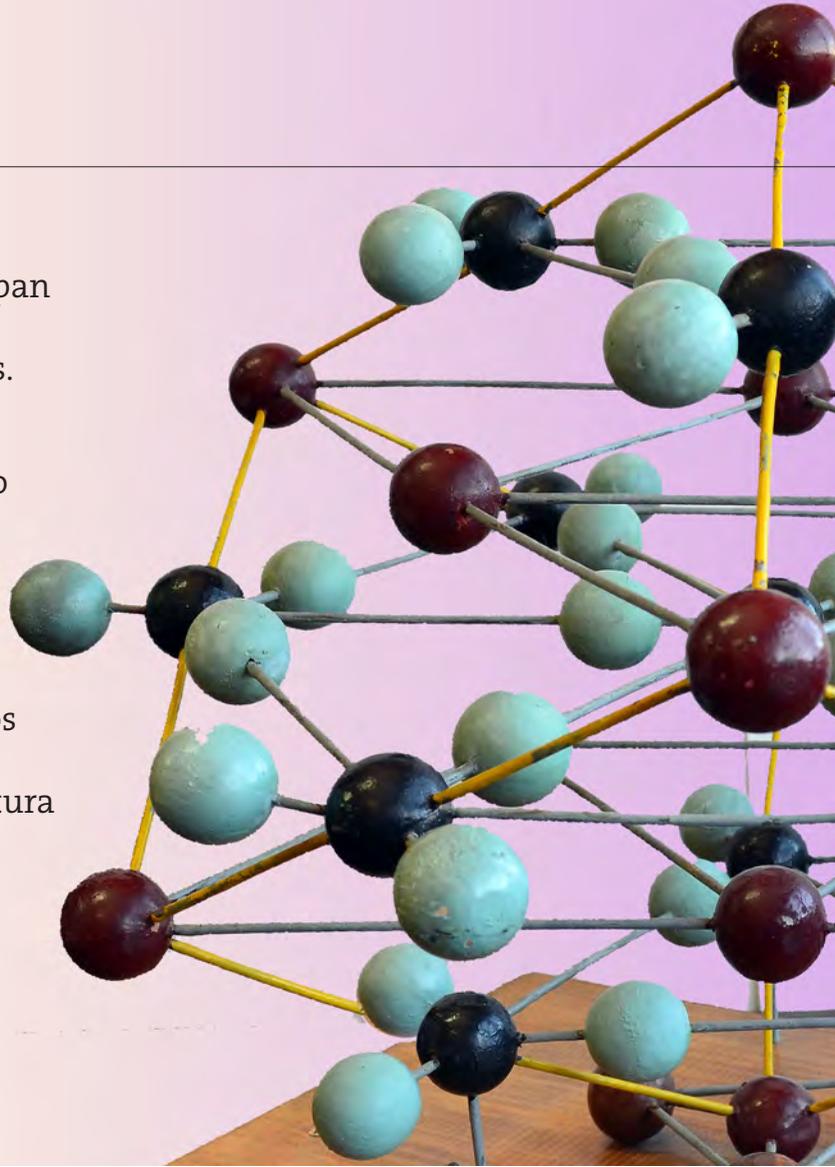
- 
3. Erupción volcánica según el *Mundus Subterraneus* de Athanasius KIRCHER, SJ.  
Joannes Jansson, Amsterdam 1665.

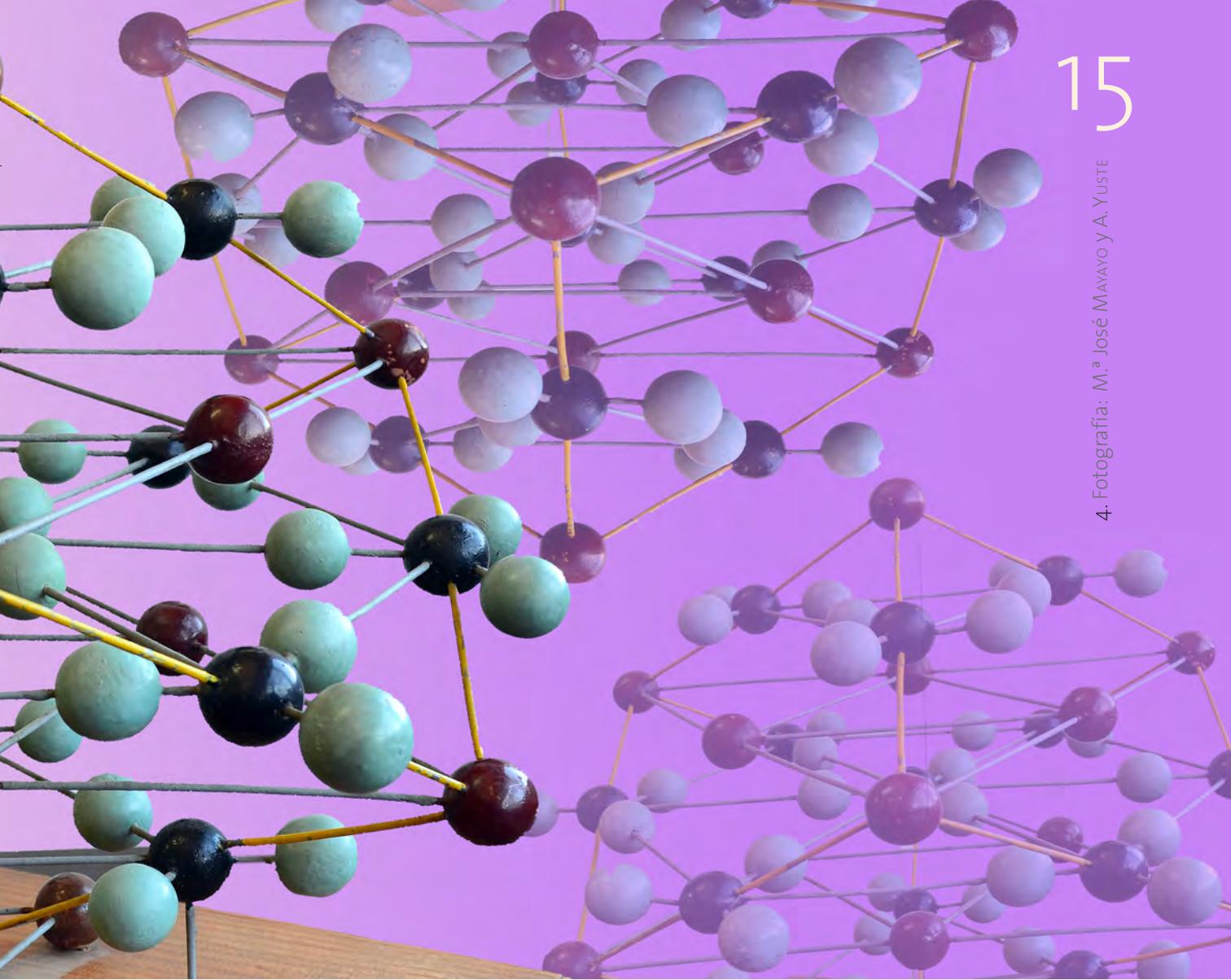
## I. MATERIA CRISTALINA

Los átomos que la forman están perfectamente **ordenados** en el espacio. Átomos iguales ocupan posiciones **idénticas** a distancias periódicas en las tres dimensiones.

El **orden** atómico genera **simetría** en la materia cristalina. El estudio de la estructura y la simetría cristalina se simplifica usando el **concepto de Red Cristalina**.

En los **vidrios**, los átomos constituyentes **no** están ordenados de manera periódica. El modelo de la imagen representa la estructura de la **calcita** formada por átomos de **carbono** (esferas negras), de **oxígeno** (esferas azules) y de **calcio** (esferas granates).





## II. CRISTAL

Un cristal es un cuerpo sólido que tiene sus partículas constitutivas **ordenadas** según una estructura periódica.

Este orden interno puede —o no— manifestarse al exterior, produciendo formas poliédricas con caras, aristas y vértices.



Existen cristales **naturales** y **artificiales**, transparentes y opacos, coloreados e incoloros, orgánicos e inorgánicos.

La característica común a todos ellos es el **orden interno** de los átomos.

**Todos** los minerales **son** cristales, como los de piritita de la imagen. El vidrio **carece de** estructura interna ordenada.

Es **AMORFO**.

5. Fotografía: M.<sup>a</sup> José MAYAYO y A. YUSTE



### III. RED CRISTALINA

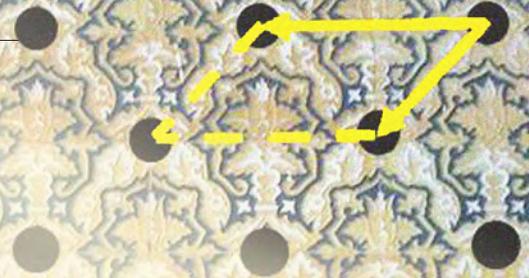
La red cristalina se usa para simplificar el estudio de las estructuras de los cristales.

Está constituida por nudos, que se encuentran separados entre sí por traslaciones.

En una red cristalina un nudo representa la posición y orientación de un grupo de átomos. Todos los nudos de la red son iguales.

Una celdilla es una porción del espacio reticular con nudos en los vértices y limitada por traslaciones.

Una estructura cristalina se describe definiendo las dimensiones relativas, la simetría de la celdilla unidad y la disposición de los átomos alrededor de cada nudo.



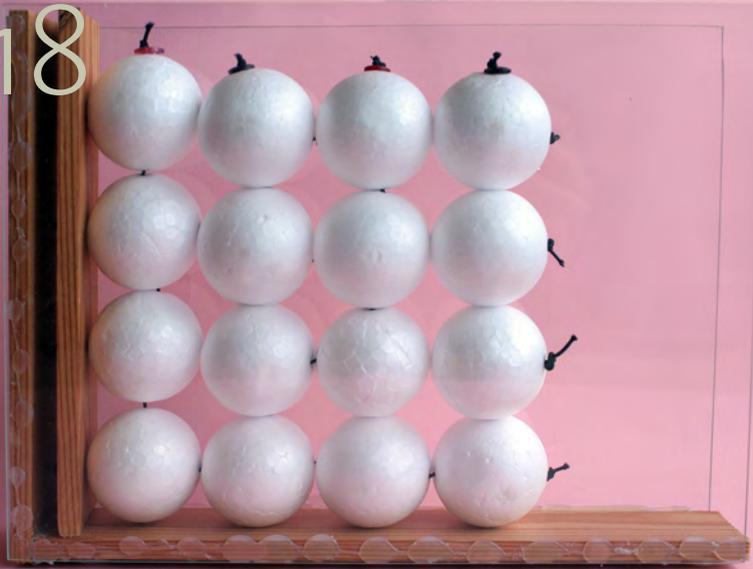


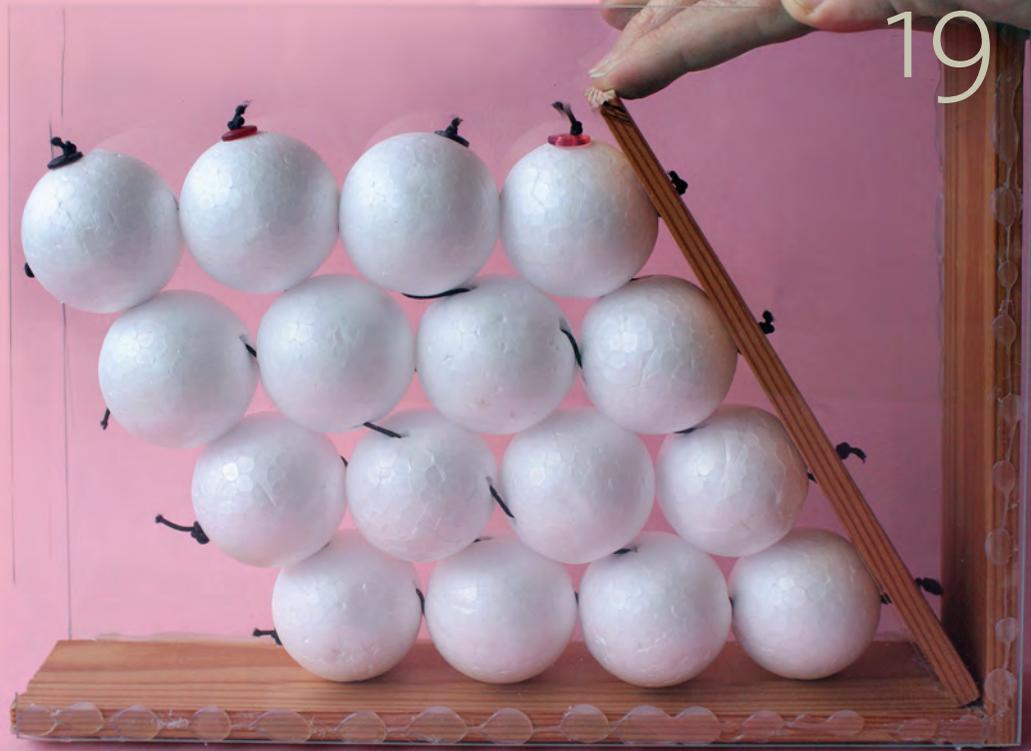
Figura 1

#### IV. POLIMORFISMO

El **polimorfismo** es la capacidad de una sustancia química de **crystalizar** en más de un tipo de estructura. Es decir: son **polimorfos** aquellos minerales que poseen **igual** composición química pero **distinta** estructura cristalina.

En las imágenes se muestran **dos** estructuras distintas formadas por el mismo tipo de **átomos** y en igual número (esferas blancas).

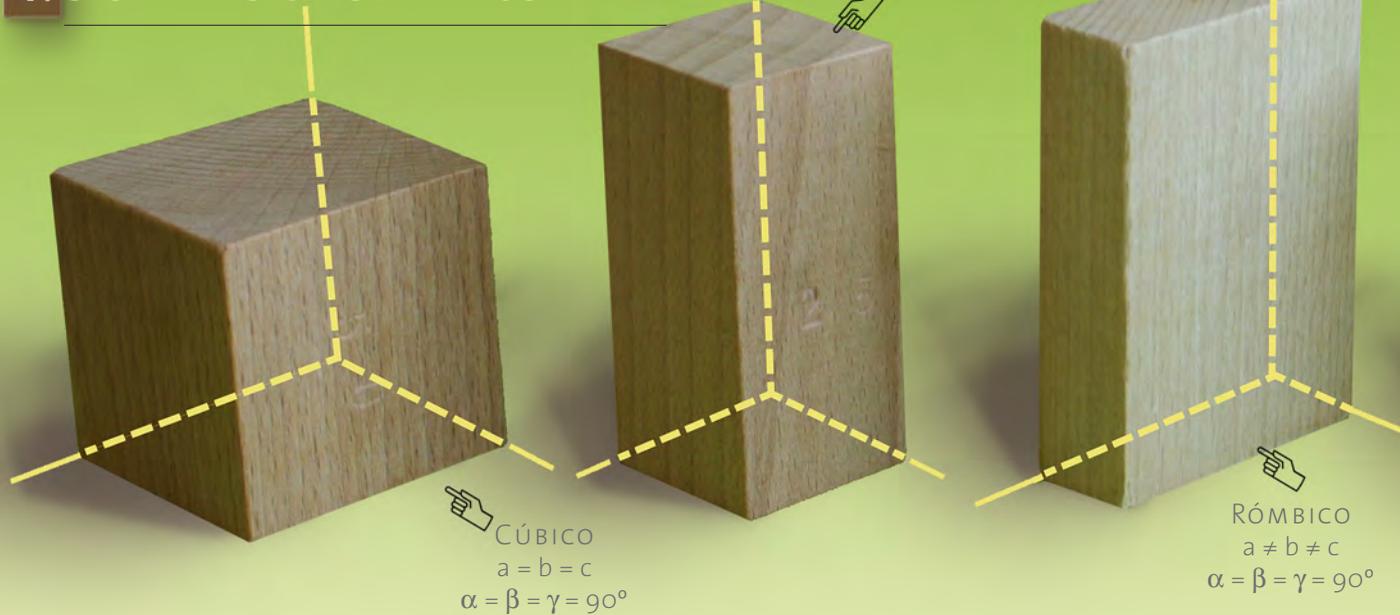
La **primera** estructura es **cuadrada** y el número de **coordinación** (número de átomos más próximos que rodean a otro) es **4**.



La segunda, con la misma composición, es hexagonal; con número de coordinación 6.

Figura 2

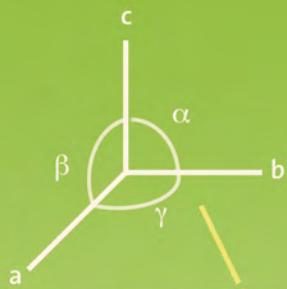
## V. SISTEMAS CRISTALINOS



Considerando la **simetría** y las **dimensiones** de la celdilla unidad de las redes cristalinas, los cristales se pueden reunir en **siete** sistemas cristalinos:

**cúbico, tetragonal, rómbico, trigonal, hexagonal, monoclinico y triclinico.** En cada sistema cristalino se agrupan las estructuras cuya geometría

TRIGONAL Y HEXAGONAL  
 $a = b \neq c$   
 $\alpha = \beta = 90^\circ; \gamma = 120^\circ$



TRICLÍNICO  
 $a \neq b \neq c$   
 $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$

MONOCLÍNICO  
 $a \neq b \neq c$   
 $\alpha = \gamma = 90^\circ$   
 $\beta > 90^\circ$

y simetría se pueden referir a una misma **cruz axial** (sistema de ejes de referencia) definida por los ejes cristalográficos (a, b, c) y los ángulos que

forman éstos entre sí ( $\alpha, \beta, \gamma$ ). Los cristales de los sistemas **trigonal y hexagonal** presentan la misma **cruz axial**.

Un mineral es un **sólido natural** formado, —normalmente— por procesos **inorgánicos**; con una estructura interna **ordenada** y una composición química y propiedades físicas **determinadas**, que pueden variar dentro de un intervalo definido.

**No** son minerales los materiales líquidos, los fabricados por el hombre,

los de origen orgánico ni los vidrios.

El **carbón**, pese a ser un sólido natural formado por procesos geológicos, **no** tiene una composición homogénea ni una estructura interna ordenada; está formado por minerales y por materia orgánica, **amorfa**.

Calcita.  
Es mineral.



CARBÓN (roca).  
No es mineral.



Polarizador superior



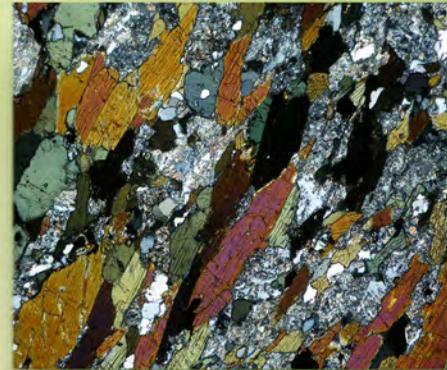
## VII. MINERALOGÍA DETERMINATIVA

Polarizador inferior

La mineralogía determinativa se ocupa de la **identificación** de los minerales. Para ello, los geólogos utilizan distintas herramientas: como la **identificación macroscópica** o *visu*, el **microscopio de luz polarizada transmitida** (en la imagen), el **microscopio de luz polarizada reflejada**, la difracción de **rayos-X** y el **microscopio electrónico**, entre las más comunes.

Para identificar los minerales en el microscopio de luz transmitida es preciso **cortar una lámina de roca** con un grosor máximo de **30 micras** y observarla entre dos lentes polarizadoras.

Arriba a la derecha se muestra una lámina delgada de una **anfibolita** observada con



polarizadores paralelos; abajo, con polarizadores cruzados.

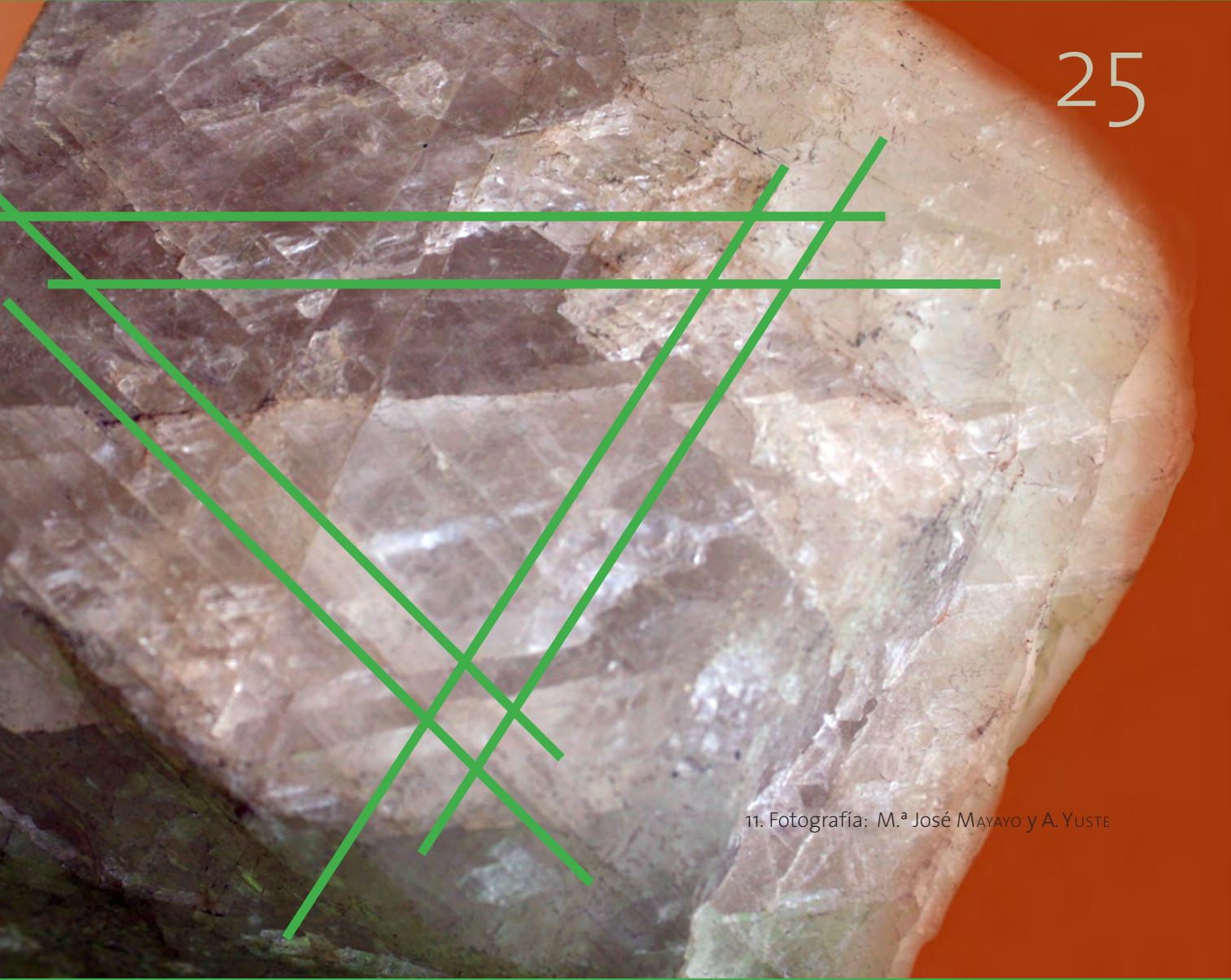
La **exfoliación** es una propiedad que consiste en el hecho de que algunos minerales se rompen preferentemente a favor de planos estructurales de mayor **debilidad** relativa.

Estos planos se llaman **planos de exfoliación** y se muestran en la superficie de los cristales como **grupos de líneas rectas paralelas**.

El número de **familias de planos de exfoliación**, su **orientación** y su grado de desarrollo depende de la estructura y —por tanto— es característico de cada **mineral**.

Algunos minerales **no** presentan exfoliación y se rompen por superficies de fractura irregulares. En la **fluorita** de la imagen se observan **tres familias** de planos de exfoliación; que forman entre sí ángulos de **60°**.





11. Fotografía: M.ª José MAYAYO y A. YUSTE

**IX. HÁBITO**

El hábito es el **aspecto general** de un **crystal** debido al desarrollo relativo de sus dimensiones. La **estructura cristalina** influye en él, pero son frecuentes los **crystal**s de un mismo mineral que presentan **hábitos** diferentes, a pesar de tener la misma estructura.



El **hábito** que presenta un cristal puede depender de las condiciones en las que se formó.

Algunos **términos** para describir el hábito son: **equidimensional**, **columnar**, **laminar**, **lenticular**, **acicular**, **hojoso**, &c.

