

TEMA 1: A TERRA: ESTRUTURA E MATERIAIS

1. INTRODUCCIÓN

Coa tecnoloxía actual, a humanidade conseguiu facerse unha idea moi ben definida de como é a superficie do planeta que habita. Porén, non é posible saber con igual exactitude como é o interior terrestre, xa que é imposible perforar a grandes profundidades e extraer materiais para poder analízalos, xa que a máxima profundidade acadada pola humanidade escavando foron uns 12 Km, unha cifra moi escasa se a comparamos co radio terrestre de uns 6371 Km.

Con todo, a imposibilidade de acceder ao centro da Terra non significa que non teñamos información sobre o interior terrestre. Dispoñemos de datos obtidos mediante diversos métodos de estudo. Uns baséanse na observación directa das zonas ás que se ten acceso ou dos materiais do interior que chegan á superficie. Outros recollen datos de diversa natureza como o comportamento das ondas sísmicas, a partir dos cales se infiren certas características do interior.

2. MÉTODOS DE ESTUDO DO INTERIOR TERRESTRE

A obtención de datos para interpretar a estrutura interna e composición da Terra realízase por medio de métodos directos e indirectos.

Os métodos indirectos, especialmente o sísmico, permitiron propoñer unha **división dinámica** da Terra baseada na existencia de xeosferas máis ou menos concéntricas (litosfera, mesosfera e endosfera) que presentan interaccións dinámicas, e unha **división xeoquímica** baseada na analoxía de composición (codia, manto e núcleo).

2.1. MÉTODOS DIRECTOS:

Denomínanse así aqueles baseados na observación directa dos materiais do planeta. A súa principal limitación é que só informan dunha parte moi superficial do planeta. Son os que seguen:

- **AFLOREMENTOS:** Son lugares onde podemos observar directamente as rochas, debido a que a erosión as deixou ó descuberto, ao eliminar os materiais que as cubrían. Por exemplo, as rochas graníticas sobre as que camiñamos cada día estiveron hai millóns de anos a varios quilómetros de profundidade.
- **VOLCÁNS:** a análise dos produtos expulsados polos volcáns proporciona información valiosa sobre os materiais do interior terrestre. No seu ascenso, os magmas van arrincando fragmentos das rochas que atravesan, e moitas delas chegan ata nós sen fundirse.
- **COMPLEXOS OFIOLÍTICOS:** os complexos ofiolíticos son fragmentos de litosfera oceánica incorporados ás cordilleiras ou oróxeos formados por colisión, de forma que acaban colocados sobre a litosfera continental. En Galicia poden observarse complexos ofiolíticos nas zonas de Cabo Ortegal e Ordes.
- **MINAS SUBTERRÁNEAS E SONDAXES:** as minas son escavacións que se realizan para a extracción

de minerais. A máis profunda é unha mina de ouro en Sudáfrica e alcanza 3,9 km. A esa profundidade a temperatura é de 60°C.

As **sondaxes** son perforacións no subsolo. En 1961 deseñouse o proxecto MOHOLE, que pretendía perforar dende un barco a codia oceánica ata chegar a descontinuidade de Mohorovicic, que a separaba do manto. O proxecto, de capital norteamericano, non se finalizou polo seu elevado custo e as dificultades tecnolóxicas, non obstante realizáronse perforacións moi profundas en diversos lugares da Terra, como a da península de Kola que chegou aos 13 km e tamén tivo que ser abandonada.

As minas e sondaxes proporcionan información sobre a composición da codia e mostran que, **a medida que se penetra no interior terrestre, a temperatura aumenta.**

2.2. MÉTODOS INDIRECTOS:

- **ESTUDO DA DENSIDADE TERRESTRE:** En 1789 Henry Cavendish levou a cabo unha serie de experiencias coas que calculou a masa da Terra. Dado que se coñecía o volume determinou a densidade. Un século máis tarde **Emil Wiechert** refinou os seus traballos e obtivo unha densidade de **5,52 g/cm³**, considerada na actualidade como a **densidade da Terra**.

Como ese valor era o dobre da densidade media das rochas superficiais (2,7 g/cm³) os materiais do interior terrestre debían ser máis densos. Así concluíu que a Terra debía ter un núcleo formado por un material moito máis denso que supuxo que sería o ferro. Posteriores informacións, como a existencia dun campo magnético terrestre e o estado físico en que se encontra unha parte do núcleo, confirmarían a predición de Wiechert.