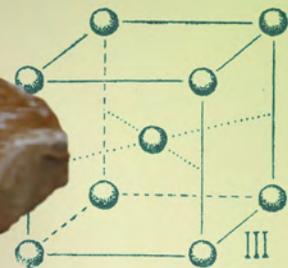
2



En la imagen se observan ejemplares de **yeso** con distintos hábitos: un agregado en «**rosa del desierto**» (1) formado por cristales lenticulares, un agregado de cristales con **hábito fibroso** (2) y un monocristal **tabular** (3).



3



representado por un mineral más blando que el siguiente en la escala:

**talco** (1), **yeso** (2), **calcita** (3),  
**fluorita** (4), **apatito** (5), **ortosa** (6),  
**cuarzo** (7), **topacio** (8),  
**corindón** (9) y **diamante** (10).

## X. DUREZA MOHS

La Dureza Mohs mide la **resistencia** que ofrece la superficie de un mineral a ser rayada por un objeto **más duro**.

La escala de Mohs es una escala de **dureza relativa** formada por **10 términos**, cada uno de ellos

Las uñas pueden rayar los minerales con dureza Mohs igual o inferior a **2**, como el **yeso** de la imagen.

El **vidrio** tiene una dureza de entre **5** y **6**; el **acero** de una navaja, entre **6** y **7**. La evaluación de la dureza de productos industriales se evalúa mediante **escalas absolutas**, como las durezas Vickers y Knoop.

## XI. RAYA

La **raya** es una propiedad que describe el color del polvo fino de un mineral.

Puede determinarse **frutando** el ejemplar sobre un objeto más duro que él, como una placa de cerámica blanca o una piedra de afilar.

En algunos casos la **raya** es una propiedad determinativa que permite diferenciar minerales que en otros aspectos son **muy parecidos**, como por ejemplo goethita, con **raya marrón** y hematites, con **raya roja**.



En otros casos, **no** es una propiedad determinativa. Por ejemplo: casi todos los **silicatos** tienen **raya blanca**, por lo que esta propiedad **no** es útil para **diferenciar** unos de otros.

## XII. CLASIFICACIÓN DE LOS MINERALES

---

Existen distintas **clasificaciones** de los minerales.

Las más habituales utilizan a la vez criterios **químicos** y **estructurales**.

En la imagen se muestran ejemplos de minerales pertenecientes a las principales **clases minerales** incluidas en la mayoría de las clasificaciones tradicionales, como las de **Dana** o de **Strunz**:



**Aragonito** (Carbonatos)



**Azufre** (Elementos Nativos)





**Moscovita** (Silicatos)



**Halita** (Halogenuros)



**Esfalerita** (Sulfuros)



**Epsomita** (Sulfatos)



**Wavellita** (Fosfatos)



**Goethita** (Óxidos e Hidróxidos)

### XIII. MINERALOGÍA ECONÓMICA

La Mineralogía económica se ocupa del **aprovechamiento** económico de los minerales y rocas.

Según sus aplicaciones se pueden diferenciar: **gemas** (usadas en joyería), **menas** (de las que se extraen elementos químicos) y **rocas y minerales** industriales (de interés en diferentes procesos industriales).

Por ejemplo, la **bauxita** de la imagen es una mena de aluminio ya que se trata de una roca formada por minerales muy ricos en este elemento. A partir de ella se obtiene  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y de éste el aluminio metal que se emplea en la industria.

Hay minerales y rocas que pueden tener varias aplicaciones. Por ejemplo, el **diamante** se utiliza como **gema** y, por sus propiedades **abrasivas**, como mineral industrial.





15164 E: CERVEZA ESPECIAL. Contiene malta de cebada.  
Consumir preferentemente antes de la vez base beta / GB:  
BEER. Contains barley malt. Best before: see base of can /  
F: BIÈRE. Contient du malt. Drape. A consumer de  
préférence avant voir fond boîte / P: CERVEJA PREMIUM.  
Ingredientes: agua, malta de cebada, trigo, lúpulo.  
Consumir de preferência antes de: ver fundo / I: BIRRA  
SPECIALE. Contiene malto d'orzo. Da consumarsi  
preferibilmente entro: vedere il fondo.

4580295N



WWW.  
MADRID (ESPAÑA).  
.ES  
SERVICIO DE ATENCIÓN  
AL CONSUMIDOR MADRID  
33cl Alc. 5,5% vol ( 902

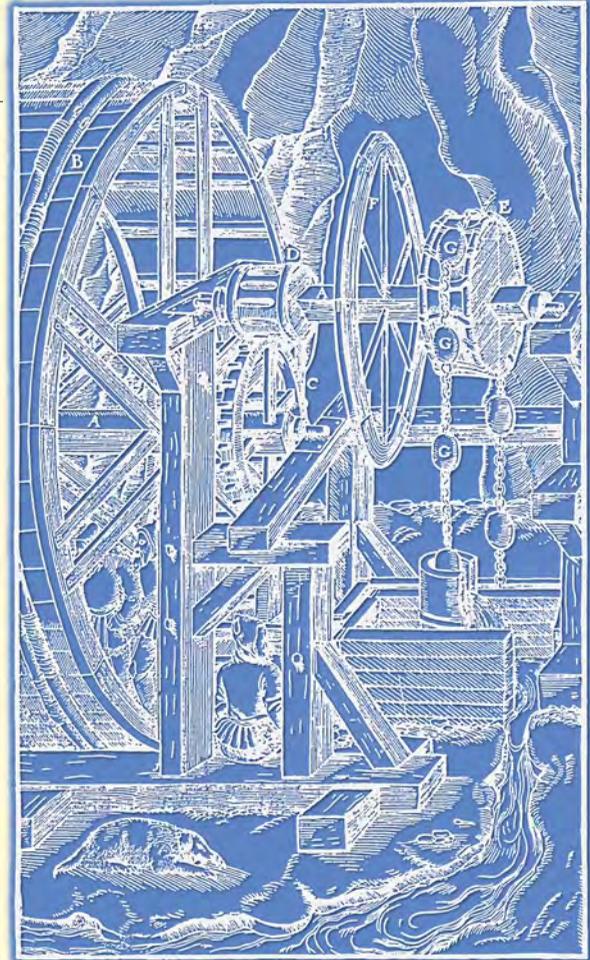
16. Fotografía: M.ª José MAYAÑO y A. YUSTE

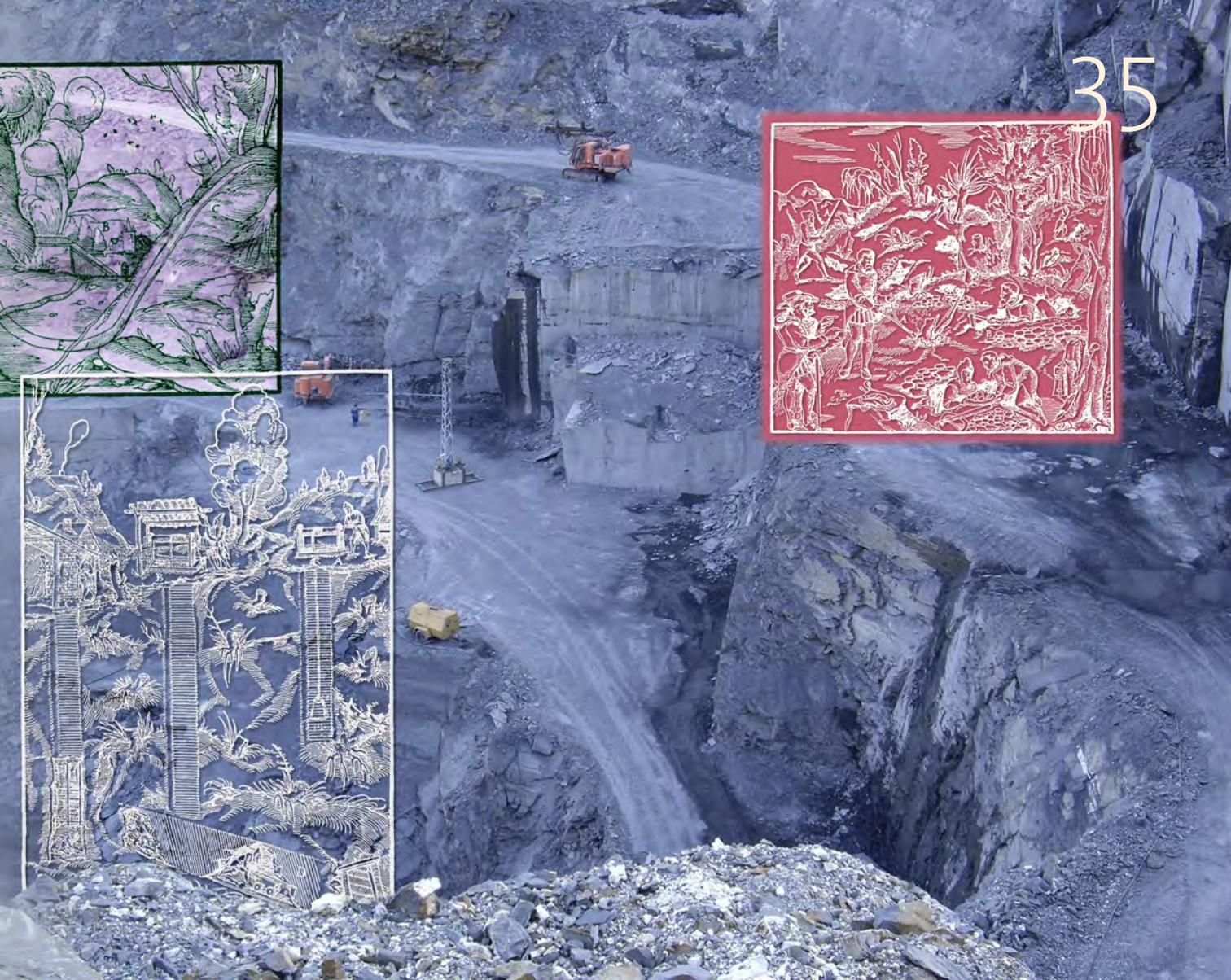
## XIV. YACIMIENTOS MINERALES Y EXPLOTACIONES MINERAS

Un **yacimiento mineral** es un cuerpo rocoso que contiene **uno o más** elementos o minerales en una **concentración** suficientemente por encima de su contenido medio en la corteza, como para tener un potencial interés económico.

Los **yacimientos** se explotan mediante minas a cielo abierto o de interior. Las **canteras**, como la de pizarra de la fotografía, son explotaciones mineras a cielo abierto; de las que se extraen rocas industriales, ornamentales o áridos.

17. Fotografía: Isabel FANLO  
Grabados, Giorgio AGRICOLA: *De Re Metallica*  
*Libri XII*, Basilea 1556

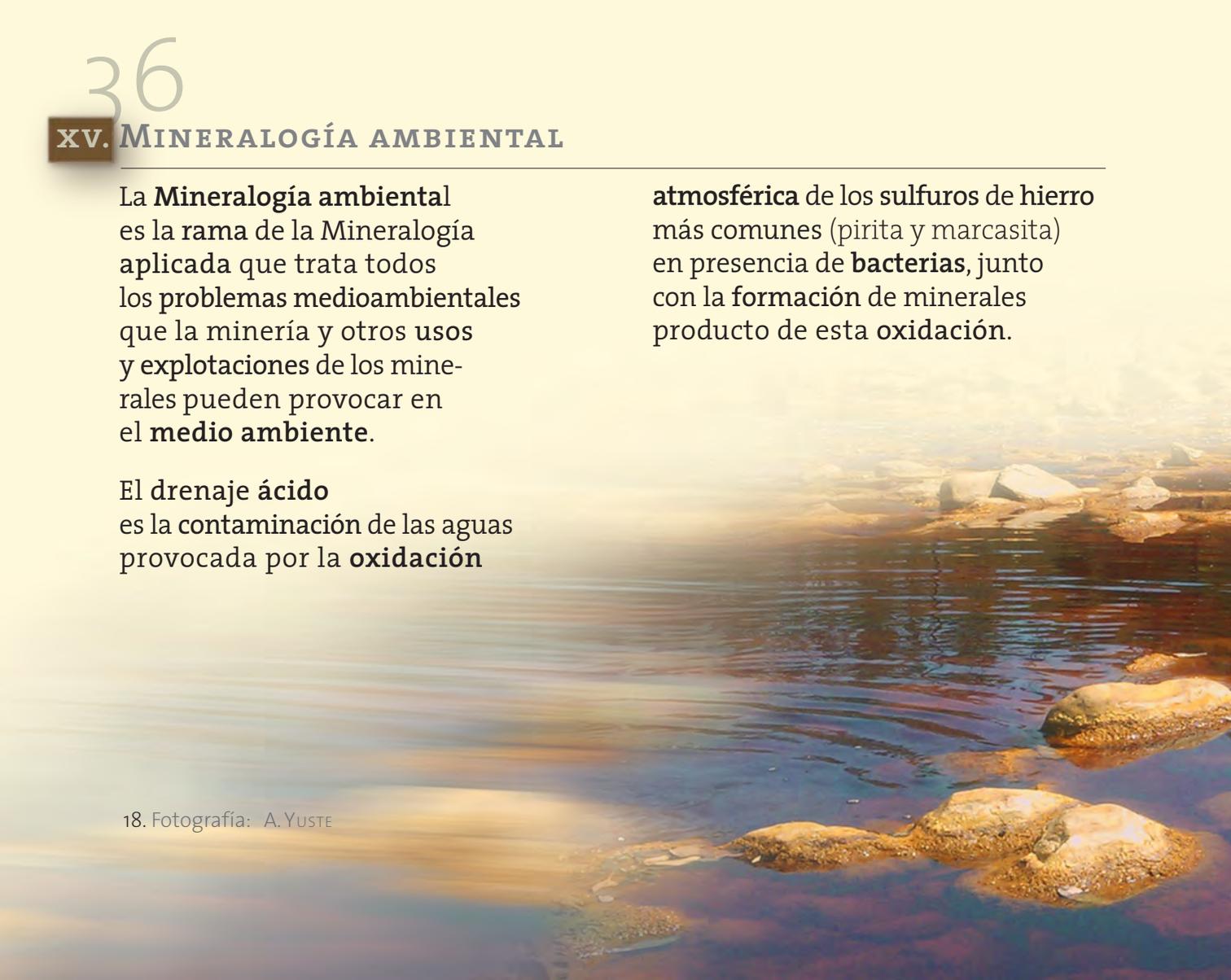




La **Mineralogía ambiental** es la rama de la Mineralogía aplicada que trata todos los problemas medioambientales que la minería y otros usos y explotaciones de los minerales pueden provocar en el **medio ambiente**.

El **drenaje ácido** es la contaminación de las aguas provocada por la **oxidación**

**atmosférica** de los sulfuros de hierro más comunes (pirita y marcasita) en presencia de **bacterias**, junto con la **formación** de minerales producto de esta oxidación.



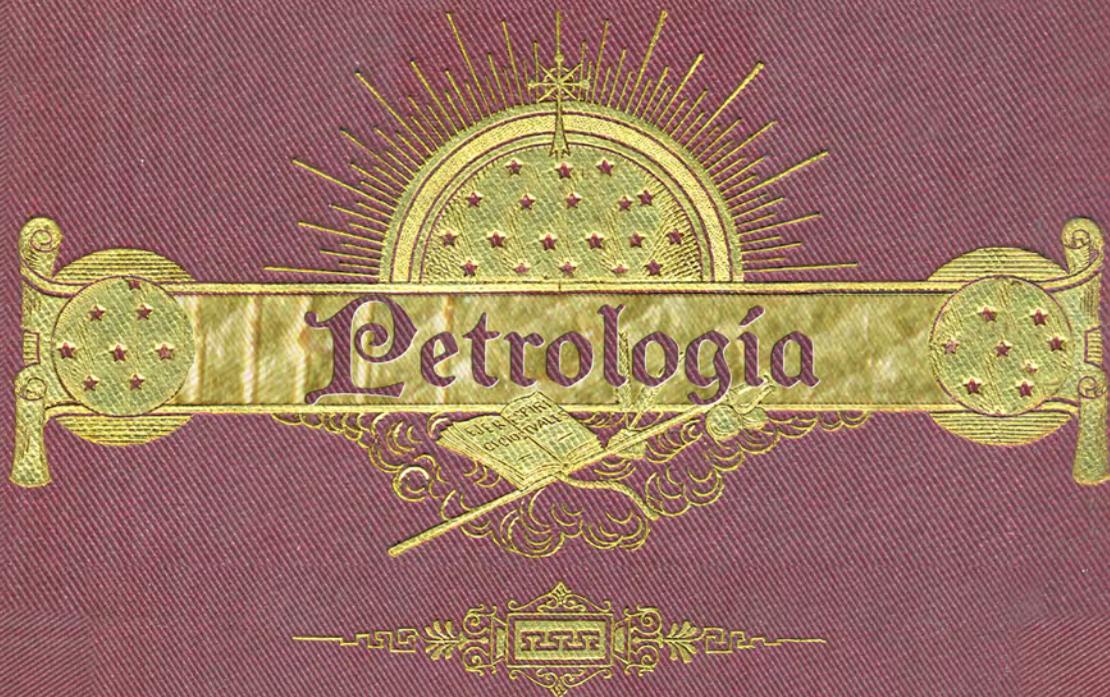
El **drenaje ácido** puede ser un fenómeno natural o estar provocado por la actividad minera (drenaje ácido de minas, DAM).

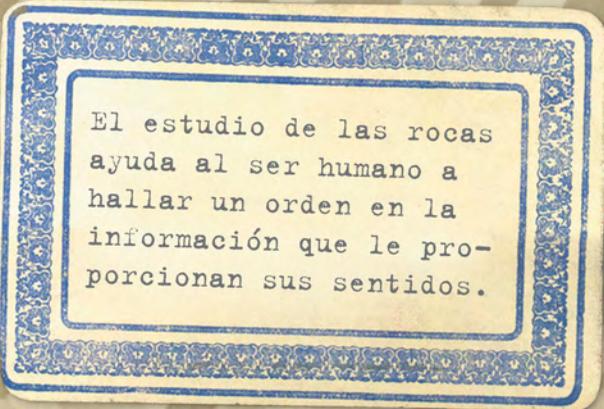
El **Río Tinto**, en la imagen, es un ejemplo de contaminación por procesos naturales acentuado por **DAM**.





ALBUM



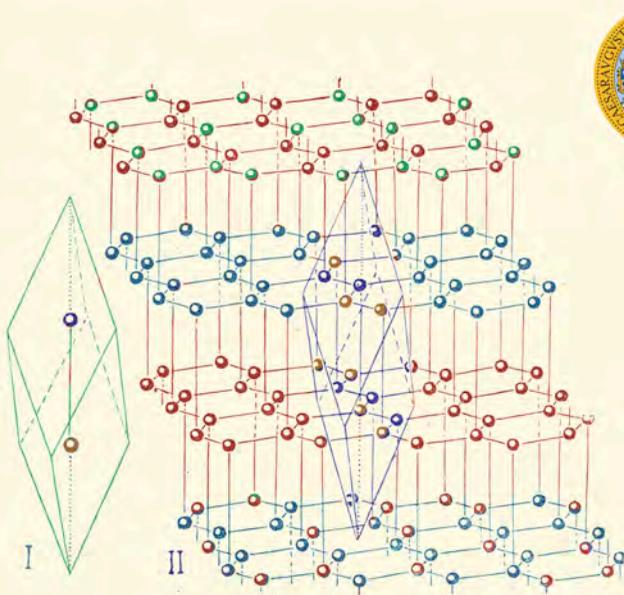


El estudio de las rocas  
ayuda al ser humano a  
hallar un orden en la  
información que le pro-  
porcionan sus sentidos.

# Petrología

UNA GUÍA PARA EL ESTUDIANTE.

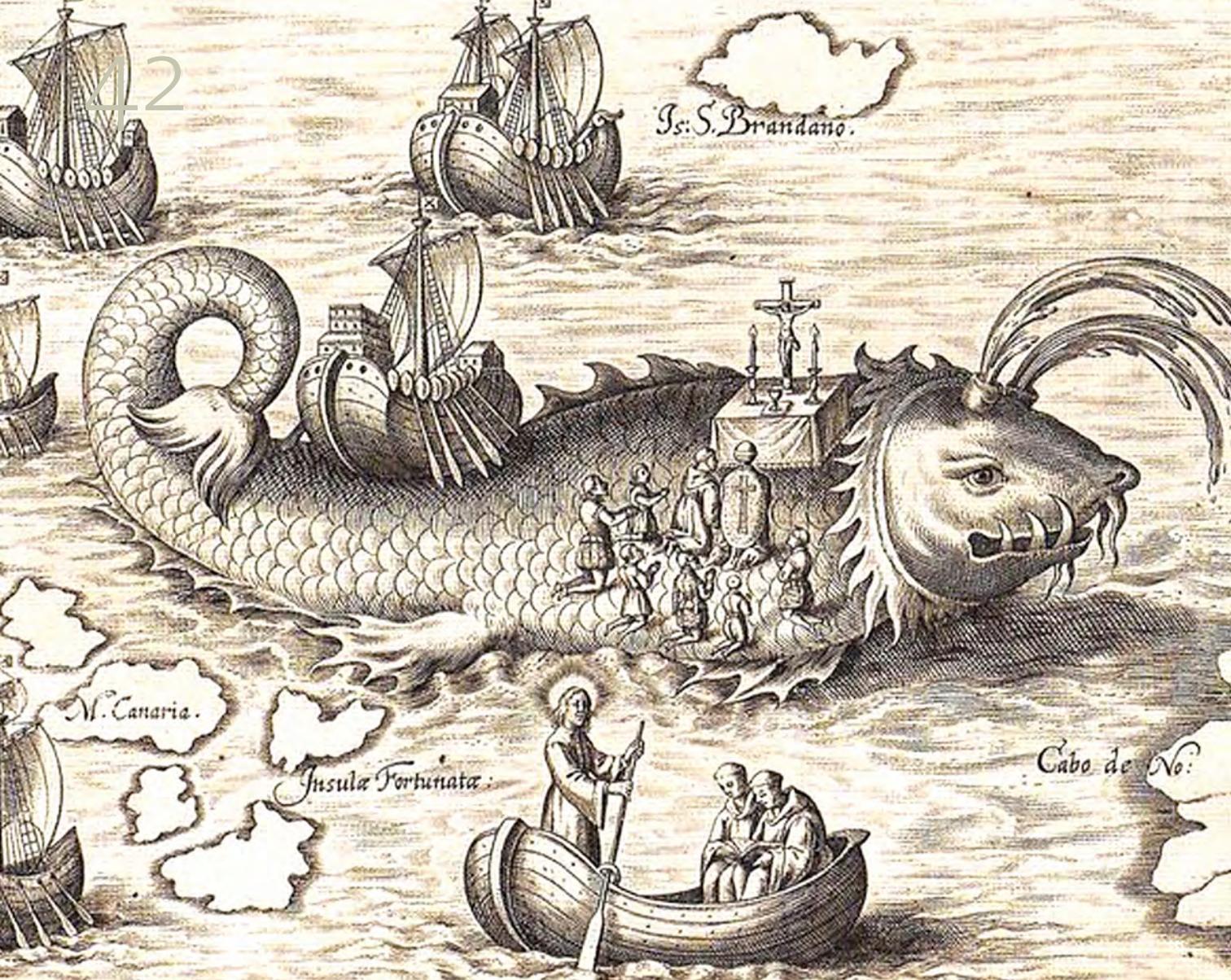
7ª OLIMPIADA ESPAÑOLA DE GEOLOGÍA. Enrique ARRANZ y Juan MANDADO



«SI RETROCEDEMOS aún más en el tiempo, vemos que todos los griegos rendían honores divinos no ya a estatuas, sino a piedras sin labrar [...].

«LO QUE LOS habitantes de Delfos llaman *omphalos* es de piedra blanca; y se considera que está en el centro de la tierra; y Píndaro, en una de sus odas, confirma esta opinión

PAUSANIAS: VII, 22, 4; X, 16, 2.



42

Is. S. Brandano.

Al. Canaria.

Insula Fortunata.

Cabo de No.

## I. ROCAS PLUTÓNICAS

43

Los **magmas** que no alcanzan la superficie pueden enfriarse muy lentamente dentro de la **corteza**; permitiendo la formación de **rocas ígneas** constituidas completamente por **minerales** —sin vidrio— perceptibles a simple vista.

En ocasiones, algunos **cristales** alcanzan tamaños muy significativos, como en el **granito** de la imagen: denominado **porfídico** a causa de la presencia de megacristales de **feldespato potásico**.

Además, la roca está formada por cristales de **cuarzo**, **plagioclasa** y **mica negra** (biotita), completando la asociación mineral típica de un **granito**.

21. Fotografía: Enrique ARRANZ.  
Localización: S' AGARÓ (Costa Brava, Gerona)



## II. DISYUNCIÓN COLUMNAR

Las unidades de flujo que se generan durante una **erupción** (coladas) desarrollan —especialmente cuando son de un espesor suficiente— **estructuras de enfriamiento** características.

Una de ellas es la **disyunción columnar**, que consiste en el desarrollo de **diaclasas verticales** que delimitan volúmenes **prismáticos** de roca; configurándose como una columnata formada por prismas de sección **poligonal**.

Cuando nos situamos sobre el techo de una **colada** con **disyunción columnar**, podemos apreciar la **morfología** en **sección** de sus columnas, que tiende a ser **hexagonal** y de tamaño regular.

22. Fotografías: E. ARRANZ.

Localización 22a: CASTELFULLIT de la ROCA (Gerona)



22b. SANT JOAN de les FONTS (Gerona)



La inyección de **magma** en las discontinuidades de una **roca** de forma **discordante** —cortando sus estructuras— produce formas intrusivas denominadas, en general, **diques**; o **venas**, si su espesor es centimétrico.

Los **diques** están limitados por superficies; que tienden a ser **planares** y **paralelas** entre sí.

Con frecuencia se presentan **interconectados**, como los que se muestran en la fotografía inferior: **diques de lamprófidio** —oscuro— en granito.

23. Fotografías: E. ARRANZ.  
23a: diques. Localización:  
AIGUABLAVA (Gerona)



Cuando la inyección de **magma** se produce aprovechando las **discontinuidades** existentes — diaclasas, estratificación, &c.—, la estructura **intrusiva** resultante

se denomina **sill** (= «ponlo como quieras») y es **concordante** con la estructura del **encajante**.

Puede verse en la imagen de esta página.



23b: sills. Localización:  
AIGUABLAVA (Gerona)

Los **enclaves**, frecuentes en las rocas **ígneas**, son volúmenes de roca de distinta composición incorporados por el **magma** en **distintos** momentos; pero que —en cualquier caso— no son resultado de su **crystalización**.

Pueden ser fragmentos de rocas muy **profundas**, similares a las que se fundieron produciendo ese magma: como el **enclave** de **peridotita** en **basalto** que se muestra en esta **página**.

24. Fotografías: E. ARRANZ.  
24a. Enclave de peridotita en basalto.  
Localización: VILLAMAYOR de CALATRAVA (Ciudad Real)



O pueden ser fragmentos de otras rocas que han atravesado el magma durante su ascenso hacia la superficie: como el enclave de **granito** en **lamprófido** que figura en esta página contigua.

El estudio de los **enclaves** nos aporta **información** muy **valiosa** sobre los distintos materiales implicados en la **generación** y **evolución** del magma que los incluye.

24b. Enclave de granito en lamprófido.  
Localización: AIGUABLAVA (Costa Brava, Gerona)



## V. VULCANISMO EXPLOSIVO

La actividad volcánica es con frecuencia **explosiva**: a causa de la presencia de **gases** propios del **magma**, o bien como resultado de la incorporación de **agua** al mismo.

Los **gases** provocan en el magma su **fragmentación** y su **proyección** a la atmósfera.

Al **caer**, estos fragmentos se **acumulan** en forma de **capas de piroclastos**.

25. Fotografías: E. ARRANZ.

25a. Localización: ALMODÓVAR del CAMPO,  
Campo de Calatrava (Ciudad Real)



25b. Localización: ALMODÓVAR del CAMPO,  
Campo de Calatrava (Ciudad Real)

Cuando la actividad es muy **explosiva** —con entrada de agua en el conducto volcánico— se **fragmentan la lava** y los **materiales** que forman el **final del conducto**.

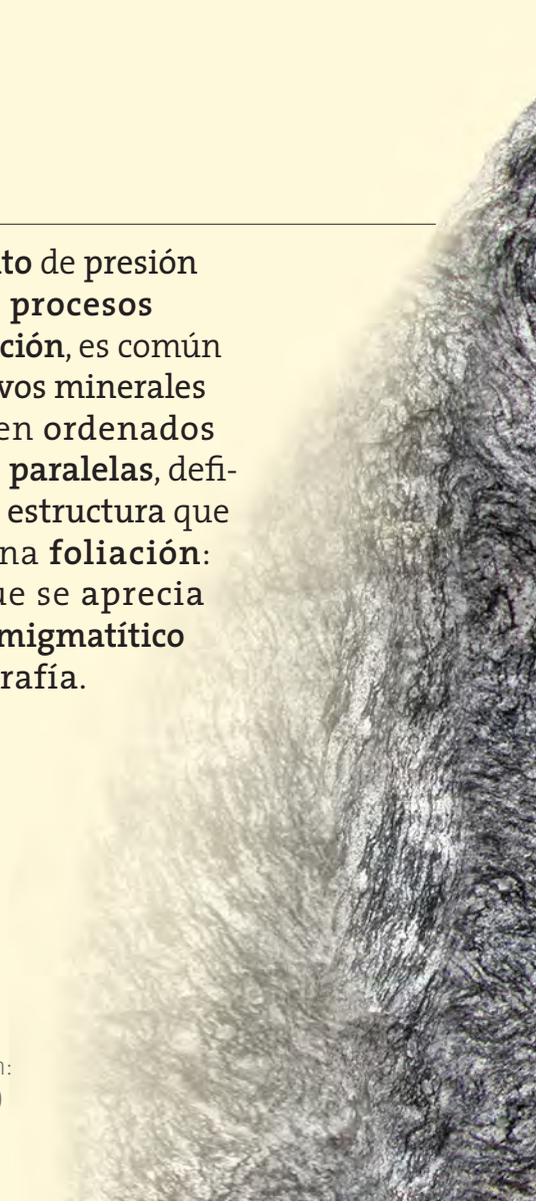
De esta manera, los **depósitos piroclásticos** pueden presentar fragmentos de todo tipo de **rocas** y de **tamaños** muy **variados**.

## VI. ROCAS METAMÓRFICAS

Cuando una **roca** se ve sometida a cambios importantes en las **condiciones físicas** en las que se encuentra —esencialmente presión y temperatura—, sus **componentes** —granos minerales— se **transforman** para acomodarse a las **nuevas condiciones**.

Así se produce una **roca nueva** que se denomina **roca metamórfica**: presenta la misma **composición** que la **original**; pero **distinta estructura** y, normalmente, **nuevos minerales**.

Si el **aumento** de presión se asocia a **procesos** de **deformación**, es común que los nuevos minerales se presenten **ordenados** en **láminas paralelas**, definiendo una **estructura** que se denomina **foliación**: como la que se aprecia en el **gneis migmatítico** de la fotografía.



53



54



## VII. PIZARROSIDAD

En el proceso del **metamorfismo regional** de bajo rango, la influencia de la tectónica y las **presiones** dirigidas sobre rocas de composición **lutítica** provocan el desarrollo de **pizarrosidades**: generación de planos de **diacclasa** muy **desarrollados** y reorientación de los minerales **micáceos** de la matriz.

La presencia de dos **planos** de **esquistosidad** muy diferenciados favorece que la roca se desmorone en **lajas** muy **alargadas** y **estrechas**, con forma de «patata frita», como se observa en los materiales **lutíticos ordovícicos** de la imagen.

## VIII. ROCAS SEDIMENTARIAS

Esta imagen destaca el aspecto fundamental de las rocas sedimentarias: la **estratificación**.

En este afloramiento de materiales del **Mioceno** se observan algunas rocas sedimentarias muy frecuentes: **margas-calcáreas** blanquecinas, en bancos **decimétricos**, alternantes con **lutitas** blanco-verdosas, menos potentes.

Presentan abundantes **diaclasas**, que favorecen la fracturación de las **capas** en los desmontes y **trincheras** artificiales.

28. Fotografía: J. MANDADO  
Localización: FUENDETODOS (Zaragoza)



57



58



## IX. ROCAS EVAPORÍTICAS

Los materiales **evaporíticos** de la fotografía muestran niveles de **yeso alabastrino** en capas alternantes con **finas laminaciones** de **margas blanquecinas**.

Las capas aparecen **distorsionadas** por el crecimiento de **nódulos decimétricos**; resultado de la hidratación de **anhidrita** a **yeso**, que implica un fuerte incremento de **volumen**.

Los **nódulos** poseen una **textura** muy **penetrativa** y **compacta**, lo que —unido a la **baja dureza** del **yeso** y a su **translucidez**— hace que sean muy **aptos** para la **talla** y **pulimentado**, convirtiéndolos en una **roca ornamental** muy **apreciada**: el **alabastro**.

29. Fotografía: J. MANDADO  
Localización:  
MEDIANA de ARAGÓN (Zaragoza)

**X. PRECIPITACIÓN DE SALES**

El **agua subterránea** que atraviesa niveles de **halita** —sal común— se **satura** en sal.

En los puntos de surgencia se **evapora** el agua; y la sal se **precipita**, generando **regueros** de tipo **estalactítico** y **globular** como los de la imagen contigua, en el **Barranco de la Salina** en **REMOLINOS** (Zaragoza).

Este hecho se produce, fundamentalmente, en las laderas **soleadas** y durante los meses **cálidos**.

Su presencia ya indicó a los antiguos romanos la existencia de **halita** en el **subsuelo**, permitiéndoles **intuir** —hace más de 2000 años— el **potencial minero** de esta zona.

30. Fotografía: J. MANDADO  
Localización: REMOLINOS (Zaragoza)



61



En los cortados de **REMOLINOS** (Zaragoza), en medio de la serie evaporítica del centro de la **Cuenca Terciaria del Ebro**, se localiza un nivel de 2 a 3 metros de **lutitas pardas** en el que se encuentran unos **gigantescos ejemplares de seudomorfos de cristales tolva de halita**.

La halita debió crecer entre el **barro**, por **percolación de aguas saturadas en sal**; y —posteriormente— fue **reemplazada por yeso**, conservando **pseudomorfizada** la forma del cristal cúbico de halita.

Sus **dimensiones, decimétricas a semimétricas**, los convierten en **ejemplares únicos en el mundo**.

31. Fotografía: J. MANDADO  
Localización:  
REMOLINOS (Zaragoza)



64



## XII. ROCAS SILEXÍTICAS

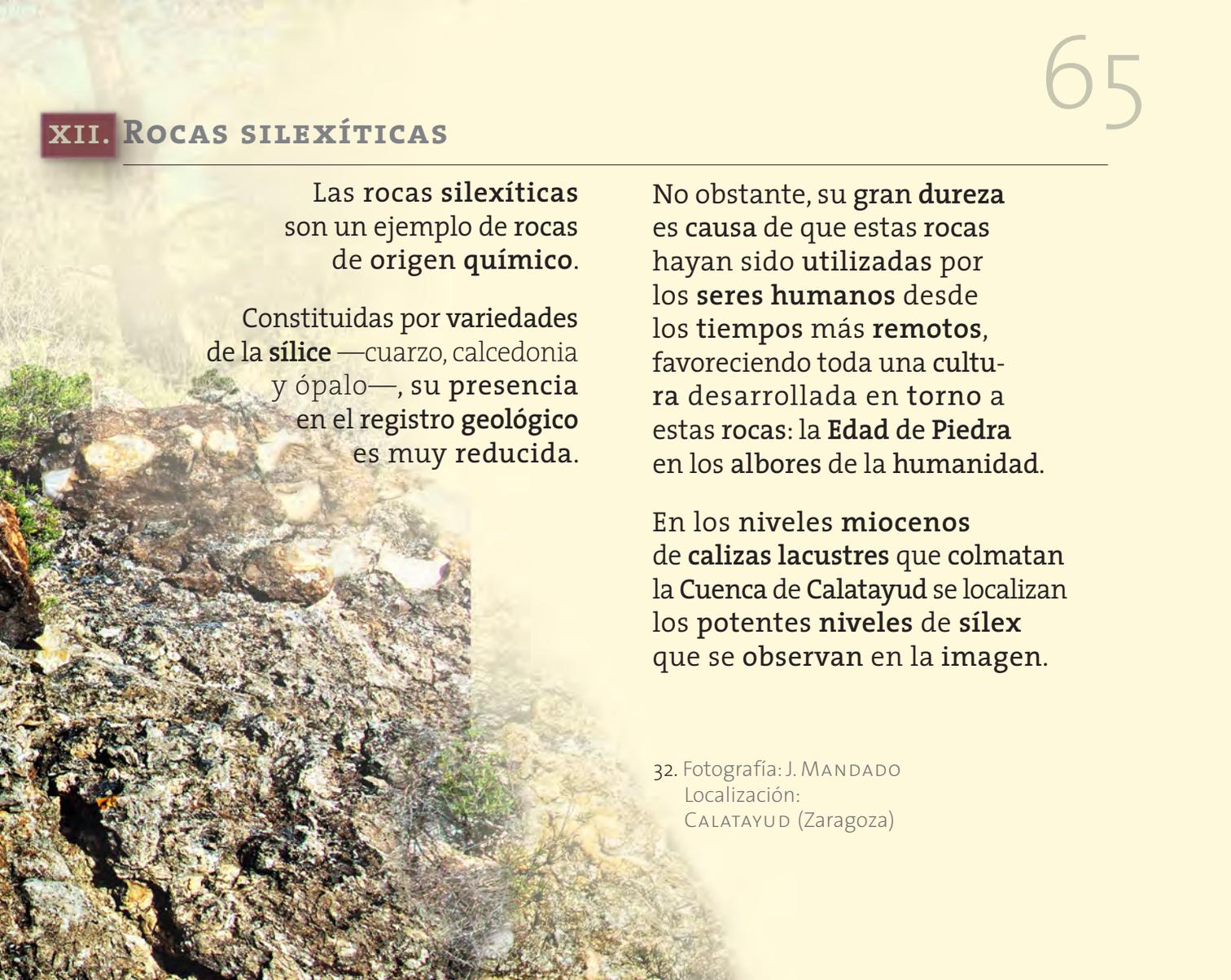
Las rocas **silexíticas** son un ejemplo de rocas de origen **químico**.

Constituidas por variedades de la **sílice** —cuarzo, calcedonia y ópalo—, su presencia en el registro **geológico** es muy reducida.

No obstante, su **gran dureza** es causa de que estas rocas hayan sido utilizadas por los **seres humanos** desde los tiempos más **remotos**, favoreciendo toda una **cultura** desarrollada en torno a estas rocas: la **Edad de Piedra** en los albores de la humanidad.

En los niveles **miocenos** de **calizas lacustres** que colmatan la Cuenca de Calatayud se localizan los **potentes niveles de sílex** que se observan en la imagen.

32. Fotografía: J. MANDADO  
Localización:  
CALATAYUD (Zaragoza)



### XIII. NÓDULOS DIAGENÉTICOS

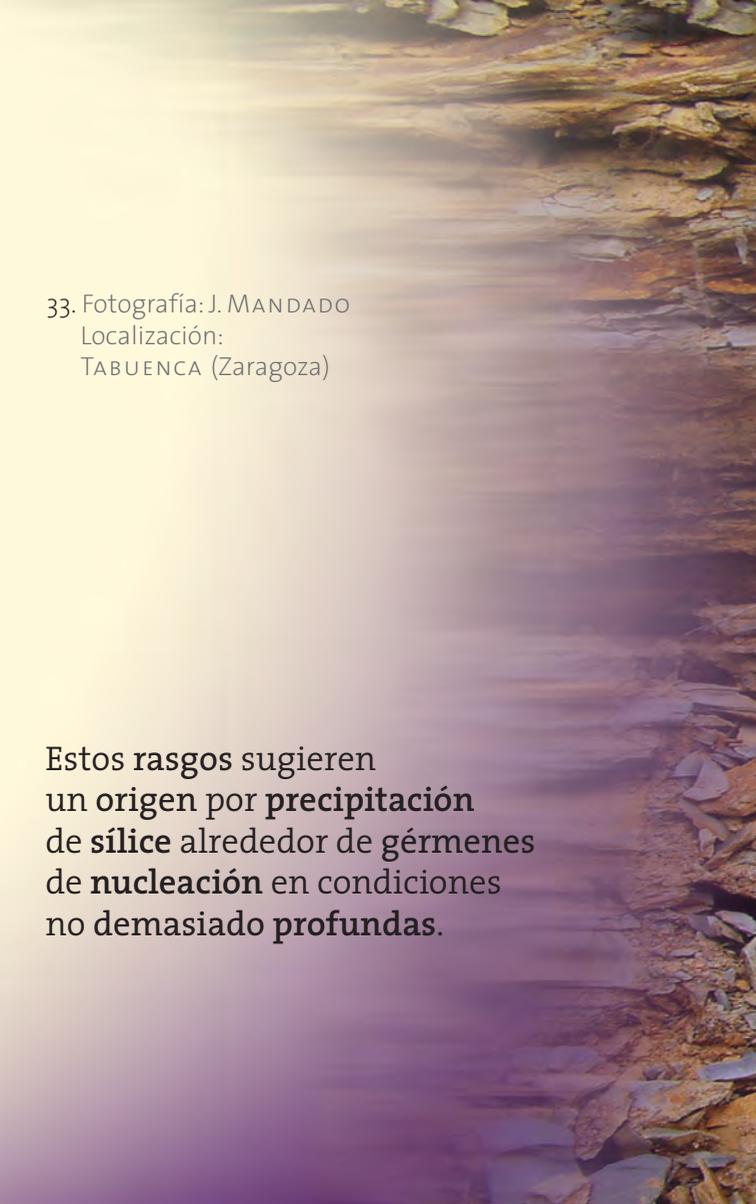
En la imagen se muestra un aspecto de detalle de la **Formación Hoya**, de edad **Devónico**.

El tramo superior de esta formación está constituido por **lutitas** y **limolitas** de color gris azulado, finamente **laminadas**; entre las que localizan abundantes **nódulos silíceos esféricos**.

Su origen es **diagenético**: ya que es posible observar que las **láminas** del sedimento encajante se **deforman** alrededor de ellos, adaptándose a su morfología.

33. Fotografía: J. MANDADO  
Localización:  
TABUENCA (Zaragoza)

Estos rasgos sugieren un origen por **precipitación** de **silice** alrededor de **gérmenes** de **nucleación** en condiciones no demasiado **profundas**.



67



La meteorización del **granito** produce suelos muy característicos: los **lehm graníticos**.

En la imagen se puede observar una **zona superior**, de tonos más **rojizos** por la iluviación del **hierro**, y otra **inferior**, de tonos más claros.

En esta última, se aprecia la **presencia de bolos de granito** aún poco alterados.

34a. Fotografía: Javier GÓMEZ.  
Localización: PUIGCERDÀ (Gerona)

34b. Descamación bolar. Fotografía: E. ARRANZ.  
Localización:  
VILLAMAYOR de CALATRAVA (Ciudad Real)

Las **rocas isótropas** —con iguales propiedades y textura en cualquier parte de ellas, como por ejemplo basaltos y granitos— pueden sufrir un proceso de **meteorización física**

34a



que produce su descamación en capas concéntricas a partir de las diaclasas.

Este proceso es muy típico en rocas **basálticas** masivas; puesto que, durante el **día**,

alcanzan temperaturas muy **elevadas** por insolación —dilatándose— y se contraen durante la **noche** al descender la **temperatura**.

34b



**XV. GEOQUÍMICA**

La **Geoquímica** estudia la composición química de los materiales geológicos: rocas, minerales, suelos y aguas.

Los datos composicionales, adquiridos mediante el uso de **técnicas** convencionales de análisis químico, permiten caracterizar los materiales y evaluar sus **propiedades** y **origen**.

El avance de los **métodos** analíticos ha convertido a la **Geoquímica** en una de las herramientas de **investigación** más potentes al servicio de la **Geología**.



Heizung  
Aus  
300  
250  
200  
150  
0  
Temp. in °C

Motor  
0 1 3 5 7 9 11 12  
14  
Skalenwert  
x100



ALBUM



La Estratigrafía orde-  
na los acontecimientos  
que han sucedido a lo  
largo de la Historia  
Geológica.



# Estratigrafía

UNA GUÍA PARA EL ESTUDIANTE.

7ª OLIMPIADA ESPAÑOLA DE GEOLOGÍA. Arantxa LUZÓN, Ana Rosa SORIA y Carlos LIESA

---



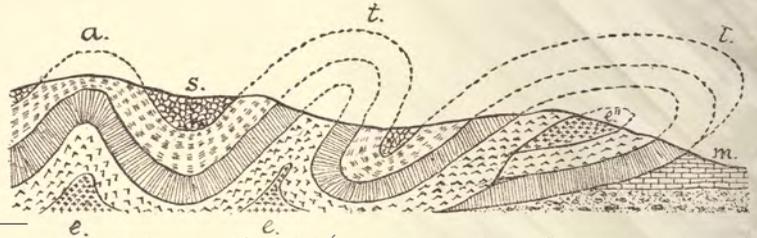
«ERA UN CAMINO desconcertante para quien no estuviera habituado a enfrentarse a la naturaleza en sus aspectos más agrestes.

A UN LADO se erguía un enorme risco de más de mil pies de altura, negro, severo y amenazador, cuya rugosa superficie estaba cubierta de largas columnas basálticas, como costillas de un monstruo petrificado.

AL OTRO LADO, un delirante caos de enormes pedruscos y detritus impedía el paso.»

Arthur CONAN DOYLE: *Estudio en Escarlata*.

- 
36. Vistas de las villas de Ibi y de Ares del Maestre.  
CAVANILLES, Antonio Joseph: *Observaciones sobre la Historia Natural, Geografía, Agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia*. Madrid 1795-1797.



37. Archivo gráfico del Área de Cristalografía y .Mineralografía.

## I. ESTRATO

Es un nivel o capa de **roca** o **sedimento** con litología **homogénea** o **gradacional** que se depositó durante un intervalo de tiempo definido.

Las superficies que lo separan de los estratos **superior** e **inferior** se denominan superficies de estratificación (Se) y **representan interrupciones** en la **sedimentación**.

La inferior se denomina **base** y la superior **techo**.

La **disposición original** de los **estratos** es —normalmente— **horizontal**; y posteriormente pueden ser **plegados**, **basculados** o **fallados** por la acción de las fuerzas tectónicas.

El principio de **superposición** de los **estratos**, enunciado por **Nicolás STENO** es fundamental en Geología. Nos dice que: si una **secuencia** de estratos **no** está invertida, el estrato **inferior** es el más **antiguo** y el superior el más **joven**.

se

se

1

2

3

4

Techo estrato 3  
Base estrato 3

100

110



## II. SECCIÓN O SERIE ESTRATIGRÁFICA



Sucesión que incluye todas las **unidades** litoestratigráficas que se encuentran en una zona o región, **ordenadas** según su edad de depósito.

También se usa este término para su **representación** gráfica; y es una **herramienta** básica en Geología.



Fm. Chert

Fm. Morella

Fm. Artoles

La serie de la fotografía presenta cuatro unidades que —de base a techo— son: **Fm. Camarillas**, **Fm. Artoles**, **Fm. Morella** y **Fm. Chert**.

Esta sucesión estratigráfica, de edad **Cretácico Inferior**, se encuentra en la región

de **ALIAGA-MIRAVETE** (Teruel), donde presenta altos **buzamientos** hacia el Oeste.

Es una serie **normal** (no invertida), y, por ello, la unidad más **antigua** es la **Fm. Camarillas**.

79  
W



**Fm. Camarillas**

### III. LEVANTAMIENTO DE SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS Y SU REPRESENTACIÓN GRÁFICA

40. Gráfico y Fotografía:  
A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.

Es la base de cualquier trabajo **estratigráfico**.

El levantamiento de **secciones** o **perfiles** estratigráficos incluye un estudio de campo en el que se **toman** y **anotan** diferentes **datos** que —posteriormente— se **representan** de forma **gráfica**.

Todos estos **datos** tomados en el **campo** se **representan** en un **gráfico** que consta de las siguientes **partes** o **columnas**:

(A) **Columna litológica.**

Donde figuran, a escala, todos los **estratos** o **unidades**

diferenciadas con su **trama litológica**; ordenados de más **antiguos** a más **modernos**.

**Tramo 2:** hasta 3 m de areniscas ocre.

Son de grano grueso a medio. Se presentan en cuerpos tabulares constituidos por estratos tabulares y lenticulares de hasta 30 cm. Presentan estratificación cruzada en surco, bioturbación y restos vegetales.

Muestran una evolución vertical granodecreciente.

**Tramo 1:** 6 m de alternancia de lutitas rojas y areniscas ocre.

 Lutitas laminadas en estratos tubulares de 10 a 15 cm.

 Areniscas de grano fino a medio. En estratos tabulares de hasta 20 cm.

Muestran laminación paralela, *ripples*, estratificación y laminación cruzada.

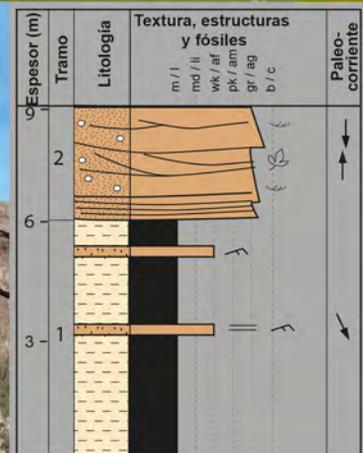


(B) Datos **texturales** —como tamaño de grano— y **evoluciones granulométricas** observadas.

(c) Estructuras **sedimentarias**, fósiles o **pistas fósiles** reconocibles,

direcciones de **paleocorrientes** y —si se han tomado muestras— **posición** de las mismas en la **columna**.

(D) **Leyenda** con la simbología y tramas utilizadas.



#### LEYENDA

	Lutita		Laminación horizontal
	Arenisca		Ripples de corriente
			Estratificación cruzada en surco
			Restos de vegetales



## IV. DISCONTINUIDAD ESTRATIGRÁFICA

Cuando entre dos unidades estratigráficas en **contacto** falta la representación de un lapso de **tiempo considerable**, existe una **discontinuidad**.

Entre las **dos** unidades se habrá producido una **interrupción** en la **sedimentación** y/o una **erosión**.

A continuación se ofrece su **taxonomía**:

### DISCORDANCIA ANGULAR:

Discontinuidad entre dos unidades sedimentarias **no** concordantes. La más antigua se presenta **plegada** o **basculada** y **erosionada** antes del depósito de la más moderna.

Fig. 41a

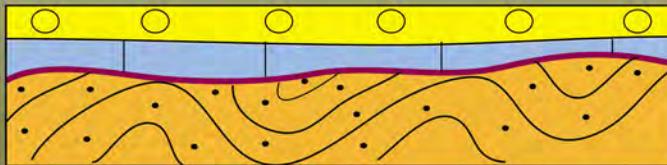
### INCONFORMIDAD:

Discontinuidad entre una unidad **no** sedimentaria y otra sedimentaria.

Fig. 41b

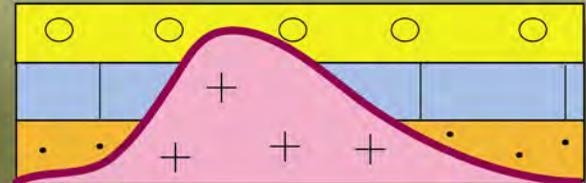
Lámina 41. Gráficos: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.

41a. Discordancia angular.  
Rocas sedimentarias.  
No paralelismo.



41b. Inconformidad.

Rocas endógenas/ Rocas sedimentarias.





**PARACONFORMIDAD:**

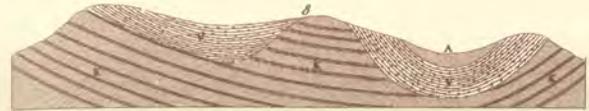
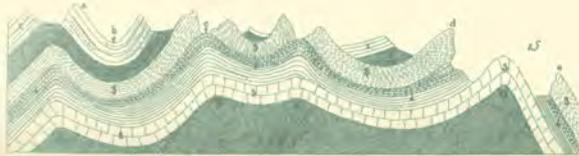
Discontinuidad entre **dos unidades sedimentarias con capas paralelas** (concordantes).

Fig. 41c

**DISCONFORMIDAD:**

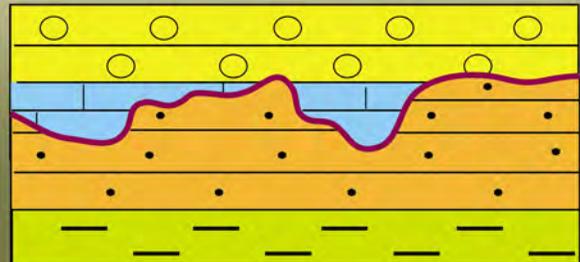
Discontinuidad entre **dos unidades sedimentarias concordantes**; presentando la más **antigua** claras **evidencias de erosión**.

Fig. 41d

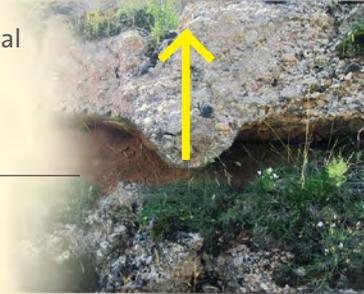


41c. Paraconformidad.  
Rocas sedimentarias.  
Paralelismo.

41d. Disconformidad.  
Rocas sedimentarias.  
Paralelismo y erosión.



Polaridad vertical



## V. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

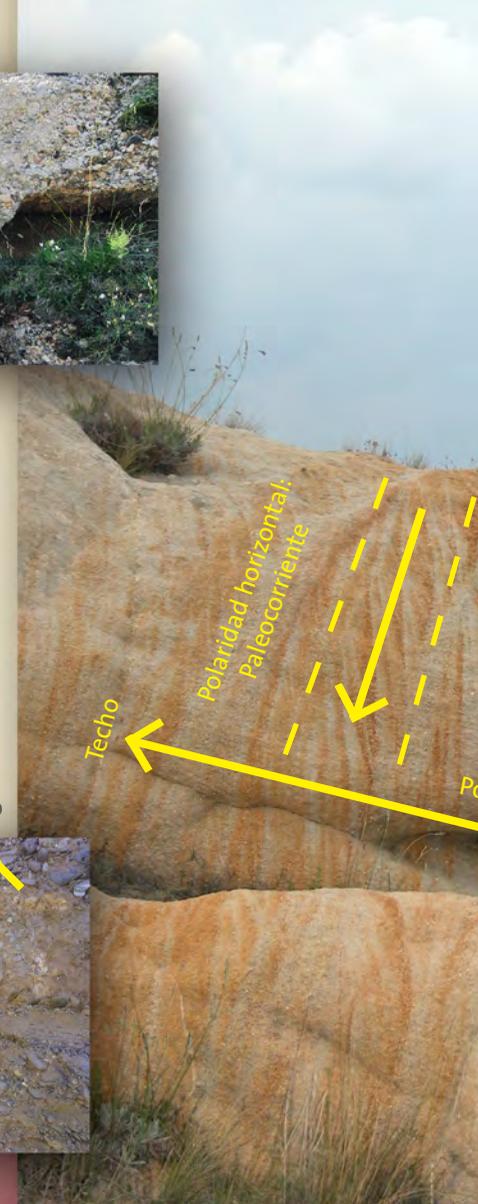
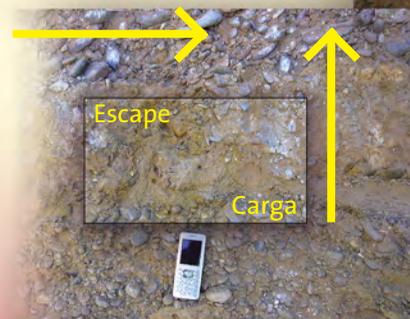
Son una cierta disposición **geométrica** de los elementos que constituyen un **sedimento**.

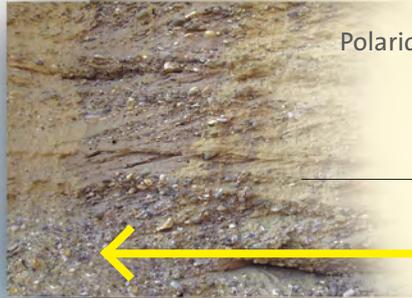
Esta disposición es consecuencia de los **agentes geológicos** y de los **procesos físicos, químicos y biológicos**.

Las **estructuras sedimentarias** permiten reconocer la **base** y el **techo** de los estratos; y, de este modo, conocer si las **sucesiones** están en su posición **original** —normal— o **invertidas**.

Paleocorriente

Techo





Polaridad horizontal

Paleocorriente

Algunas estructuras sedimentarias permiten deducir la **dirección** y el **sentido** de las **paleocorrientes** que las produjeron.

Con esa finalidad, las más útiles son la estratificación **cruzada** y la medida de los **ejes** de **cantos imbricados**.

Se clasifican en: **primarias** y **secundarias** (o diagenéticas).

Paleocorriente



86



## VI. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRIMARIAS: INORGÁNICAS SEDIMENTARIAS (I)



45. Arriba, *ripples* de interferencia.  
Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.

44. En la página contigua, *ripples* simétricos.  
Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.

Son estructuras que se desarrollan en sedimentos siliciclásticos, carbonáticos o evaporíticos granulares, no cohesivos.

Reflejan una gran variedad de procesos de transporte y son claros indicadores de las condiciones hidrodinámicas de sedimentación.

Se pueden identificar en los planos de estratificación o en el interior de los estratos.

Algunas estructuras reconocibles en los planos de estratificación son distintos tipos de *ripples*.

## VII. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRIMARIAS: INORGÁNICAS SEDIMENTARIAS (II)

Algunas estructuras sedimentarias primarias inorgánicas, de tipo sedimentario y que se pueden reconocer en el interior de los estratos son:

- (A) Laminación paralela y de bajo ángulo.
- (B) Estratificación gradada o granoselección.
- (C) laminación y estratificación cruzada.
- (D) Estratificación lenticular.
- (E) *Wavy* y *flaser*.
- (F) Imbricación de cantos.

(G) Estratificación bimodal (*herring bone*).

Y (H) estratificación cruzada *hummocky*.



46. Granoselección.  
Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.

47. En la página contigua, estratificación cruzada.  
Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.

89



90



## VIII. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRIMARIAS: INORGÁNICAS EROSIVAS

Son **estructuras** que se localizan en el **contacto** entre los **estratos** — en el **techo** o en el **muro**— y que son producidas por el **poder erosivo** de corrientes sobre sedimentos **arcillosos**.

Distinguimos entre las producidas por la **erosión de la corriente**, o **scour marks** —*exempli gratia*: Flute y Crescent— y las producidas por el **impacto de un objeto**, o **tool marks** —*e. g.*: Groove, Chevron, Prod y Bounce—.



Flute

Flute

49. En esta página, *flute*.  
Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.

48. En la página contigua, *crescent (scour mark)* en superficie con *ripples* y huellas de ave.  
Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.

## IX. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRIMARIAS: INORGÁNICAS DE DEFORMACIÓN

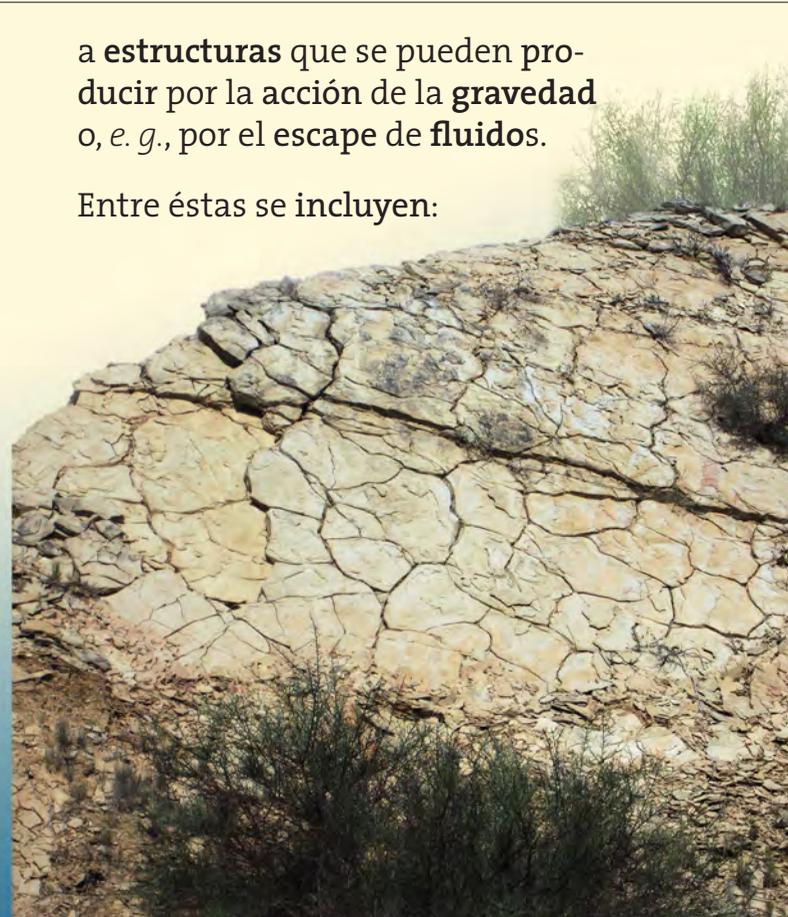
Son estructuras **post-deposicionales** que pueden producirse inmediatamente **después** del depósito del **sedimento** o **durante** su enterramiento y **litificación**.

En el **primer** caso se incluyen, *e. g.*, las **grietas** de desecación, las huellas de **gotas de lluvia** y las huellas de **cristales**.

El **enterramiento** y **compactación** del sedimento dan lugar

a estructuras que se pueden producir por la acción de la **gravedad** o, *e. g.*, por el escape de **fluidos**.

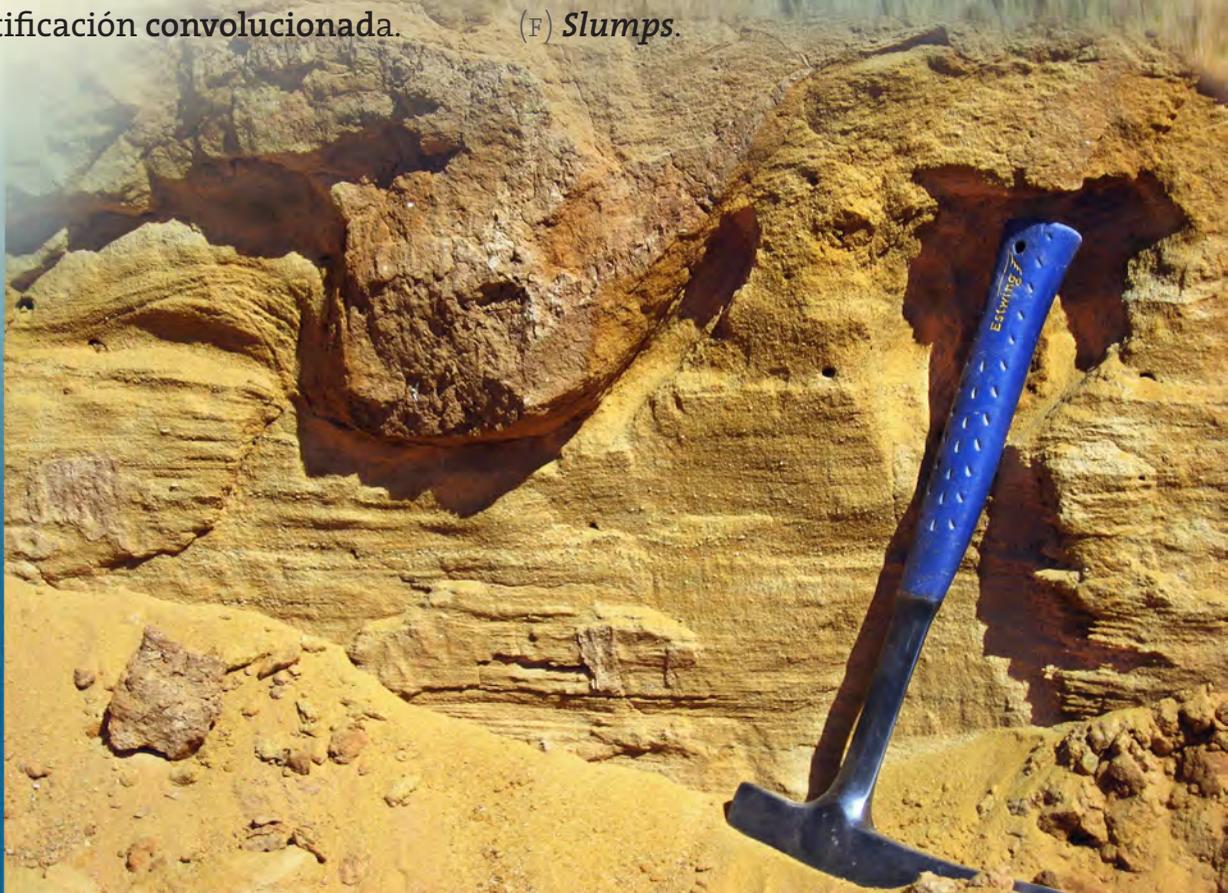
Entre éstas se incluyen:



50. En esta página, grietas de desecación.  
Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.

51. En la página contigua, estructuras de carga.  
Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.

- (A) Estructuras de carga.
- (B) Estructuras almohadadas.
- (C) Estratificación convolucionada.
- (D) Estructuras *flame* y *dish*.
- (E) Volcanes de arena.
- (F) *Slumps*.



## X. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRIMARIAS: ORGÁNICAS

Se denominan también **biogénicas**. Están producidas por la actividad de los organismos.

Se identifican dos grandes grupos:

- 52. En esta página, bioconstrucción de ostréidos.  
Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 53. En la página contigua, huellas de raíces.  
Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.



1) Estructuras  
y rocas bioconstruidas:  
estromatolitos, oncolitos  
y bioconstrucciones arrecifales.

2) Pistas e icnofacies  
—que reflejan huellas de la acti-  
vidad orgánica—: bioturbación,  
huellas de superficie, madrigueras,  
galerías y perforaciones.



## 54. Concreciones.

Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.



## XI. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS SECUNDARIAS O DIAGENÉTICAS

Las estructuras diagenéticas son aquellas que se producen durante la diagénesis.

Pueden ser de **precipitación** o de **disolución**.

En el primer caso se incluyen, por ejemplo: **nódulos, esferulitas, rosetas, concreciones, geodas y septarias**.

Entre las estructuras formadas por **disolución** cabe mencionar a los **estilolitos** y a los *cone in cone*.



55. Stilolitos.

Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.

## XII. FACIES SEDIMENTARIA

La «**facies sedimentaria**» describe aquellas características de una roca **sedimentaria** específica que la **diferencian** de otras.

Habitualmente, registra su **litología**, su **color** y/o sus estructuras **sedimentarias** —*e. g.*: facies de **gravas** y **arenas** con **estratificación cruzada planar**—.

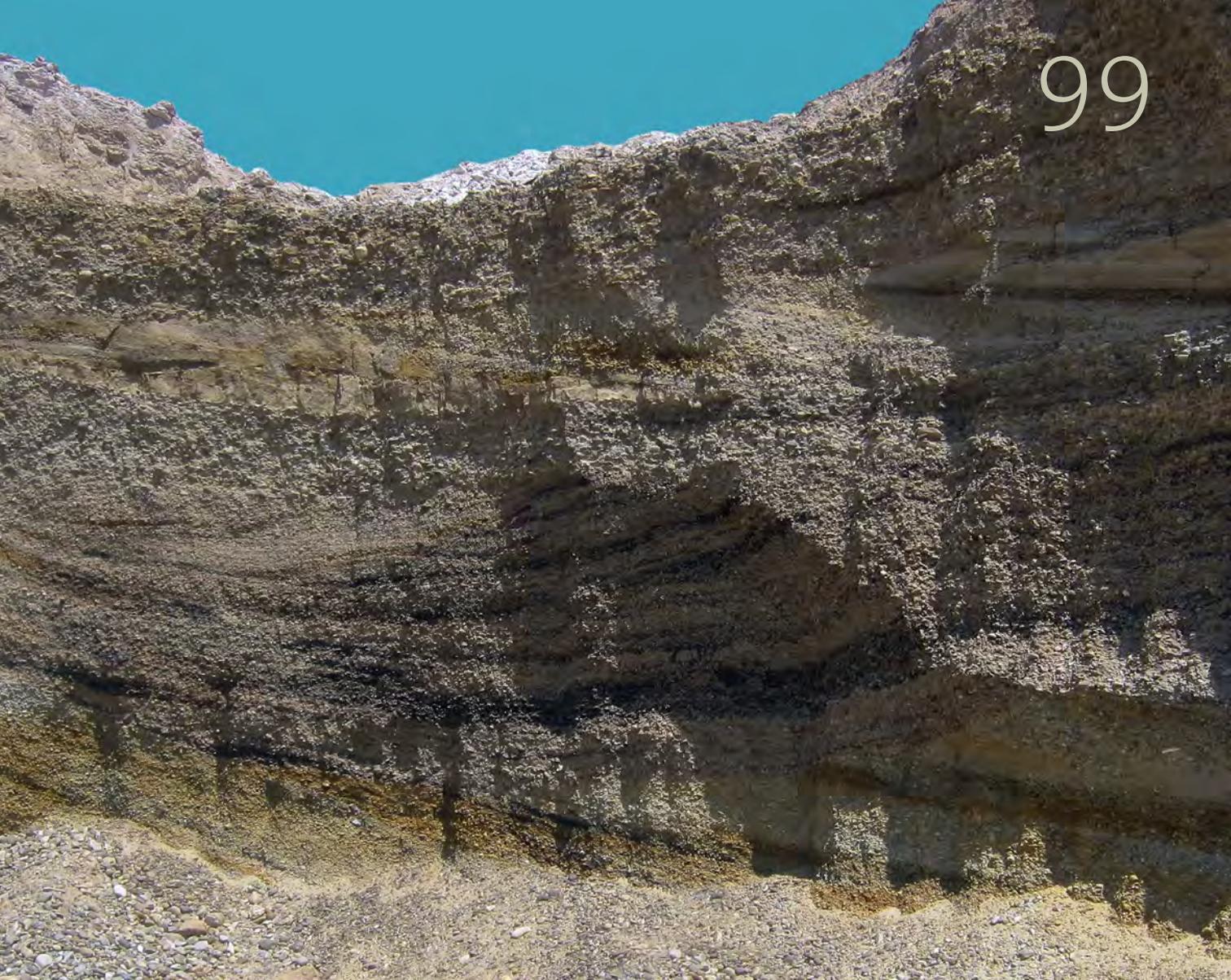
Una «**facies**» **representa** procesos **sedimentarios** —*e. g.*: **decantación** de material fino, **depósito** bajo la acción de **corrientes unidireccionales**, &c.—. Pero **no** es exclusiva de ningún ambiente **sedimentario** concreto.

Empleamos este término, además, para referirnos al elemento que representa un **litosoma** en un **ambiente sedimentario** (facies de canal); o, incluso, al **ambiente** que representa el **conjunto** estudiado (facies fluviales).

---

56. Facies de canal (arenas y gravas).  
Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.

99



### XIII. AMBIENTE SEDIMENTARIO

Parte de la **superficie terrestre** donde se acumulan **sedimentos** bajo la **actuación** de determinados **procesos sedimentarios físicos, químicos y biológicos.**

Generalmente, se distinguen **medios terrestres, transicionales y marinos.**

Un **medio sedimentario** se reconoce en el **registro estratigráfico** mediante la comparación de las **características** de las rocas con modelos de **facies** establecidos a partir del **estudio de medios actuales.**

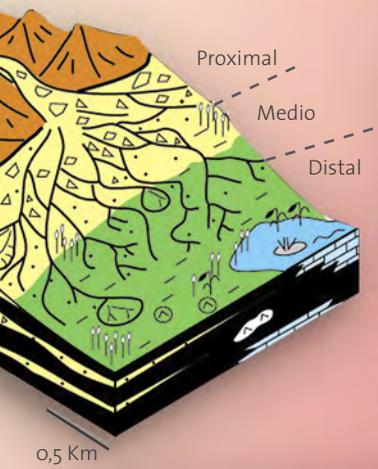
En estos **modelos** se incluyen las **facies** más características; pero también su ordenación en **secuencias o ciclos.**

57. Modelos de ambiente sedimentario.  
Gráficos y fotografías:  
A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.

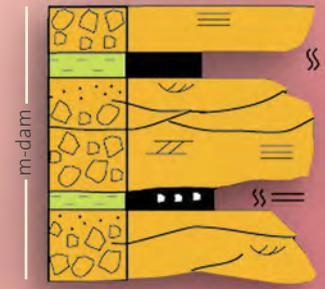


PROXIMAL

FUENTE

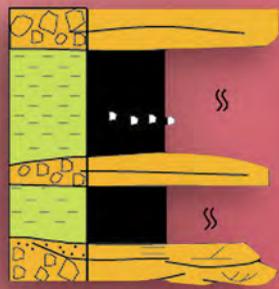


PARTE PROXIMAL



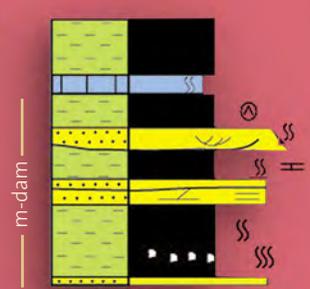
- Estratificación cruzada planar
- Estratificación cruzada en surco
- Bioturbación
- Estratificación cruzada

PARTE MEDIA



- Laminación paralela
- Laminación cruzada
- Cantos
- Estratificación horizontal

PARTE DISTAL



- Conglomerados
- Areniscas
- Lutitas
- Calizas



MEDIO



DISTAL

## XIV. UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

Las rocas se **clasifican** en **unidades** atendiendo a diferentes propiedades.

### UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS:

Basadas en propiedades **litológicas**. Son la **base** de las cartografías geológicas. La unidad fundamental es la **Formación**.

### UNIDADES BIOESTRATIGRÁFICAS (O BIOZONAS):

Basadas en su **contenido fósil**; es necesario que presenten fósiles. Puede utilizarse un **taxón** o una combinación de éstos.

### UNIDADES CRONOESTRATIGRÁFICAS

(Tiempo)

UNIDADES GEOCRONOLÓGICAS 43 m.a.  
(Rocas depositadas en ese tiempo)

EONOTEMA / EÓN

**FANEROZOICO**

ERATEMA / ERA

**CENOZOICO**

SISTEMA / PERÍODO

**PALEOGENO**

ÉPOCA (TIEMPO) / SERIE

**EOCENO**

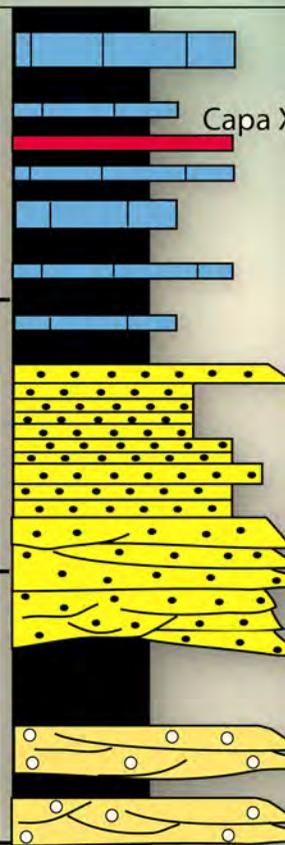
PISO / EDAD

**YPRESIENSE**

**LUTECIENSE**

Magnetozona

52 m.a.



Formación	Miembro	Grupo
C		
B	B2	A
	B1	
A		

**UNIDADES**

**MAGNETOESTRATIGRÁFICAS:**

Basadas en los cambios de polaridad de la **magnetización remanente**. Cada unidad presenta características magnéticas **similares y diferentes** de las que con ella se relacionan.

**UNIDADES**

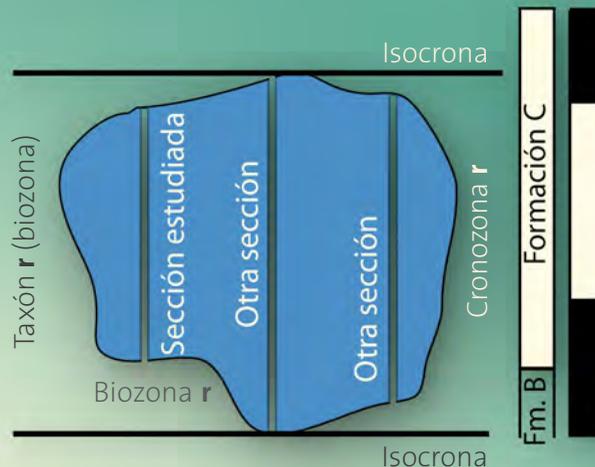
**CRONOESTRATIGRÁFICAS:**

Basadas en el **tiempo de formación**; de manera que cada una se ha formado en un intervalo de **tiempo geológico** concreto.

Las unidades de **tiempo** en las que se forman las **Unidades Cronoestratigráficas** se denominan **UNIDADES GEOCRONOLÓGICAS**.

**UNIDADES BIOESTRATIGRÁFICAS**

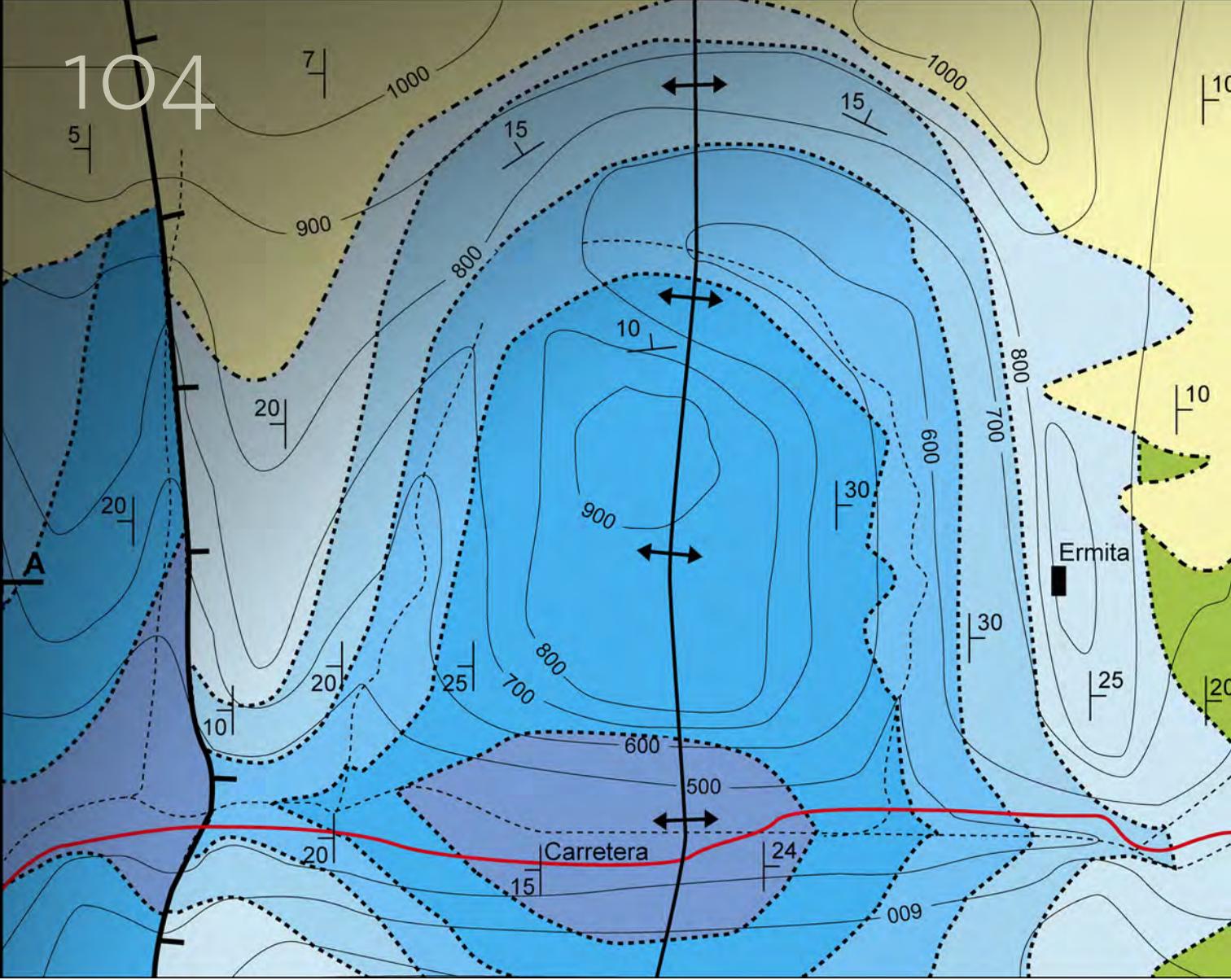
Biozona: cuerpo de roca  
Cronozona: tiempo que representa



Distancia entre secciones (10 Km)

-   
 Conglomerados
-   
 Areniscas
-   
 Lutitas
-   
 Calizas
-   
 Cenizas volcánicas

104





**XVI. CORTE GEOLÓGICO**

El **corte geológico** es una representación de la **distribución de cuerpos geológicos en profundidad** sobre una **sección**, normalmente **vertical**, del terreno.

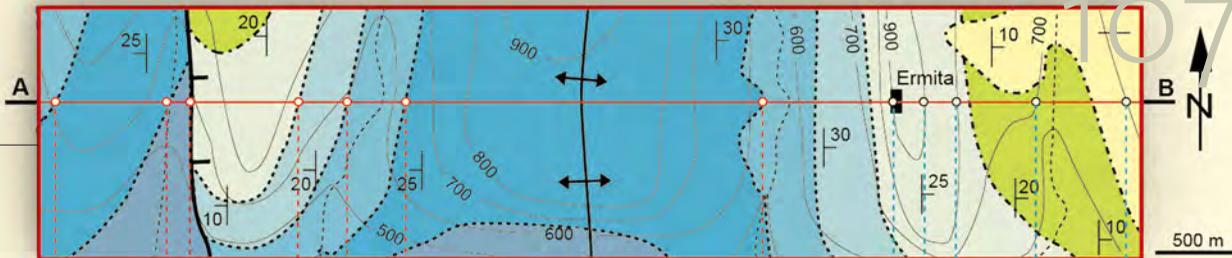
Para su **construcción** a partir de un mapa geológico deben seguirse varias **etapas**:

(1) **Ensamblaje de datos básicos**. Incluye la selección de la **traza del corte**, el levantamiento del **perfil topográfico** y la transferencia al perfil de los **contactos y datos de buzamiento**.

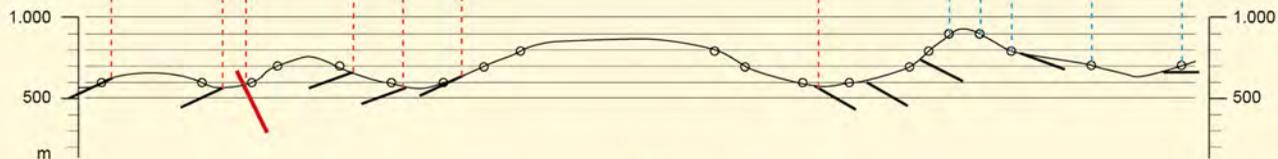
(2) **Extrapolación e interpolación de datos**. Los datos situados en el **perfil topográfico** se **extrapolan** —prolongación de la información— e **interpolan** —combinación de la información— para definir la **estructura en profundidad** y por encima de la **topografía**.

(3) **Terminación de la estructura**. Se completa el corte en **profundidad** y sobre la **superficie topográfica**; de manera que todas las unidades estén **representadas** a lo largo del mismo.

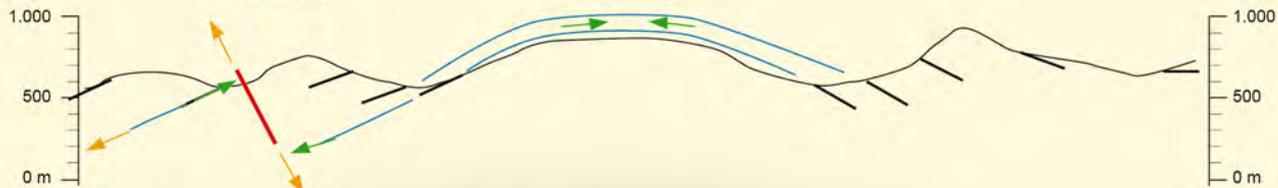
# EL MAPA GEOLÓGICO



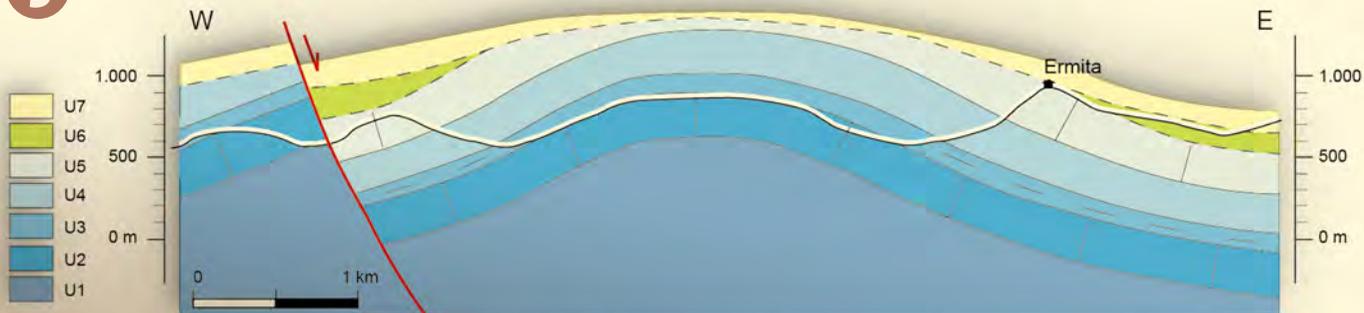
## 1 ENSAMBLAJE DE DATOS BÁSICOS



## 2 EXTRAPOLACIÓN (→) E INTERPOLACIÓN (→) DE DATOS

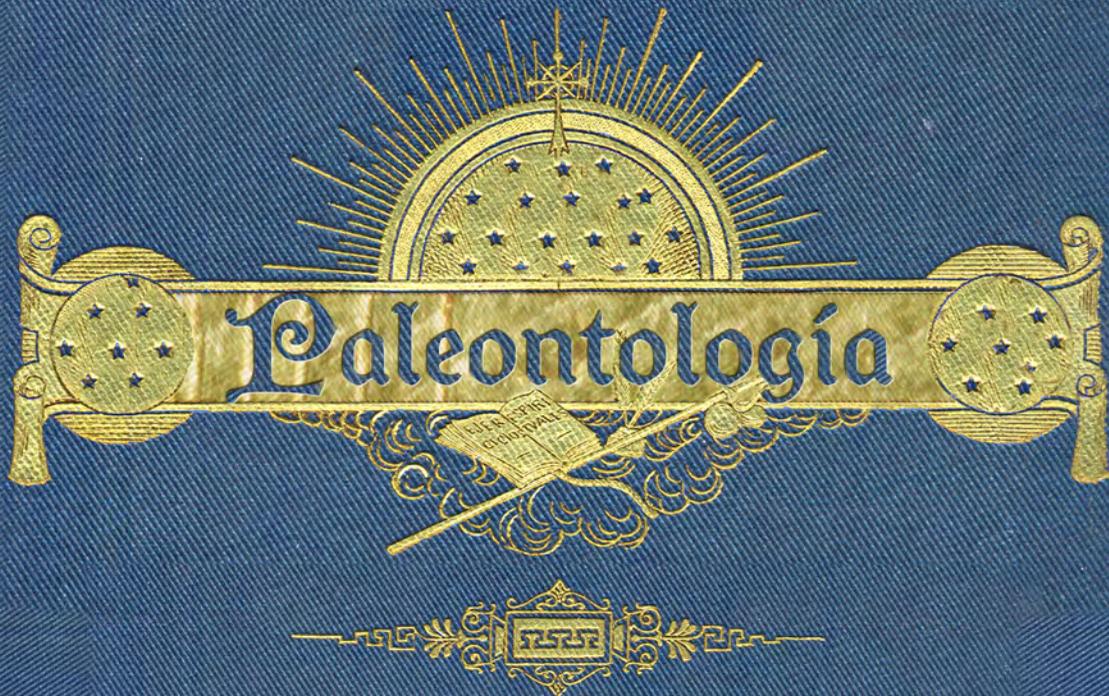


## 3 TERMINACIÓN DE LA ESTRUCTURA





ALBUM



La Paleontología recon-  
struye las relaciones de  
los seres vivos del pasa-  
do con el medio ambiente  
en el que vivieron.



# Paleontología

UNA GUÍA PARA EL ESTUDIANTE.

7ª OLIMPIADA ESPAÑOLA DE GEOLOGÍA. **Enrique VILLAS**

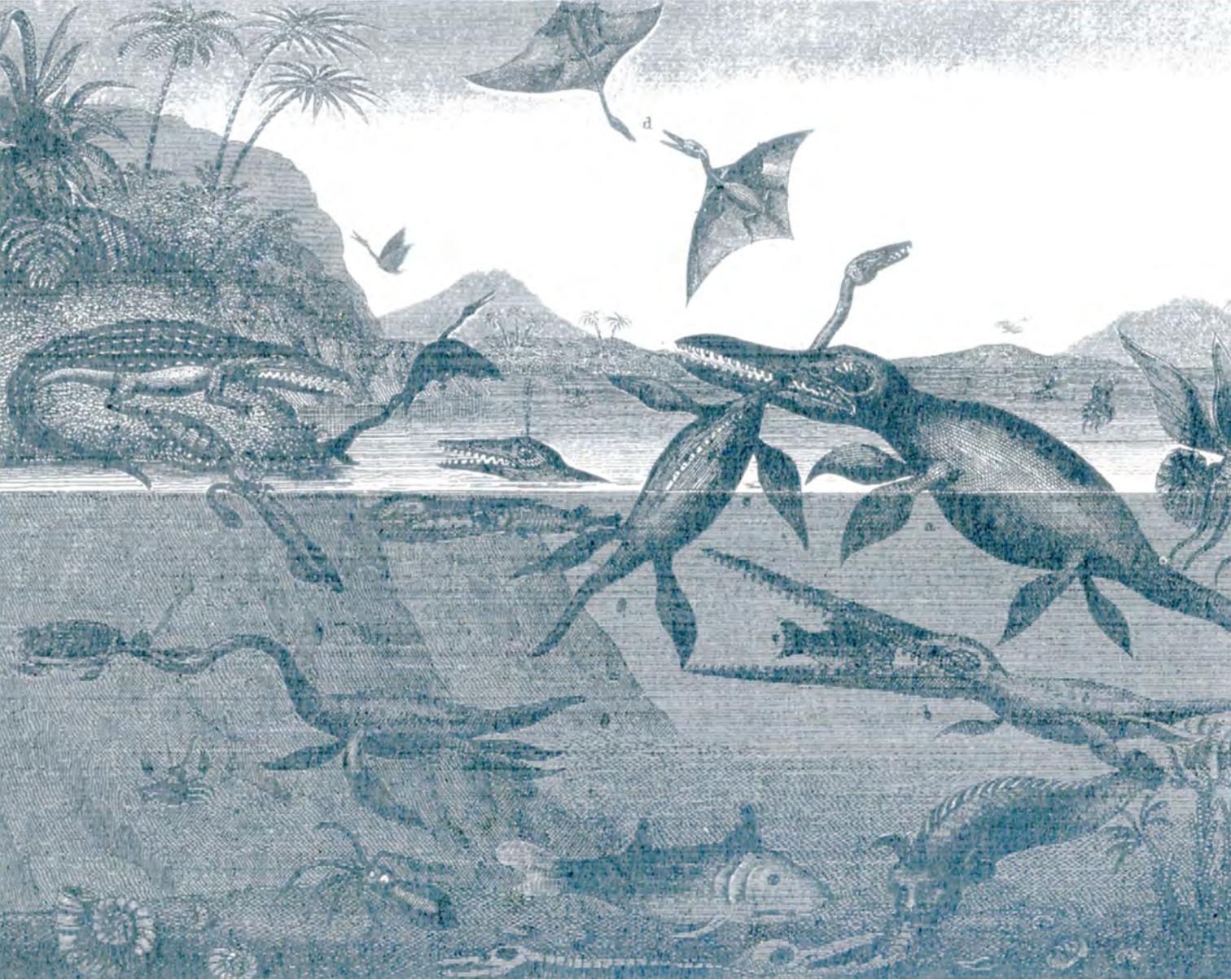


«...PODRÁN entonces esos poderosos géneros de animales retornar, aquellos cuya memoria ha quedado preservada en las inmemoriales rocas de nuestros continentes.

Podrá entonces reaparecer el enorme iguanodonte en los bosques y el ictiosaurio en el mar, mientras que el pterodáctilo podrá aletear de nuevo a través de los umbríos bosques de helechos arbóreos.»

*Charles Lyell:*

*Principles of Geology. London, 1830-1833*



## I. BRIOZOO

Es el molde del esqueleto colonial de un briozoo fenestrado, con ramas **muy delgadas**, entrelazadas formando una **red**.

Con una estructura tan **frágil**, estos **organismos marinos** únicamente podían sobrevivir en ambientes tranquilos, por debajo de un nivel de oleaje propio del **buen tiempo**.

La **pared calcítica** de la colonia se ha disuelto; permitiéndonos observar los rellenos de los pequeños **zoecios**, alineados a ambos lados de las ramas, en los que se alojaban los **zooides** de la colonia.

63. Fotografía: Zarela HERRERA.  
Briozoo: *Chasmatopora hypnoides*.  
Ordovícico Superior. (LUESMA, Zaragoza).

62. En la página contigua:  
Refectorio, o más bien *buffet* libre antediluviano.

Es el molde externo de la valva aislada de un **braquiópodo**: ornamentada con gruesas costillas y estrías de crecimiento muy marcadas cerca de la **comisura**.

Los **braquiópodos** son hoy día residuales en nuestros mares, pero durante la **Era Paleozoica** fueron los organismos dominantes en muchos fondos marinos.

Aunque sus **conchas** también tienen dos valvas, como la de los moluscos **pelecípodos**, se diferencian con facilidad de las de éstos; al presentar las valvas una **simetría bilateral**.

Esta **especie** caracteriza la invasión de organismos de aguas cálidas que sufrió el margen mediterráneo del paleocontinente de **Gondwana** durante el **Ordovícico Superior**.

64. Fotografía: Z. HERRERA.  
Braquiópodo. *Nicolella actoniae*.  
Ordovícico Superior (PONT DE BAR, Lérida).



115



### III. NÓDULO FOSILÍFERO CALCÁREO

El exoesqueleto de este **trilobites** se ha conservado en el interior de un **nódulo calcáreo**.

La formación de nódulos alrededor de **restos orgánicos** y —por consiguiente— la presencia de **fósiles** en el interior de nódulos es **frecuente**.

El **motivo** de este hecho se encuentra en los **cambios geoquímicos** producidos alrededor de la **materia orgánica** en **descomposición** —a causa de la acción bacteriana— que facilitan el **depósito de carbonato cálcico**.



65. Fotografía: Z. HERRERA.  
Nódulo fosilífero calcáreo.  
Devónico (ANTI-ATLAS, Marruecos).

117



118



#### IV. CORALES



Los corales del **Paleozoico**, como este colonial del orden **Rugosa**, no son ascendientes directos de los corales que pueblan hoy día nuestros mares, los **escleractinios**.

Aunque presentan muchas similitudes morfológicas con ellos, a **diferencia** de éstos, **no** fueron capaces de formar arrecifes por sí mismos.

La presencia de **murallas** con **contornos poligonales**, separando las coralitas, indica un bajo grado de **cooperación** entre los pólipos que formaban la colonia.

Y esto —a su vez— es un indicador de la **ausencia** de **simbiosis** con **algas unicelulares**; muy extendida entre los **corales escleractinios**, pero desconocida entre los **rugosos**.

66. Fotografía: Enrique VILLAS.  
Coral. *Hexagonaria* sp. Devónico  
(ANTI-ATLAS, Marruecos).

## V. GRAPTOLITOS

Los **graptolitos** fueron durante la mayor parte del **Paleozoico** el grupo más llamativo de **animales planctónicos**.

Los primeros conocidos con este comportamiento son de principios del **Ordovícico** y tenían complejos esqueletos coloniales, de composición orgánica.

Estaban formados por numerosas **ramas** entrelazadas, segregadas por pequeños individuos filtradores.

Cada **uno** de ellos ocupaba una pequeña cámara, de tamaño cercano a **1 mm**, generalmente con contornos triangulares; que en esta fotografía pueden apreciarse dentro del marco rectangular.

67. Fotografía: E. VILLAS.  
Graptolitos. *Araneograptus* sp.  
Ordovícico (ANTI-ATLAS, Marruecos).



121



122

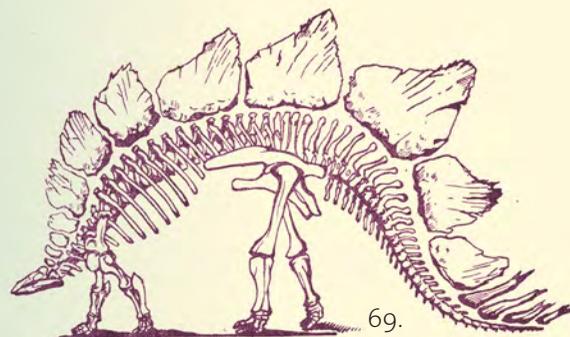


## VII. CALIZA BIOCLÁSTICA

Los **restos esqueléticos** o **bioclastos** —que se acumulan en esta caliza— están dominados por **pequeñas piezas anulares** llamadas **columnares**: proceden de la desarticulación de tallos de **crinoides**.

Pero también son abundantes los **fragmentos** de diversas colonias de **briozoos ramificados**; **valvas** aisladas de al menos tres especies diferentes de **braquiópodos**; así como fragmentos desarticulados de exoesqueletos de **trilobites**.

Esta acumulación permite **deducir** la existencia de una **rica comunidad de organismos** en un fondo marino poco profundo, a poca distancia del lugar de acumulación de los **bioclastos**.

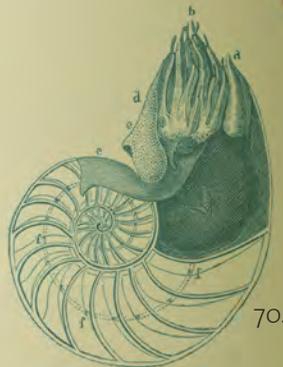


68. En la página contigua, fotografía: E. VILLAS.  
Caliza bioclástica.  
Silúrico. (ANTICOSTI, Canadá).

Las plantas pteridospermas, o **helechos con semillas**, se encuentran entre los primeros pobladores conocidos de las tierras emergidas.

Formaron parte de los **bosques y pantanos** que ocuparon las regiones ecuatoriales de **Pangea** a finales del Paleozoico y principios del Mesozoico, extinguiéndose a comienzos del Cenozoico.

Tenían el mismo **aspecto** que los helechos verdaderos, con **frondes** de aspecto plumoso, como el de la fotografía.



70.

No obstante, a diferencia de los helechos, que se reproducen por esporas, las **pteridospermas** se reproducían mediante **semillas**.



71. Fotografía: Z. HERRERA.  
Planta pteridosperma. *Callipteridium rochei*.  
Pérmico. (FOMBUENA, Zaragoza).

125



Las formas de las conchas de los **cefalópodos ammonoideos** y las variaciones en el relieve de su **superficie** —la ornamentación— parecen estrechamente relacionadas con sus **capacidades natatorias**. La concha de este *Hammatoceras* presenta una sección fuertemente comprimida, un ombligo reducido y una ornamentación a base de **costillas sinuosas**, muy ligeras.

Durante la **natación** sufriría un rozamiento relativamente bajo, permitiéndole una **velocidad de desplazamiento mayor** que la habitual entre los **ammnoideos** y, por tanto, la colonización de ambientes más **profundos** y **alejados** de la costa.



73. Fotografía: Z. HERRERA.  
Belemnites. *Mesohibolites* sp. Jurásico. →  
(CORDILLERA IBÉRICA, Zaragoza).

## X. BELEMNITES

Los cefalópodos belemnoides desarrollaron un esqueleto carbonático totalmente envuelto por sus partes blandas. Lo habitual es encontrar únicamente su **rostro** —o parte maciza—, que en la sección pulimentada que ofrece la fotografía es de **color ámbar**.

Se trata de un ejemplar excepcional por la conservación de su **fragmacono**: parte de la concha con tabiques **curvos** que separan el espacio. En nuestro fósil, vemos estas **camarillas** parcialmente rellenas de pequeños cristales de **calcita**. Sin embargo, cuando el animal estaba **vivo**, sus camarillas estarían rellenas de una mezcla variable de **liquido y gas**.

72. Fotografía: E. VILLAS.  
Ammonites. *Hammatocheras insigne*.  
Jurásico. (ALMONACID DE LA CUBA, Zaragoza).



**XI. FORAMINÍFERO**

Los *Nummulites* son foraminíferos bentónicos (habitantes de los fondos marinos) caracterizados por su concha **lenticular**.

Debido al crecimiento **involut** de su **espira**, en ejemplares completos solo podemos apreciar la capa más **externa** de la concha. **No** obstante, las que se ven en la fotografía aparecen seccionadas de **diferentes** maneras.

Al no haber sufrido rellenos minerales de importancia, es posible apreciar la disposición de las **sucesivas** paredes de la **concha**, que han ido envolviéndose unas a otras.

74. Foraminífero. *Nummulites* sp.  
Eoceno. (PIRINEO, Huesca).  
Fotografía: Z. HERRERA.





## XII. DINOSAURIO TERÓPODO ESPINOSÁURIDO

Las crestas longitudinales y la granulosidad sobre la superficie de este **diente**, —de menos de 2 cm de longitud— nos permiten reconocerlo como perteneciente a un **dinosaurio** del grupo de los **terópodos** espinosáuridos.

Puede apreciarse la **denticulación** de sus **bordes**, típica de un **organismo carnívoro**, como habrían sido todos los **terópodos**.

Aparte de los **dientes**, no se han encontrado otros restos de estos dinosaurios.

No nos es posible, por esta razón, asignarlos a una **especie** concreta.



Fig. 75.

76.

75. Fotografía: Z. HERRERA.  
Dinosaurio terópodo espinosáurido.  
Cretácico. (Josa, Teruel).

### XIII. MAMÍFERO EQUIDO

Los *Hipparion* fueron pequeños caballos. Se han encontrado sus restos en Norteamérica, Eurasia y África, desde el Mioceno hasta comienzos del Cuaternario.

Los *Hipparion* tenían tres dedos; a diferencia de los caballos actuales, que tan solo tienen uno. En la serie dentaria de la imagen,

compuesta por molares y premolares, se aprecian muchos rasgos comunes con los équidos actuales, como la **robustez** y **altura** de las coronas, así como la complejidad en el trazo de las crestas de esmalte, de color blanquecino. Son rasgos que proporcionaban a los dientes una **larga durabilidad** frente al **desgaste** y un gran **poder cortante** ante la **vegetación herbácea**, muy abrasiva, de la que se alimentaban.



2 cm

Fotografía: Z. HERRERA.  
Mamífero equido. *Hipparion* sp. Mioceno.

#### XIV. MAMÍFERO BÓVIDO

En España se conocen al menos cinco especies del **genero** *Gazella*, que vivieron entre finales del **Mioceno** y comienzos del **Pleistoceno**.

Tras una alta **diversidad** inicial en Europa, el género quedó restringido exclusivamente a *Gazella borbonica*, durante el **Plioceno** superior.

La extinción de las **gacelas** en Europa coincide con el inicio de las **glaciaciones cuaternarias** y con la llegada de nuevos **bóvidos** de mayor **alzada** y origen asiático.



78. Fotografía: Z. HERRERA.  
Mamífero bóvido. *Gazella borbonica*.  
Pleistoceno inferior. (LA PUEBLA DE VALVERDE, Teruel).

**XV. MAMÍFERO BÓVIDO**

El **Uro** euroasiático, o *Bos primigenius* en su nombre latino formal, se considera el **ancestro** de todo el ganado bovino actual, procedente de su **domesticación** hace unos **6.000 años**. El último ejemplar conocido de la especie murió en **Polonia** en **1627**.

Este **cráneo** se encontró en un **depósito aluvial** de unos **45.000 años** de antigüedad —el Pleistoceno Superior— en el Parque Cultural del Río Martín.

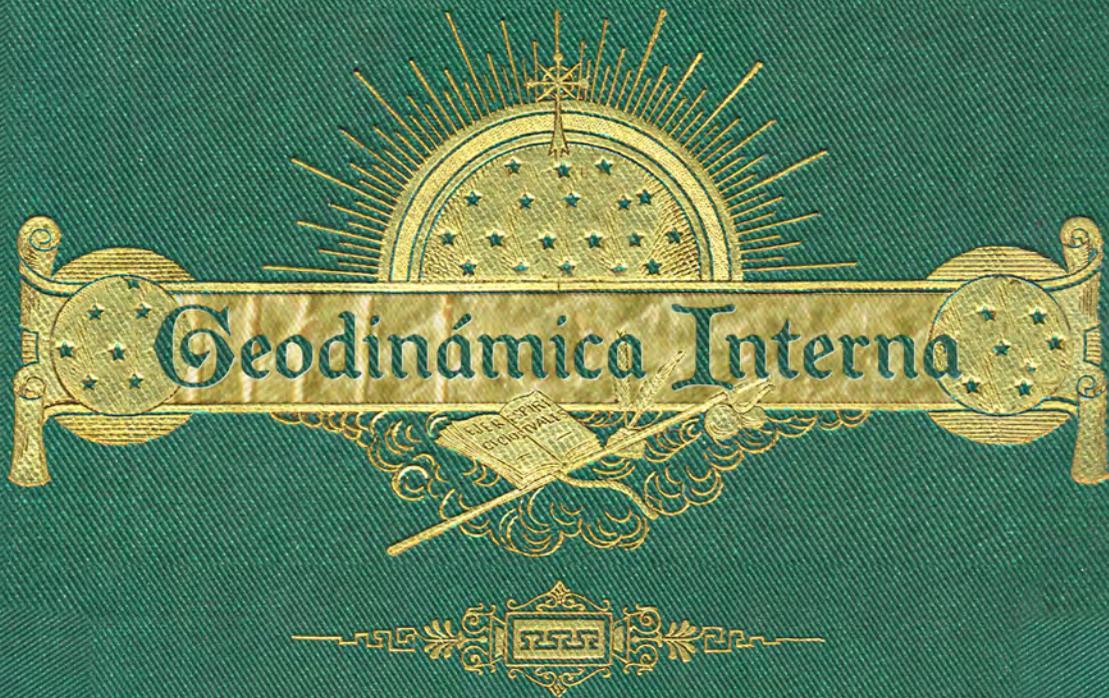
A pesar de su **gran tamaño** —más de **60 cm** de longitud craneal— se encuentra por **debajo** de la media de los ejemplares conocidos en el **N. de Europa**, que podían llegar a los **2 m** de altura en la **cruz**.

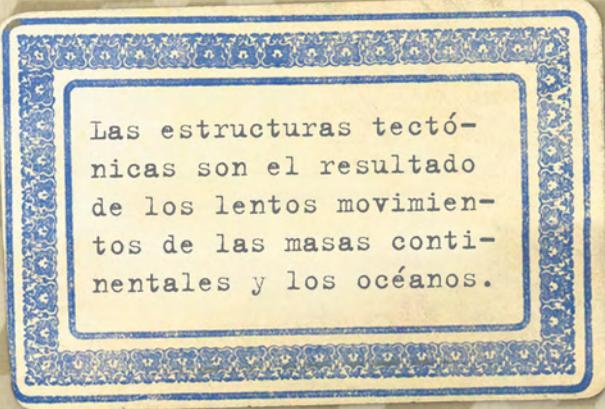
79. Fotografía: Z. HERRERA.  
Mamífero bóvido. *Bos primigenius*.  
Pleistoceno superior. (ARINO, Teruel).





# ALBUM





Las estructuras tectónicas son el resultado de los lentos movimientos de las masas continentales y los océanos.

# Geodinámica Interna

UNA GUÍA PARA EL ESTUDIANTE.

7ª OLIMPIADA ESPAÑOLA DE GEOLOGÍA.

Cristina GARCÍA LASANTA, Marcos MARCÉN, Pablo SANTOLARIA y Antonio CASAS

---



«LA MONTAÑA está en silencio  
como en los tiempos remotos.»

*Sentencia caligráfica.*

Tinta sobre papel,  
Monasterio de Ryoanji, KYOTO.





Wernigerode

Darlingerode

Altenrode

Isenburg

Minsleben

Langeln

Cl. Drubek

Stapeln

Reddeber

Wasserleben

Vikenstedt

Schauer

Amt Bunden

Äcker II

110

Wald Lurde

Wald Lurde

Nitzwick

## I. LAS ROCAS: ¿SÓLIDOS O FLUIDOS?

Los materiales **terrestres** responden a los **esfuerzos** de diferente forma: en función de su composición, del **tiempo** durante el que se produce la **deformación** —y de la velocidad de ésta—, y de las condiciones de **presión y temperatura** a que están sometidos.

Cerca de la superficie, expuestas a una **presión y temperatura bajas**, las rocas se **fracturan**; dando lugar a **fallas**.

La expresión más espectacular de esta **fracturación** es —precisamente— el **terremoto**. A partir de una cierta profundidad

82. Foliación plegada por pliegues de tipo kink.  
Fotografía: Antonio CASAS. Localización: Córcega

dentro de la corteza, las rocas se comportan de forma **dúctil**, los granos minerales se deforman y se producen **pliegues**. En este caso, la **deformación** es **continua** en el tiempo: sin saltos bruscos.



## II. ESTRUCTURAS FRÁGILES: DIACLASAS, GRIETAS, ESTILOLITOS

---

Cuando se ven sometidas a **esfuerzos** en zonas próximas a la superficie **terrestre**, las rocas pueden llegar a romperse, formándose **tres** tipos de estructuras.

(1) **Diaclasas**: fracturas sin desplazamiento que presentan distintos **patrones geométricos** en función de su **espesor**.

(2) **Grietas de extensión**: normalmente rellenas de **cuarzo** o de **calcita**, y cuya orientación se relaciona con los esfuerzos tensionales.

---

83. Estructuras frágiles.

Fotografías: A. CASAS.

83a. Diaclasas. Localización:

CORDILLERA del ATLAS (Marruecos).

83b. Grietas de extensión. Localización:

RICLA (Zaragoza).



(3) **Estilolitos**: superficies irregulares con numerosos picos, formadas por disolución al aproximarse dos bloques de roca, y en las

cuales el residuo insoluble queda concentrado a lo largo de la **línea oscura** que separa los bloques.



### III. DEFORMACIÓN DÚCTIL: FOLIACIÓN Y PLIEGUES DE FLUJO

Las rocas pueden hallarse sometidas a esfuerzos **compresivos** que **reordenan** los minerales

en torno a **planos distintos** de la **estratificación** —planos de foliación, esquistosidad o clivaje—.



En esta página, 85. Colas de precipitación asociadas al cristal de pirita.

Fotografía: Andrés GIL.

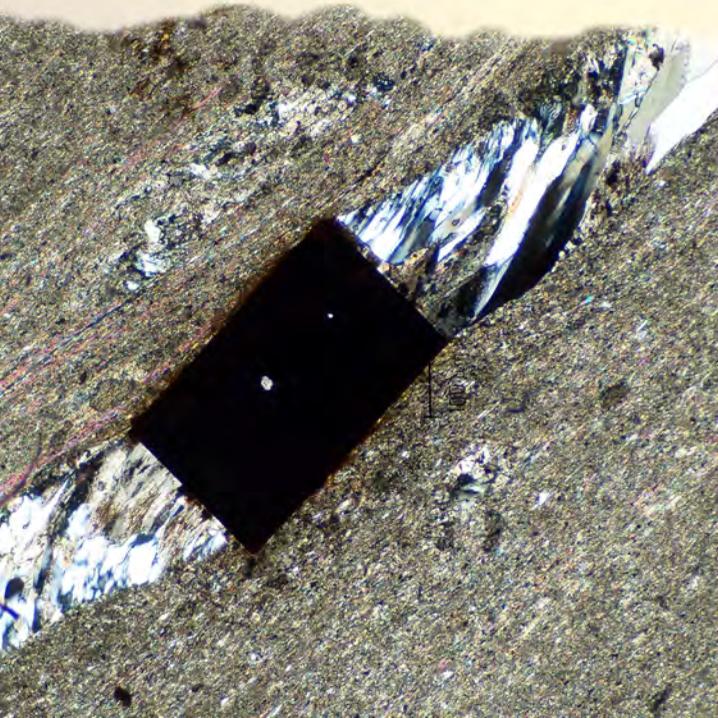
Localización: SIERRA de CAMEROS (La Rioja).

Los procesos que dan lugar a los **planos de foliación** son muy variados. E incluyen:

1. La **rotación** de los **granos minerales** (imagen de esta página: pirita).
2. Su **disolución y recristalización** en forma de **nuevos minerales**.

Es frecuente que la **foliación** sea **paralela** a los **planos axiales** de los **pliegues** (imagen de la página anterior).

Cuando la **deformación** tiene lugar bajo una **presión** y una **temperatura elevadas**, pueden alcanzarse condiciones **plásticas** cuyo resultado son los **pliegues apretados** denominados **pliegues de flujo**.



En la página anterior, 84. Foliación de plano axial.

Fotografía: A. CASAS.

Localización: VALLE de ORDESA (Huesca).

#### IV. REGÍMENES TECTÓNICOS: COMPRESIÓN, EXTENSIÓN, DESGARRE

---

Los regímenes tectónicos engloban los procesos que culminan en la formación de estructuras geológicas a lo largo del tiempo.

Dependiendo de las **estructuras** y del **estado** de esfuerzo dominante en la **corteza**, podemos distinguir entre:



1. Regímenes **COMPRESIVOS**: la **corteza** se ve sometida a un **acortamiento**; aparecen **cabalgamientos**, **pliegues** y se forman **relieves montañosos**.

2. Regímenes **EXTENSIONALES**: la **corteza** se **adelgaza**, dejando un espacio libre que origina desde **cuencas reducidas** hasta **amplios océanos**; donde pueden acumularse grandes cantidades de **sedimentos**.

3. Regímenes de **DESGARRE**: los diferentes bloques de la corteza se **desplazan lateralmente** a favor de las **fallas transformantes**.

86. En la página contigua, localización:  
Pirineos, VALLE del ARAGÓN (Huesca).

87. En esta página, localización:  
Cuenca Cretácica  
del MAESTRAZGO (Teruel).  
Fotografías: A. CASAS.



146



## V. PLIEGUES

Sometidos a esfuerzos tectónicos, los **estratos** pueden ondularse y **doblarse** sin llegar a romperse, formando **pliegues**.

Estas **estructuras** se dan a muy diferentes escalas: desde **regional**, en **muestra de mano** o **microscópica**.

Los **pliegues** con los materiales más **antiguos** en su núcleo se denominan **anticlinales**; y los que presentan en él los materiales más **modernos**, **sinclinales**.

En una secuencia normal de **estratos** —los más modernos situados más arriba en la serie— un **anticlinal** presenta forma **convexa**, mientras que un **sinclinal** presenta forma **cóncava**.

Generalmente, los **pliegues** se asocian a esfuerzos **compresivos**, pero también pueden desarrollarse en contextos **extensionales** (pliegues de arrastre, anticlinales de *roll-over*).

## VI. CABALGAMIENTOS

Los cabalgamientos son las **principales** estructuras que forman las cadenas **montañosas**.

Son **fallas** con una suave **inclinación** o —a veces— prácticamente **horizontales**; y **paralelas** a las capas a las que afectan.

Se reconocen porque, en ellas, los materiales más **antiguos** se superponen a los más **modernos**: a veces, a lo largo de decenas o incluso **centenares de kilómetros**.

Los **cabalgamientos** suelen producirse a favor de niveles de **despegue** (arcillas o evaporitas) con bajo **rozamiento**; que permiten el **desplazamiento** de pequeños **espesores** de serie (tectónica de piel fina).

En otros casos, pueden afectar a **grandes espesores** de sedimentos o incluso a toda la **corteza continental** (tectónica de piel gruesa).

- 
89. Jurásico plegado sobre conglomerados Cenozoicos horizontales.  
Fotografía: A. CASAS.  
Localización: CERRO PEÑALBA (La Rioja).

149



150



## VII. FALLAS NORMALES

Las fallas normales son estructuras frágiles con desplazamiento en la vertical, desarrolladas como respuesta a un estiramiento asociado a procesos extensionales.

Los planos de fallas normales ponen en contacto estratos más modernos situados en el bloque levantado —inferior— con estratos

más antiguos del bloque hundido —superior—.

Suelen estar inclinados en ángulos de más de  $60^\circ$  y, en ocasiones, pierden inclinación en profundidad —fallas lítricas—.

Las fallas normales pueden desarrollarse a distintas escalas; e incluso pueden dar lugar a espacios de acomodación de sedimentos en contextos extensionales — como zonas de rift o cuencas sedimentarias—.

91. Fotografía: A. CASAS. Localización:  
CUENCA de CAMEROS (La Rioja).



**VIII. FALLAS DIRECCIONALES Y ROCAS DE FALLA**

Las fallas **direccionales** presentan normalmente un **buzamiento alto** y un **desplazamiento en la horizontal**: desde pocos **centímetros** hasta decenas o centenares de **kilómetros**.

Vistas en planta, ponen en **contacto** materiales de muy distinta **naturaleza y edad**.

Las «**rocas de falla**» o «**zonas de falla**» son **zonas trituradas**, situadas entre los **dos bloques**. Es en ellas donde se concentra la **mayor parte de la deformación**.

En el **interior** de las fallas **próximas** a la superficie es frecuente encontrar **rocas** caracterizadas por una intensa **deformación**: **cataclasitas** o incluso «**harinas de falla**».

La **Falla de San Andrés**, en **California**, es un buen ejemplo de **gran falla direccional**.

- 
92. Falla. Fotografía: Marcos MARCÉN.  
Localización: RÍO GRÍO,  
Cordillera Ibérica (Zaragoza).

153

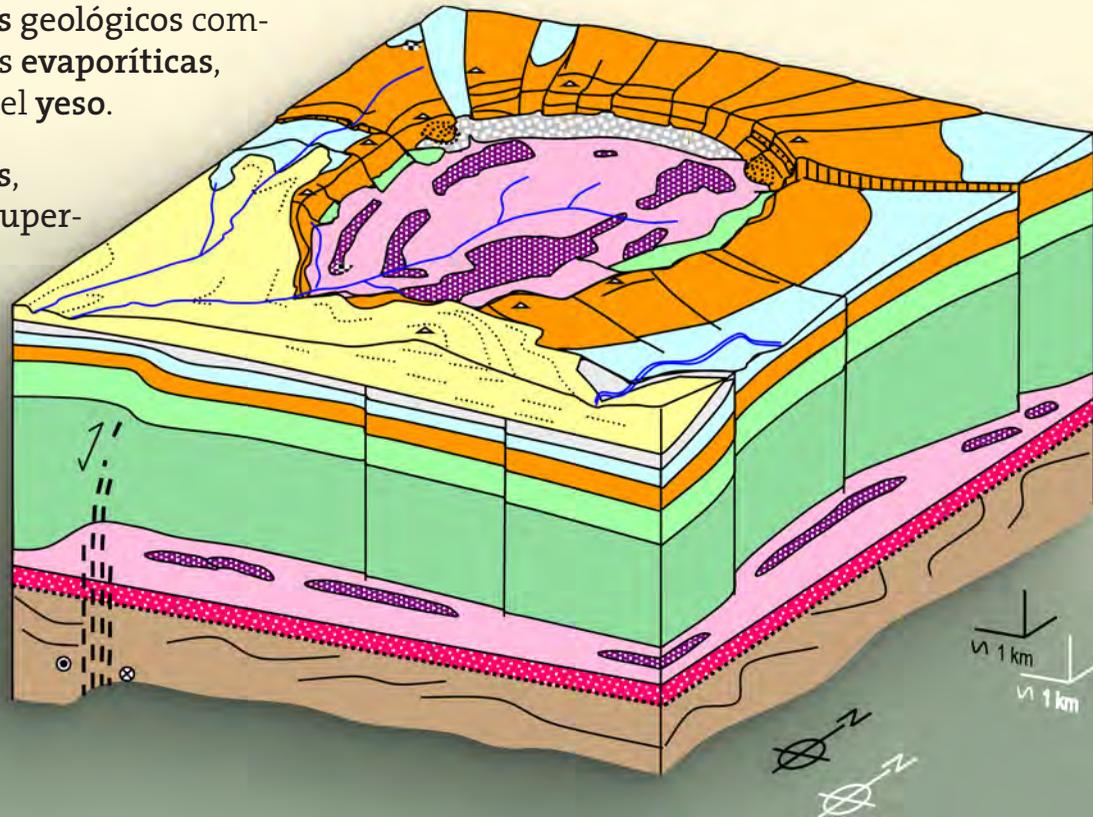


## IX. TECTÓNICA SALINA

En ella se incluyen todos aquellos procesos de **deformación** que involucran **niveles o cuerpos geológicos** compuestos por rocas **evaporíticas**, como la **halita** o el **yeso**.

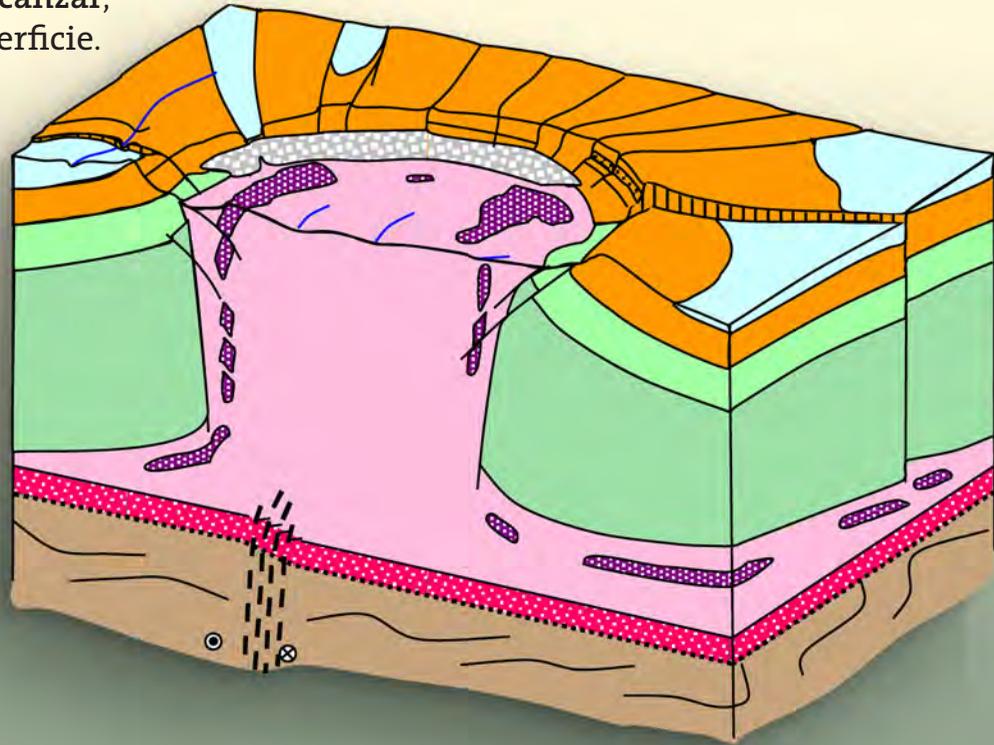
Este tipo de rocas, en condiciones superficiales, y a diferencia de la mayoría de las rocas, se comporta de forma **dúctil**; lo que se traduce, en tiempo geológico,

en su capacidad para **fluir**. Sus estructuras más características son los **diapiros salinos**.



Se trata de **grandes acumulaciones** en la **vertical** de rocas evaporíticas, que atraviesan la **masa** de rocas que las rodean hasta **alcanzar**, ocasionalmente, la **superficie**.

En ese momento, las **evaporitas** surgen de la tierra para formar **glaciares salinos**.



95. Diapir de SALINAS de ORO (Pamplona).  
Gráfico: Andrés Pocoví.

**X. SISMITAS Y SLUMPS**

94. Sismita. Fotografía: Pedro ALFARO.  
Localización: CORDILLERA BÉTICA (Granada).



Los **sedimentos**, porosos y sin consolidar, se mantienen **estables** por **fricción** entre los granos.

Un fenómeno brusco, como una **onda sísmica**, desestabiliza esa ordenación y produce la **pérdida** total de la **cohesión** del material que, si está **embebido** en **agua**, adquiere prácticamente

las **propiedades de un fluido** —proceso denominado **licuefacción**—.

El material **licuefactado** produce llamativas **estructuras** llamadas **sismitas**: con formas **variables**, tales como columnas **verticales** o **estructuras almohadilladas**.

En otros casos, la actividad **sísmica** puede dar lugar a movimientos de **grandes masas** a favor de **taludes** submarinos, dando lugar a un tipo particular de pliegues que denominamos .

- 
95. Pliegues de slump.  
Fotografía: Inmaculada GIL.  
Localización: VALLE de AÍSA (Huesca).

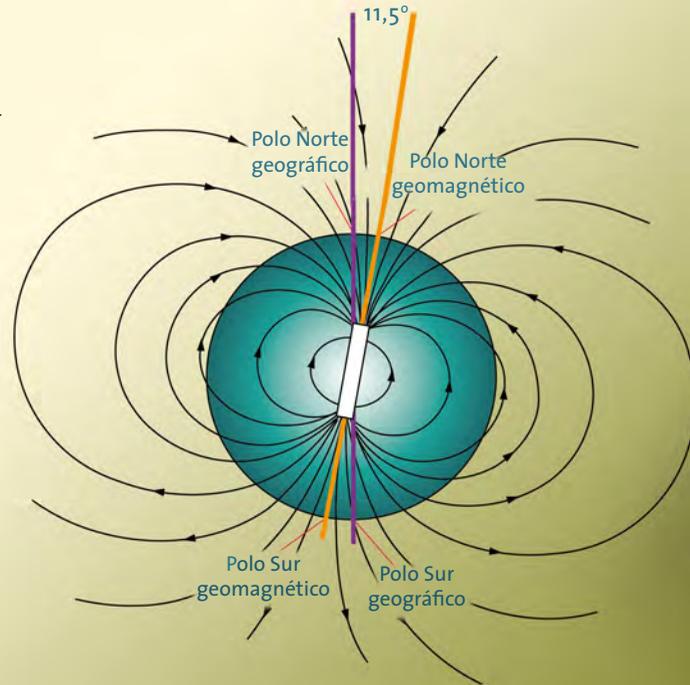


## XI. PALEOMAGNETISMO

El **campo magnético terrestre** (CMT) ha variado su **orientación** e **intensidad** a lo largo de la historia de la **Tierra**.

El **paleomagnetismo** estudia estas variaciones, basándose en que los **minerales ferro-magnéticos** —como magnetita o hematites— están presentes en mayor o menor **proporción** en todas las **rocas** de la corteza; y son capaces de registrar ese **campo** desde que se forman.

La **magnetización remanente natural** —adquirida en respuesta al CMT— de **muestras de roca orientadas** se puede medir en el laboratorio.



96. Modelo del CMT.  
Gráfico: Cristina GARCÍA LASANTA.

Los resultados ofrecen información sobre la posición y el movimiento de los conti-

nentes, estructuras y cuencas sedimentarias a lo largo de su historia geológica.

97. Muestreo de campo.  
Fotografía: A. CASAS.



98. Muestras para estudios paleomagnéticos.  
Fotografía: C. G.ª LASANTA.



## XII. MODELIZACIÓN ANALÓGICA

Es una técnica **experimental** que permite estudiar **estructuras** y **procesos geológicos** en el laboratorio.

Los modelos **analógicos** son **simulaciones** de la **naturaleza** llevada a una escala humana: lo que se denomina **dimensionamiento**.

99. Modelo analógico sometido a compresión.  
Fotografía: Pablo SANTOLARIA.



Gracias a este concepto, las magnitudes que **gobiernan** los **procesos geológicos** se reducen; permitiendo **simular** los diferentes tipos de rocas con **materiales**

como la **arena**, la **silicona** o la **miel** —entre otros—; reproduciendo así, en unas **pocas horas**, fenómenos de deformación que ocurren a lo largo de **millones de años**.

100. Corte de un modelo analógico.  
Fotografía: P. SANTOLARIA.



### XIII. PROSPECCIÓN SÍSMICA

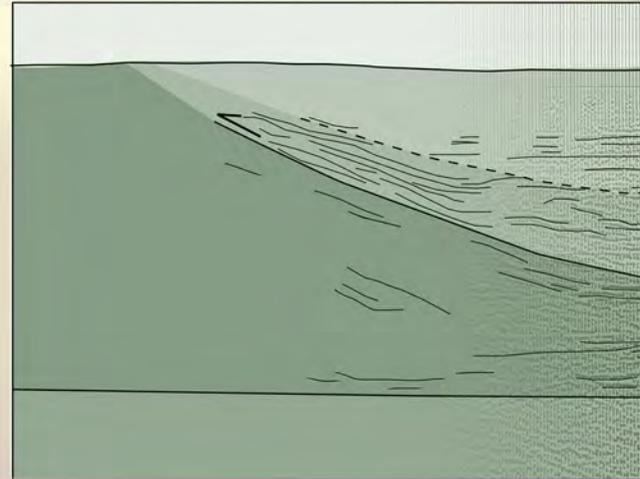
Dentro de las técnicas indirectas para conocer el interior terrestre, la sísmica se basa en la información que arrojan las ondas sísmicas —naturales e inducidas— que atraviesan las rocas y capas que componen nuestro planeta.

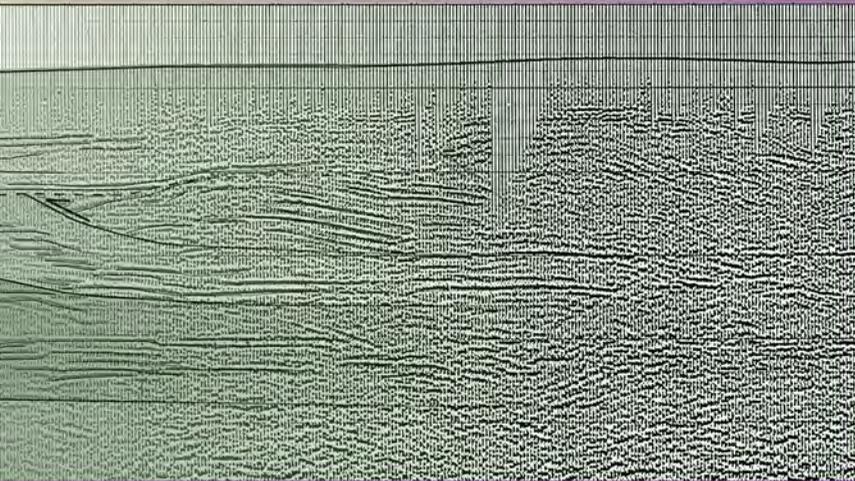
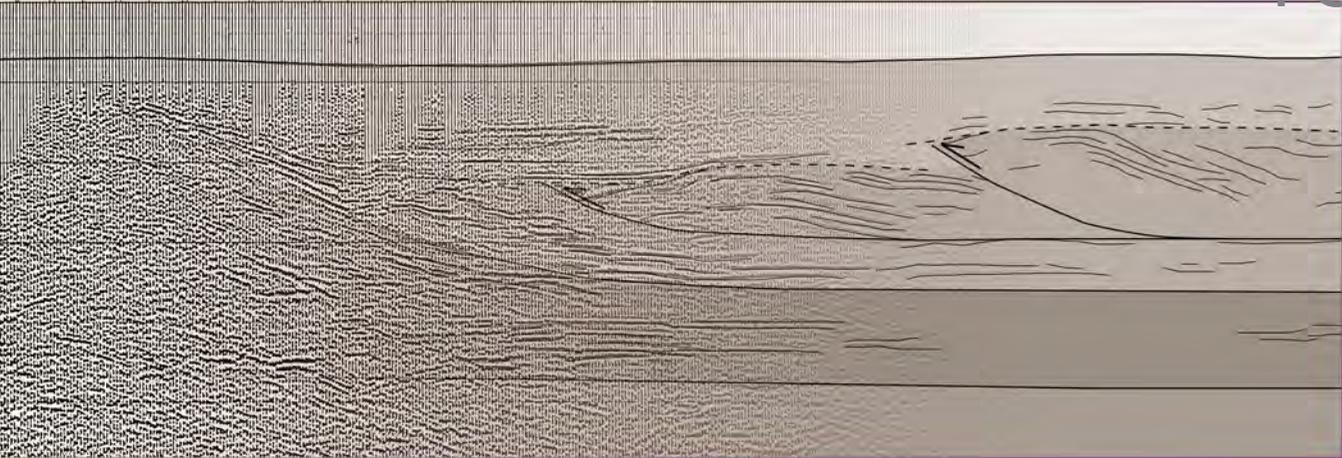
101. Generación y registro de ondas sísmicas inducidas. Fotografía: A. CASAS.



Las diferentes ondas sísmicas ( $P$  y  $s$ ) interactúan de forma concreta con los diferentes niveles que conforman la Tierra.

102 y 103. Perfil sísmico (abajo) y estructuras interpretadas a partir del mismo (a la derecha). Gráficos: P. SANTOLARIA.

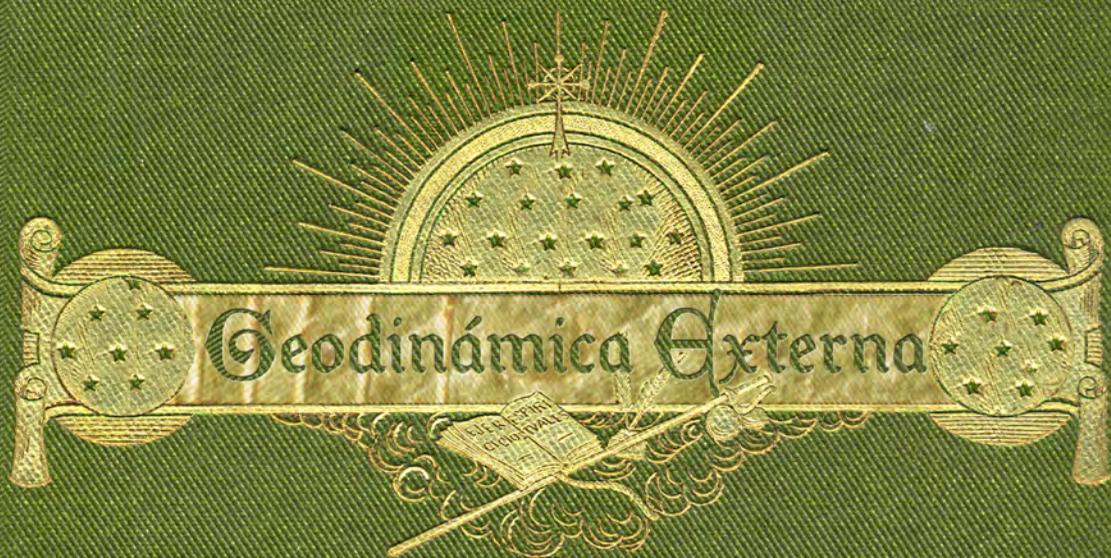


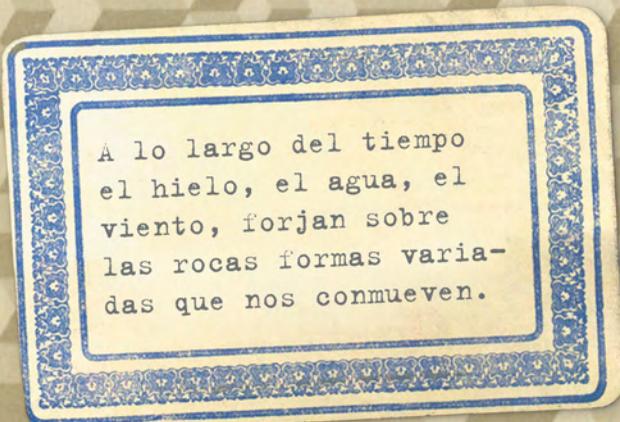


Estudiando tales interacciones, los geofísicos y los geólogos pueden deducir la composición o el estado de las **capas más profundas**; e, incluso, la **estructura** de los primeros kilómetros bajo la superficie.



# ALBUM





A lo largo del tiempo  
el hielo, el agua, el  
viento, forjan sobre  
las rocas formas varia-  
das que nos conmueven.

Sorata

Illimani

Chimborazo

# Geodinámica Externa

UNA GUÍA PARA EL ESTUDIANTE.

7<sup>a</sup> OLIMPIADA ESPAÑOLA DE GEOLOGÍA. M.<sup>a</sup> Asunción SORIANO

Cayamba

Antisana

Popocatepetl

Vn. Arequipa

Orizaba

And. Potosí

Nevadita



«ERA CASI mediodía cuando llegué a la cima. PERMANECÍ un rato sentado en la roca que dominaba aquel mar de hielo.

LA NEBLINA lo envolvía, al igual que a los montes circundantes.

DE PRONTO, una brisa disipó las nubes y descendí al glaciar. La superficie es muy irregular, levantándose y hundiéndose como las olas de un mar tormentoso, y está surcada por profundas grietas. ESTE CAMPO de hielo tiene casi una legua de anchura, y tardé cerca de dos horas en atravesarlo. [...] El mar, o mejor dicho:

el inmenso río de hielo, serpenteaba por entre sus circundantes montañas, cuyas altivas cimas dominaban el grandioso abismo.»

104. Moles prodigiosas de la superficie terrestre.

Mary W. SHELLEY: *Frankenstein o el Moderno Prometeo*, Lackington, Hughes, Harding, Mavor & Jones, Gradifco 1818.

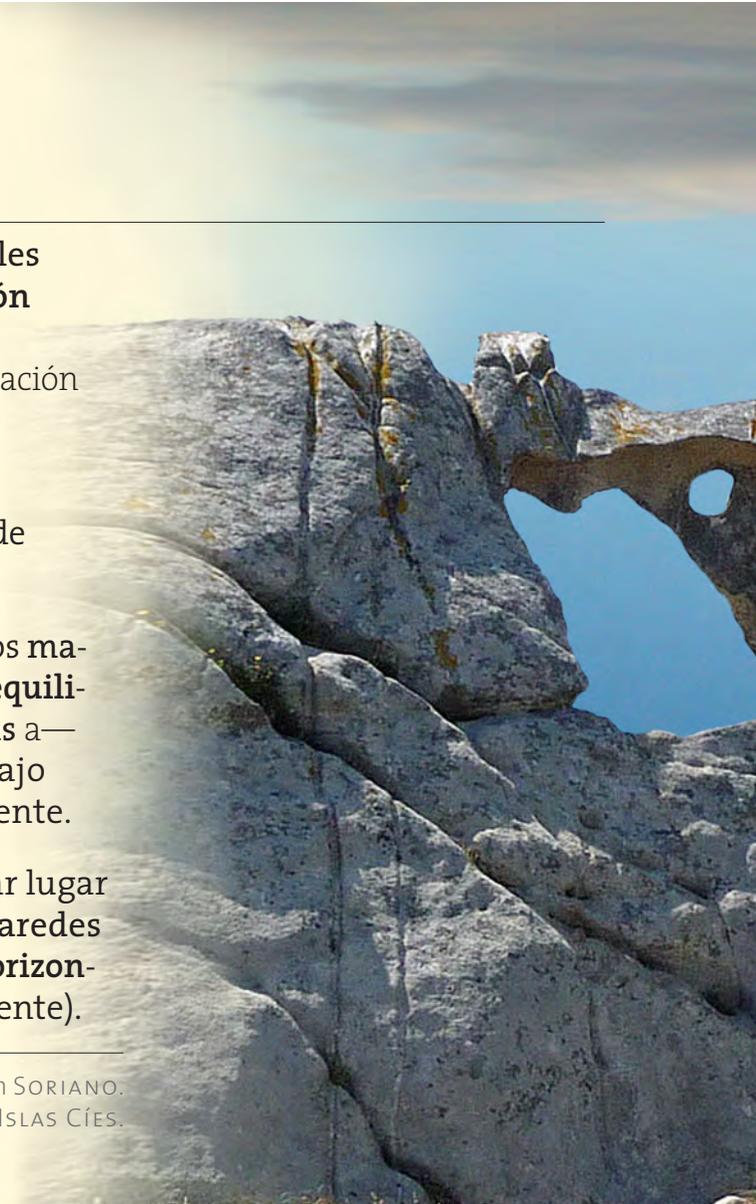
## I. TAFONIS Y GNAMMAS

Durante la **meteorización**, los materiales que hay en la **superficie** sufren la **acción** de **procesos mecánicos** —que causan su **fragmentación**— y **químicos** —la alteración de su composición **mineralógica**—.

Su **acción** es **muy importante**: ya que constituye el paso previo a los procesos de **erosión**, **transporte** y **sedimentación**.

Se produce como una **respuesta** de dichos materiales para alcanzar condiciones más **equilibradas** con las reinantes en —o próximas a— la **superficie terrestre** que aquellas bajo las que fueron **generadas** originalmente.

La **meteorización diferencial** puede dar lugar al desarrollo de **quedades**: tanto en paredes **subverticales** como en superficies **subhorizontales** (tafonis y gnammas, respectivamente).





170



El **agua** —en sus diferentes estados— es un agente fundamental en la **meteorización, erosión, transporte y sedimentación** de los materiales en la Tierra.

Si la **precipitación** se produce en forma de nieve y su **acumulación** supera a la fusión se podrán generar **glaciares**, siempre que las condiciones climáticas sean apropiadas.

La **nieve** se transforma en **hielo** por pérdida de aire y consiguiente aumento de **densidad**. Su acción es importante en zonas de elevada **latitud** o **altitud**.

En estas últimas, las acumulaciones de **hielo** suelen estar restringidas por la topografía formando, entre otros, **glaciares de valle** de tipo **alpino**.

En la superficie del hielo se desarrollan *crevasses* (grietas) a causa de los esfuerzos de **tensión** producidos por la diferente **velocidad** en el movimiento del **hielo**.

En la superficie del glaciar puede haber materiales **detríticos** arrancados por el hielo o procedentes de las vertientes.

### III. ANTIGUO VALLE GLACIAR

---

La **abrasión** y el **arranque** de **partículas** son algunos de los **mecanismos erosivos** que ejerce el **hielo**.

Ambos factores provocan el desarrollo de **modelados** muy variados a distintas **escalas**.

Cuando el **hielo** que cubría una **zona** desaparece, es posible ver el alcance de dicha **erosión**.

En el caso de los **antiguos glaciares** de **valle**, da lugar a una topografía con **paredes** de elevada pendiente, **fondos planos** y una **profundidad** de varios cientos de metros (morfología en U).

---

107. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO.  
Antiguo valle glaciar.  
Localización: ALPES ITALIANOS.

173



#### IV. BLOQUE ERRÁTICO

El **hielo** es capaz de transportar **fragmentos rocosos** de tamaño muy variable a lo largo de grandes distancias antes de su **sedimentación**.

Cuando **éstos** presentan grandes dimensiones se les da el nombre de **bloques erráticos**.

En ellos la **litología** es —por lo general— **distinta** a la del **material** sobre el que se encuentran.

Su **ubicación actual** puede estar incluso a **cientos de kilómetros** de su área fuente.



108. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO.  
Bloque errático.  
Localización: SUIZA.

109. Documentación del bloque  
en el s. XIX, SB-AC-LIEWK.



175



176



## V. CÁRCAVAS Y PIPING

El agua de fusión glaciaria, la precipitación directa y los manantiales producen la circulación superficial del agua.

Su acción erosiva, de transporte y sedimentación es muy importante, pues da lugar a gran parte del paisaje actual.

En la **escorrentía** se produce una clara jerarquización. El agua que fluye por las laderas se concentra formando **regueros** y **barrancos**.

Si el ambiente es **árido** y la litología **lábil**, la **erosión** es muy intensa y la densidad de **drenaje** muy elevada, formando **cárcavas**.

Frecuentemente, además, observamos **procesos de piping** —movilización de **partículas detríticas** transportadas en **suspensión** por el agua a través de **conductos subsuperficiales**—.



111.

110. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO.

Cárcavas y *piping*. Localización: PETRIFIED FOREST, EE. UU.

## VI. CURSO MEANDRIFORME

Cuando los cursos fluviales alcanzan **mayor** entidad sus canales nos ofrecen diferentes morfologías: dependiendo de la **cantidad** de **caudal**, **carga**, tamaño de los **materiales**, **pendiente**, *Et*c. que tengan.

Los **cursos meandriformes** se caracterizan por su alta **sinuosidad** —relación entre la **longitud** del canal y la del valle—.

En la **zona interna** de los meandros domina la **sedimentación**, mientras que en la **externa** lo hace la erosión.

Con frecuencia dichos **meandros** pueden ser total o parcialmente **cortados**: formando meandros abandonados que, con el tiempo, perderán **totalmente** la **conexión** con el cauce principal.





## VII. CASCADA

---

La energía de un río varía a lo largo de su **curso**, siendo más **elevada** en los tramos **altos** que en los **bajos**.

Este hecho condiciona que el **perfil longitudinal** tenga una forma cóncava.

**No** obstante, en ocasiones se observan **irregularidades** en el perfil; y algunas **zonas** presentan un gradiente muy **elevado**.

De esta manera se forman los **rápidos** y las **cascadas**.

---

113. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO.  
Cascada. Localización: RÍO YELLOWSTONE, EE. UU.





## VIII. TERRAZAS FLUVIALES

---

A lo largo del curso de los **ríos** se observan unos **rellanos** que están separados por un **escarpe** (terrazas fluviales).

Son antiguas llanuras de **inundación** que —como consecuencia de la erosión vertical del **cauce**— quedan **abandonadas**; el río no puede **inundarlas** de nuevo; ni siquiera en los periodos de **avenidas**.

Estos **hechos** pueden repetirse a lo largo del **tiempo** (por variaciones del nivel de **base**, de la energía del **flujo**, de la carga transportada, &c.) y generar diversos **niveles** de **terrazza**, como los que en la imagen se muestran señalados en color **rojo**.

---

114. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO.  
Terrazas fluviales.  
Localización: Río CINCA, Huesca.



El **viento** es un agente exógeno más débil que el **agua** o el **hielo**; si bien cobra **gran importancia** en zonas **áridas**.

Su capacidad de **transporte** se limita a **partículas** del tamaño de un grano de **arena** o inferior a éste.

Buena parte de tales **partículas** son movilizadas en **saltación**. Cuando cesa la **energía** del **viento**, se **sedimentan**: dando lugar a diversas acumulaciones **eólicas**. De entre ellas, las **dunas** son —posiblemente— las formas más **significativas**.

En la ladera de **barlovento** se produce **dominio** de la **erosión**, mientras que en la de **sotavento** —a causa de la menor velocidad del **viento**— hay un **dominio** de la **acumulación**.



---

115. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO.  
Duna. Localización: WHITE SANDS, EE. UU.

**X. ACANTILADO**

Las zonas **litorales** son áreas muy dinámicas, pues están sometidas a la acción del **oleaje**, las **mareas** y las **corrientes litorales**.

La **morfología** que se desarrolla en el **litoral** es **variada**. La condicionan el **tipo de rocas** y la **intensidad de la acción de los agentes** que hemos mencionado.

Si **dominan las formas de erosión**, se producen los **acantilados**. En ellos impera, sobre todo, la **acción erosiva del oleaje** contra la **base de las rocas**.

Esa **socavación** provoca la **caída** de la **parte superior del acantilado** y su **retroceso gradual**.

187



188



## XI. PLAYA MAREAL

Cuando en las zonas **litorales** domina la acumulación, se desarrollan **playas** integradas por partículas de tamaños diversos.

Un **factor** importante es que esos **materiales** son removidos con frecuencia por **olas, mareas** y **corrientes**.

En aquellas cuya oscilación **mareal** es elevada, durante la **bajamar** se pueden ver **barras, surcos** y formas **menores** debidas a la acción del **oleaje**: tales como *ripples* (rizaduras).

190



## XII. GLACIS

---

Las áreas de **pedemonte** enlazan las **zonas elevadas** (donde domina la erosión) con las **bajas** (transporte y sedimentación).

Los **glacis** o **pedimentos** se sitúan al pie de relieves y constituyen **suaves rampas** con procesos de erosión-sedimentación.

Esas superficies pueden —o no— estar cubiertas por materiales **detríticos**.

---

118. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO.  
Glacis. Localización: TUCSON, EE. UU.



En el **karst** el proceso dominante es la **disolución** por el **agua** que afecta a distintos materiales: **carbonatos, sulfatos, cloruros, &c.**

119. Fotografías: M<sup>a</sup> A. SORIANO.

(Imagen 119a) Karst. Lapiaz en yesos.  
Localización: ZARAGOZA.



En la superficie se observan diversos **modelados**. Unos son **lapiaces** con morfología variada y **dolinas** con forma en planta redondeada, en cuya **génesis** —ocasionalmente—, además de la **disolución**, pueden intervenir otros **procesos**: como el **colapso**.

(Imagen 119b) Karst. Lapiaz en carbonatos.  
Localización: PENÍNSULA BRUCE, Canadá.



En las áreas **kársticas** influye decisivamente el **drenaje subterráneo**. Este hecho condiciona el desarrollo de **galerías** y **conductos** de muy diverso tamaño, donde se pueden encontrar **depósitos** tanto **clásticos** como de **precipitación química**.

(Imagen 119e) Karst.  
Localización: SIMA DE SAN PEDRO, Teruel.



Entre estos últimos destacan las **estalactitas** y **estalagmitas**.

Cuando ambas confluyen forman **columnas**: como puede verse en la imagen inferior derecha.

(Imagen 119d) Karst.  
Localización: CUEVA DE NERJA, Málaga.



194



## XIV. CRECIDAS

---

En los **cursos fluviales** se producen periodos de **crecidas** en los que los caudales son anormalmente **altos**.

Generalmente, tienen lugar tras **intensas precipitaciones** o por la rápida fusión de la **nieve** acumulada en la zona de cabecera.

Cuando en las llanuras de **inundación** de los ríos interfieren actividades humanas, se producen **graves pérdidas**: como en el caso del **Ebro** durante el invierno de 2015.

---

120. Fotografía: Andrés Pocoví.  
Crecidas. Localización: RÍO EBRO, Zaragoza.

# 196

## XV. RIESGO POR KARSTIFICACIÓN

---

Las **dolinas** son una manifestación superficial de la **disolución** que se produce en profundidad.

Por tanto, aunque se **rellenen** y luego se **urbanice** la zona afectada por estos **procesos**, la actividad de la disolución continuará a lo largo del **tiempo**.

Con frecuencia, transcurridos unos **años**, se observan **daños** en los **viales**, **edificios** y **obras lineales** de esas áreas karstificadas.

Aunque también las zonas **agrícolas** se ven afectadas por este proceso, en ellas las **pérdidas económicas** **no** son tan elevadas como en las anteriores.



198



**XVI. RIESGO POR DESLIZAMIENTOS**

---

Las **laderas** son componentes fundamentales del **relieve**.

Como consecuencia de la **acción** de la **gravedad**, los materiales que las integran pueden desplazarse **vertiente abajo**, produciendo —entre otros efectos— deslizamientos como el de la imagen.

Es frecuente que las elevadas **precipitaciones**, los **terremotos** y la **deforestación** actúen como factores desencadenantes.

En el ejemplo de la **fotografía**, el **deslizamiento** provocó un represamiento del **río**.

Casi **dos años** más tarde, la **presa** se rompió: causando la **destrucción del valle** a lo largo de varias **decenas** de kilómetros.

---

122. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO.  
Riesgo por deslizamientos.  
Localización: GROS VENTRE, EE. UU.



**ANEXO. ÍNDICE DE LÁMINAS**

---

6	Lámina 1. Athanasius KIRCHER: ilustración de pirofilacios, del <i>China monumentis illustrata</i> .
8	Lámina 2. Instrumentos de medición. Archivo gráfico del Área de Cristalografía y Mineralografía (en adelante, <b>AGACM</b> ).
13	Lámina 3. Erupción volcánica según el <i>Mundus Subterraneus</i> de Athanasius KIRCHER, SJ. Joannes Jansson, Amsterdam 1665.
14-15	Lámina 4. Materia cristalina. Fotografía: M. <sup>a</sup> José MAYAYO y A. YUSTE.
16	Lámina 5. Cristal. Fotografía: M. <sup>a</sup> J. MAYAYO y A. YUSTE.
17	Lámina 6. Red cristalina. Fotografía: M. <sup>a</sup> J. MAYAYO.
18-19	Lámina 7. Polimorfismo. Fotografía: M. <sup>a</sup> J. MAYAYO y A. YUSTE.
20-21	Lámina 8. Sistemas cristalinos. Fotografía: M. <sup>a</sup> J. MAYAYO y A. YUSTE.
22	Lámina 9. Mineral. Fotografía: M. <sup>a</sup> J. MAYAYO y A. YUSTE.
23	Lámina 10. Mineralogía determinativa. Fotografía: M. <sup>a</sup> J. MAYAYO y A. YUSTE.
24-25	Lámina 11. Exfoliación. Fotografía: M. <sup>a</sup> J. MAYAYO y A. YUSTE.
26-27	Lámina 12. Hábito. Fotografía: M. <sup>a</sup> J. MAYAYO y A. YUSTE.
28	Lámina 13. Dureza Mohs. Fotografía: M. <sup>a</sup> J. MAYAYO y A. YUSTE.
29	Lámina 14. Raya. Fotografía: Ester MATEO y M. <sup>a</sup> J. MAYAYO.
30-31	Lámina 15. Clasificación de los minerales. Fotografía: M. <sup>a</sup> J. MAYAYO y A. YUSTE.

- 32-33** Lámina 16. Mineralogía económica. Fotografía: M.<sup>a</sup> J. MAYAYO y A. YUSTE.
- 34-35** Lámina 17. Fotografía: Isabel FANLO.  
Grabados, Giorgio AGRICOLA: *De Re Metallica Libri XII*, Basilea 1556.
- 36-37** Lámina 18. Mineralogía ambiental. Fotografía: A. YUSTE.
- 41** Lámina 19. Estructuras maravillosas. **AGACM**.
- 42** Lámina 20. ¡No era roca! Sino un portentoso monstruo marino.  
Aguafuerte anepigráfico sobre las peregrinaciones milagrosas de S. Brandán;  
proporcionado por nuestro colaborador Martín-Oleg PYANTIN.
- 43** Lámina 21. Rocas plutónicas. Fotografía: Enrique ARRANZ.  
Localización: S´AGARÓ (Costa Brava, Gerona).
- 44** Lámina 22. Disyunción columnar. Fotografías: E. ARRANZ.  
Localización **22a**: CASTELFULLIT de la ROCA (Gerona).  
Localización **22b**: SANT JOAN de les FONTS (Gerona).
- 45**
- 46** Lámina 23. Diques y sills. Fotografías: E. ARRANZ.  
Localización **23a**: AIGUABLAVA (Gerona).  
Localización **23b**: AIGUABLAVA (Gerona).
- 47**
- 48** Lámina 24. Enclaves. Fotografías: E. ARRANZ.  
Localización **24a**: VILLAMAYOR de CALATRAVA (Ciudad Real).  
Localización **24b**: AIGUABLAVA (Costa Brava, Gerona).
- 49**
- 50-51** Lámina 25. Vulcanismo explosivo. Fotografías: E. ARRANZ.  
Localizaciones **25a y b**: ALMODÓVAR del CAMPO, Campo de Calatrava (Ciudad Real).
- 52-53** Lámina 26. Rocas metamórficas. Fotografía: E. ARRANZ.  
Localización: CABANILLAS de la SIERRA (Madrid).

- 54-55 Lámina 27. Pizarrosidad. Fotografía: J. MANDADO.  
Localización: SIERRA de ALGAIÉN (Zaragoza).
- 56-57 Lámina 28. Rocas sedimentarias. Fotografía: J. MANDADO.  
Localización: FUENDETODOS (Zaragoza).
- 58-59 Lámina 29. Rocas evaporíticas. Fotografía: J. MANDADO.  
Localización: MEDIANA de ARAGÓN (Zaragoza).
- 60-61 Lámina 30. Precipitación de sales. Fotografía: J. MANDADO.  
Localización: REMOLINOS (Zaragoza).
- 62-63 Lámina 31. Cristal tolva. Fotografía: J. MANDADO. Localización: REMOLINOS (Zaragoza).
- 64-65 Lámina 32. Rocas silíceas. Fotografía: J. MANDADO. Localización: CALATAYUD (Zaragoza).
- 66-67 Lámina 33. Nódulos diagenéticos.  
Fotografía: J. MANDADO. Localización: TABUENCA (Zaragoza).
- 68-69 Lámina 34. Meteorización.  
34a. Lehm granítico. Fotografía: Javier GÓMEZ. Localización: PUIGCERDÀ (Gerona).  
34b. Descamación bolar. Fotografía: E. ARRANZ.  
Localización: VILLAMAYOR de CALATRAVA (Ciudad Real).
- 70 Lámina 35. Geoquímica. Fotografía: J. MANDADO..
- 74-75 Lámina 36. Vistas de las villas de Ibi y de Ares del Maestre. CAVANILLES, Antonio Joseph:  
*Observaciones sobre la Historia Natural, Geografía, Agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia*. Madrid 1795-1797.
- 76 Lámina 37. Plegamientos. **AGACM**.
- 77 Lámina 38. Estratos. Fotografía: Ana Rosa SORIA, Arantxa LUZÓN y Carlos LIESA.

- 78-79 Lámina 39. Sección o serie estratigráfica. Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 80-81 Lámina 40. Representación de secciones estratigráficas.  
Gráfico y Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 82-83 Lámina 41 (a, b, c y d). Discontinuidad estratigráfica.  
Gráficos: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 82-83 Lámina 42. Estratos, del *Systematischer Bilder-Atlas zum Conversations-Lexikon, Ikonographische Encyklopädie der Wissenschaften und Künste* (en adelante, **SB-AC-LIEWK**), Brockhaus, Leipzig 1844.
- 84-85 Lámina 43. Estructuras sedimentarias. Fotografías: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 86 Lámina 44. Ripples simétricos. Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 87 Lámina 45. Ripples de interferencia. Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 88 Lámina 46. Granoselección. Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 89 Lámina 47. Estratificación cruzada. Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 90 Lámina 48. Crescent (*scour mark*) en superficie con *ripples* y huellas de ave.  
Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 91 Lámina 49. Flute. Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 92 Lámina 50. Grietas de desecación. Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 93 Lámina 51. Estructuras de carga. Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 94 Lámina 52. Bioconstrucción de ostréidos. Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 95 Lámina 53. Huellas de raíces. Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.

- 96 Lámina 54. Concreciones. Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 97 Lámina 55. Estilolitos. Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 98-99 Lámina 56. Facies de canal (arenas y gravas). Fotografía: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 100-101 Lámina 57. Modelos de ambiente sedimentario.  
Gráficos y fotografías: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 102-103 Lámina 58. Unidades estratigráficas. Gráficos: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 104-105 Lámina 59. Mapa geológico y leyenda. Gráficos: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 107 Lámina 60. Corte geológico. Gráficos: A. R. SORIA, A. LUZÓN y C. LIESA.
- 110-111 Lámina 61. Animal de dimensiones colosales. **SB-AC-LIEWK**.
- 112 Lámina 62. Refectorio, o más bien *buffet* libre antediluviano. **SB-AC-LIEWK**.
- 113 Lámina 63. Briozoo. *Chasmatopora hypnoides*.  
Ordovícico Superior (LUESMA, Zaragoza). Fotografía: Zarela HERRERA.
- 114-115 Lámina 64. Braquiópodo. *Nicolella actoniæ*. Ordovícico Superior (PONT DE BAR, Lérida).  
Fotografía: Z. HERRERA.
- 116-117 Lámina 65. Nódulo fosilífero calcáreo. Devónico (ANTI-ATLAS, Marruecos).  
Fotografía: Z. HERRERA.
- 118-119 Lámina 66. Corales. *Hexagonaria* sp. Devónico . (ANTI-ATLAS, Marruecos).  
Fotografía: Enrique VILLAS.
- 120-121 Lámina 67. Graptolitos. *Araneograptus* sp. Ordovícico (ANTI-ATLAS, Marruecos).  
Fotografía: E. VILLAS.
- 122-123 Lámina 68. Caliza bioclástica. Silúrico. (ANTICOSTI, Canadá). Fotografía: E. VILLAS.

- 123 Lámina 69. Esqueleto ancestral. **AGACM**.
- 124 Lámina 70. Fósil. **AGACM**.
- 124-125 Lámina 71. Planta pteridosperma. *Callipteridium rochei*. Pérmico. (FOMBUENA, Zaragoza). Fotografía: Z. HERRERA.
- 126-127 Lámina 72. Ammonites. *Hammatoceras insigne*. Jurásico. (ALMONACID DE LA CUBA, Zaragoza). Fotografía: E. VILLAS.
- 127 Lámina 73. Belemnites. *Mesohibolites* sp. Jurásico. (CORDILLERA IBÉRICA, Zaragoza). Fotografía: Z. HERRERA.
- 128 Lámina 74. Foraminífero. *Nummulites* sp. Eoceno. (PIRINEO, Huesca). Fotografía: Z. HERRERA.
- 130 Lámina 75. Dinosaurio terópodo espinosáurido. Cretácico. (JOSA, Teruel). Fotografía: Z. HERRERA.
- 130-131 Lámina 76. Dinosaurio reptante. **AGACM**.
- 131 Lámina 77. Mamífero equido. *Hipparion* sp. Mioceno. (TERUEL). Fotografía: Z. HERRERA.
- 132 Lámina 78. Mamífero bóvido. *Gazella borbonica*. Pleistoceno inferior. (LA PUEBLA DE VALVERDE, Teruel). Fotografía: Z. HERRERA.
- 132-133 Lámina 79. Mamífero bóvido. *Bos primigenius*. Pleistoceno superior. (ARIÑO, Teruel). Fotografía: Z. HERRERA.

- 137 Lámina 80. Sentencia caligráfica. Tinta sobre papel, Monasterio de Ryoanji, KYOTO.
- 138 Lámina 81. Un ejemplo de representación del relieve en el s. XVIII. Esta imagen y sus referencias han sido tomadas de CAPEL, Horacio.: *La física sagrada. Creencias religiosas y teorías científicas en los orígenes de la geomorfología española*. Eds. del Serbal, Barcelona 1985. Se reproducen aquí con fines educativos: empleando de la publicación original menos del porcentaje máximo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual.
- 139 Lámina 82. Foliación plegada por pliegues de tipo kink.  
Fotografía: Antonio CASAS. Localización: CÓRCEGA.
- 140-141 Lámina 83. Estructuras frágiles. Fotografías: A. CASAS.  
83a. Diaclasas. Localización: CORDILLERA del ATLAS (Marruecos).  
141 83b. Grietas de extensión. Localización: RICLA (Zaragoza).
- 142 Lámina 84. Foliación de plano axial. Fotografía: A. CASAS.  
Localización: VALLE de ORDESA (Huesca).
- 143 Lámina 85. Colas de precipitación asociadas al cristal de pirita.  
Fotografía: Andrés GIL. Localización: SIERRA de CAMEROS (La Rioja).
- 144 Lámina 86. Regímenes tectónicos. Fotografía: A. CASAS.  
Localización: Pirineos, VALLE del ARAGÓN (Huesca).
- 144-145 Lámina 87. Regímenes tectónicos. Fotografía: A. CASAS.  
Localización: Cuenca Cretácica del MAESTRAZGO (Teruel).
- 146-147 Lámina 88. Plegamientos. Fotografía: A. CASAS. Localización: ALTO ATLAS (Marruecos).
- 148-149 Lámina 89. Jurásico plegado sobre conglomerados Cenozoicos horizontales.  
Fotografía: A. CASAS. Localización: CERRO PEÑALBA (La Rioja).
- 150 Lámina 90. Fallas normales. Fotografía: A. CASAS.  
Localización: CUENCA del MAESTRAZGO (Teruel).

- 151 Lámina 91. Fallas normales. Fotografía: A. CASAS.  
Localización: CUENCA de CAMEROS (La Rioja).
- 152-153 Lámina 92. Falla. Fotografía: Marcos MARCÉN.  
Localización: RÍO GRÍO, Cordillera Ibérica (Zaragoza).
- 154-155 Lámina 93. Diapiro de SALINAS de ORO (Pamplona). Gráfico: Andrés Pocoví.
- 156 Lámina 94. Sismita. Fotografía: Pedro ALFARO. Localización: CORDILLERA BÉTICA (Granada).
- 156-157 Lámina 95. Pliegues de slump.  
Fotografía: Inmaculada GIL. Localización: VALLE de AÍSA (Huesca).
- 158 Lámina 96. Modelo del campo magnético terrestre. Gráfico: Cristina GARCÍA LASANTA.
- 158-159 Lámina 97. Muestreo de campo. Fotografía: A. CASAS.
- 159 Lámina 98. Muestras para estudios paleomagnéticos. Fotografía: C. G.<sup>A</sup> LASANTA.
- 160 Lámina 99. Modelo analógico sometido a compresión. Fotografía: Pablo SANTOLARIA.
- 161 Lámina 100. Corte de un modelo analógico. Fotografía: P. SANTOLARIA.
- 162 Lámina 101. Generación y registro de ondas sísmicas inducidas. Fotografía: A. CASAS.
- 162-163 Lámina 102. Perfil sísmico. Gráfico: P. SANTOLARIA.
- 162-163 Lámina 103. Estructuras interpretadas a partir del mismo. Gráfico: P. SANTOLARIA.
- 167 Lámina 104. Moles prodigiosas de la superficie terrestre. **SB-AC-LIEWK**.
- 168-169 Lámina 105. Tafonis y gnammas. Fotografía: M<sup>a</sup> Asunción SORIANO. Localización: ISLAS CÍES.
- 170-171 Lámina 106. *La mer de glace*. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO.  
Localización: ALPES FRANCESES.

- 172-173** Lámina 107. Antiguo valle glaciar. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO.  
Localización: ALPES ITALIANOS.
- 174-175** Lámina 108. Bloque errático. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO. Localización: SUIZA.
- 174** Lámina 109. Documentación del bloque en el s. XIX, **SB-AC-LIEWK**.
- 176-177** Lámina 110. Cárcavas y *piping*. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO.  
Localización: PETRIFIED FOREST, EE. UU.
- 177** Lámina 111. Rocas ruñiformes. **AGACM**.
- 178-179** Lámina 112. Curso meandriforme. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO. Localización: ZARAGOZA.
- 180-181** Lámina 113. Cascada. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO. Localización: RÍO YELLOWSTONE, EE. UU.
- 182-183** Lámina 114. Terrazas fluviales. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO. Localización: RÍO CINCA, Huesca.
- 184-185** Lámina 115. Duna. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO. Localización: WHITE SANDS, EE. UU.
- 186-187** Lámina 116. Acantilado. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO. Localización: MENORCA.
- 188-189** Lámina 117. Playa mareal. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO.  
Localización: PLAYA DE CORRUBEDO, La Coruña.
- 190-191** Lámina 118. Glacis. Fotografía: M<sup>a</sup> A. SORIANO. Localización: TUCSON, EE. UU.
- 192-193** Conjunto de láminas 119. Fotografías: M<sup>a</sup> A. SORIANO.  
(Imagen 119a) Karst. Lapiaz en yesos. Localización: ZARAGOZA.  
(Imagen 119b) Karst. Lapiaz en carbonatos. Localización:  
PENÍNSULA BRUCE, Canadá.  
(Imagen 119c) Karst. Localización: SIMA DE SAN PEDRO, Teruel.  
(Imagen 119d) Karst. Localización: CUEVA DE NERJA, Málaga.



## COLOFÓN Y AGRADECIMIENTOS

Las personas de ciencias no somos tan ignorantes como suele creerse. Y si *kolofōn* [κορφών] es la **cima**, *koloōnē* [κολοώνη] la **colina**, el **túmulo**; del masc. *kolōnós* [κολωνός], la **altura**; de donde el lat. *collis*, *columna*, el grecismo vale para designar la nota final de un libro en que consta cuándo y dónde se acabó de timbrar.

registramos aquí que ello tuvo lugar en la víspera del Domingo de Ramos de 2016, al cuidado de los talleres zaragozanos de GORFISA en el barrio de nuestra Universidad. De igual manera, los editores y el equipo redactor aseguramos que nuestro corazoncito académico registra un **seísmo** (*seiō*, σειῶ, I tr., *séseismai*, σέσεισμαι, pf., sacudir, agitar || temblar, conmovirse || menear la cola) de **gratitud**, *kharídsomai*, χαρίζομαι, I med. (*khairō*, χαίρω, conceder una gracia || dar con gusto || ser agradable, agradecido, ser querido) a causa del **generoso comportamiento** de una serie de personas e instituciones.

La primera de ellas es TXUS MORENO FRANCO, cuyo equipo de *bibliote-cómanas* redactó una competente ficha catalográfica para esta obra. También nos orientó en los procelosos trámites administrativos inherentes a su publicación. Es decir: en la **Oficina** —actualmente privatizada— del I.S.B.N. y en el Depósito Legal.

El **DECANATO** de esta Facultad, en segundo lugar, acogió con interés y benevolencia su edición: lo cual también es muy de agradecer.



El KDM P.<sup>rof</sup> D.<sup>r</sup> Julio GARCÍA LLOVERA puso a nuestra disposición su equipamiento técnico de última generación ¡Macintosh!.

Desde la Escuela de Ingeniería y Arquitectura, el EQUIPO DOCENTE DE ELECTROMAGNETISMO, UZ, prestó la necesaria asistencia para una correcta realización del trabajo. No es moco de pavo.

Gracias a María ANDRÉS RODRIGO, Beatriz AZANZA ASENSIO y José Ignacio CANUDO SANAGUSTÍN, por sus observaciones sobre los textos de Paleontología de vertebrados y la autorización para fotografiar ejemplares fósiles en estudio que están bajo su custodia.

Y gracias, por supuesto, a la agrupación socio-educativa 'âl-May'ârî-Valmadrid por su arduo y desinteresado trabajo de edición artística desde el taller de literatura experimental: sin el cual —seguro— este libro no sería ni de lejos como es.

«Así es mi vida,  
piedra,  
como tú. Como tú,  
piedra pequeña;  
como tú,  
piedra ligera;  
como tú,  
canto que ruedas  
por las calzadas  
y por las veredas;  
como tú,  
guijarro humilde de las/  
carreteras;  
como tú,  
que en días de tormenta  
te hundes  
en el cieno de la tierra  
y luego  
centelleas  
bajo los cascos  
y bajo las ruedas;  
como tú, que no has

servido  
para ser ni piedra  
de una lonja,  
ni piedra de una  
audiencia,  
ni piedra de un palacio,  
ni piedra de una iglesia;  
como tú,  
piedra aventurera;  
como tú,  
que tal vez estás hecha  
sólo para una honda,  
piedra pequeña  
y ligera...»

León FELIPE: *Como tú...*