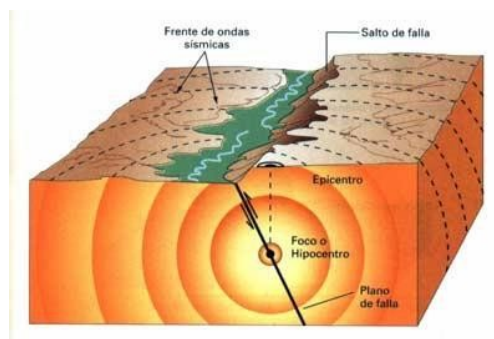
- **MÉTODO GRAVIMÉTRICO:** cando se mide a gravidade en calquera punto da superficie do planeta, o valor que se obtén non coincide co valor teórico. Estas variacións débense a variacións na densidade dos materiais que están por debaixo do punto onde se mide. As anomalías positivas corresponden a valores máis altos dos esperados, e se relacionan coa existencia de materiais de alta densidade. As anomalías negativas corresponde a valores máis baixos do esperado, e se relacionan coa existencia de materiais de menor densidade. Tendo en conta que a codia é menos densa que o manto, as anomalías positivas corresponden a codias moi finas e anomalías negativas a codias moi engrosadas.
- **EXISTENCIA DUN CAMPO MAGNÉTICO:** a Terra posúe un campo magnético, como un imán xigante, cos polos norte e sur magnéticos situados próximos ós polos xeográficos. O planeta funciona coma unha enorme dínamo. O magnetismo terrestre pódese explicar coa existencia de un núcleo interno metálico sólido, inmerso nun núcleo externo líquido, en movemento.
- **A TEMPERATURA DO INTERIOR TERRESTRE:** as minas e sondaxes realizadas permiten comprobar que a temperatura aumenta a medida que se penetra no interior terrestre, é o que se coñece como **gradiente xeotérmico**. O seu valor nas zonas superficiais é, por termo medio,

de 3º C cada 100 m. Este valor non se mantén constante (se fose así a 1000 km de profundidade alcanzaríanse xa 30000 ºC e todas as rochas do manto estarían fundidas) polo que o seu valor se reduce no interior.

A temperatura do interior é un dato indirecto que obtemos da análise do comportamento dos materiais que existen en cada zona. Así, a temperatura do núcleo debe ser suficiente para que os materiais que o compoñen (Fe e Ni) se encontren fundidos no núcleo externo e sólidos no interno. Na parte máis externa do núcleo a temperatura debe estar arredor de 4000º C incrementando de maneira gradual cara ao interior de maneira que no núcleo interno a temperatura estaría arredor dos 5000º C.

- **METEORITOS:** entre as órbitas de Marte e Xúpiter encóntrase o **cinto de asteroides**, integrado por corpos rochosos que non se acabaron de unir para constituír un planeta. Estes materiais son testemuña presencial do nacemento da Terra. Algúns destes obxectos cambian de órbita como consecuencia de perturbacións gravitacionais ou de colisións, e caen no campo de gravidade terrestre. Aqueles que sobreviven ó seu tránsito pola atmosfera e chegan á superficie terrestre son coñecidos como **meteoritos**. O estudo dos meteoritos permite coñecer como era a composición da Terra primitiva e como evolucionou despois.
- **ESTUDO DAS ONDAS SÍSMICAS:** os **terremotos** ou **sismos** son vibracións do terreo xeradas pola liberación brusca de enerxía acumulada nel. Xeralmente orixínanse ao fracturarse grandes masas de rochas que están sometidos a esforzos, ou se, unha vez fracturadas, se produce un novo desprazamento. Estas fracturas do terreo son as **fallas**. A maior parte dos terremotos prodúcese no límite entre dúas placas.

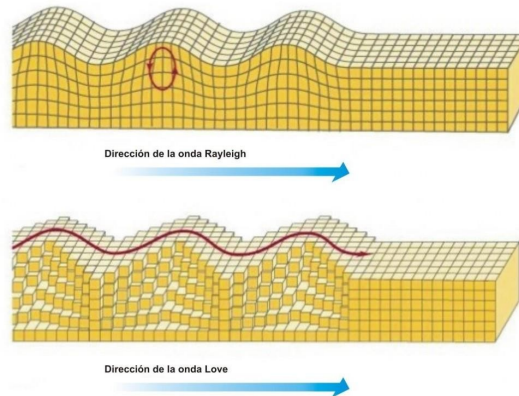
O lugar no que se orixina o terremoto é o **foco sísmico** ou **hipocentro** e o punto da superficie terrestre máis próximo ao foco é o **epicentro**. A vibración xerada no foco sísmico propágase en forma de ondas que van en todas as direccións, son as **ondas sísmicas**.



O método sísmico consiste en estudar a propagación das ondas sísmicas polo interior da Terra, tendo en conta a velocidade á que se moven e os cambios que sofren as súas traxectorias cando pasan dun material a outro con características diferentes. É o método que máis información achega sobre a estrutura e composición do planeta.

Tipos de ondas sísmicas:

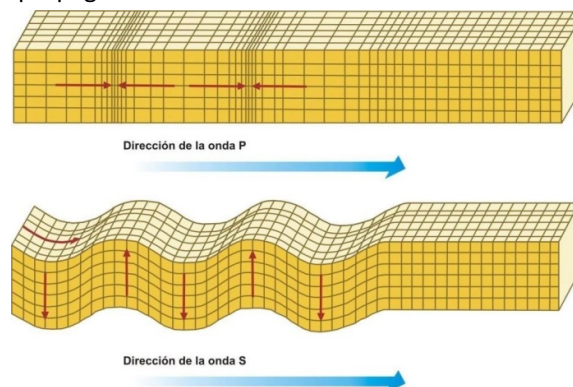
- **Ondas superficiais (Rayleigh e Love):** son as máis lentas. Orixinan os danos en superficie asociados aos sismos. Xéranse cando as ondas internas (**P** e **S**) chegan a superficie do terreo e por esta razón non informan sobre a estrutura do interior terrestre.

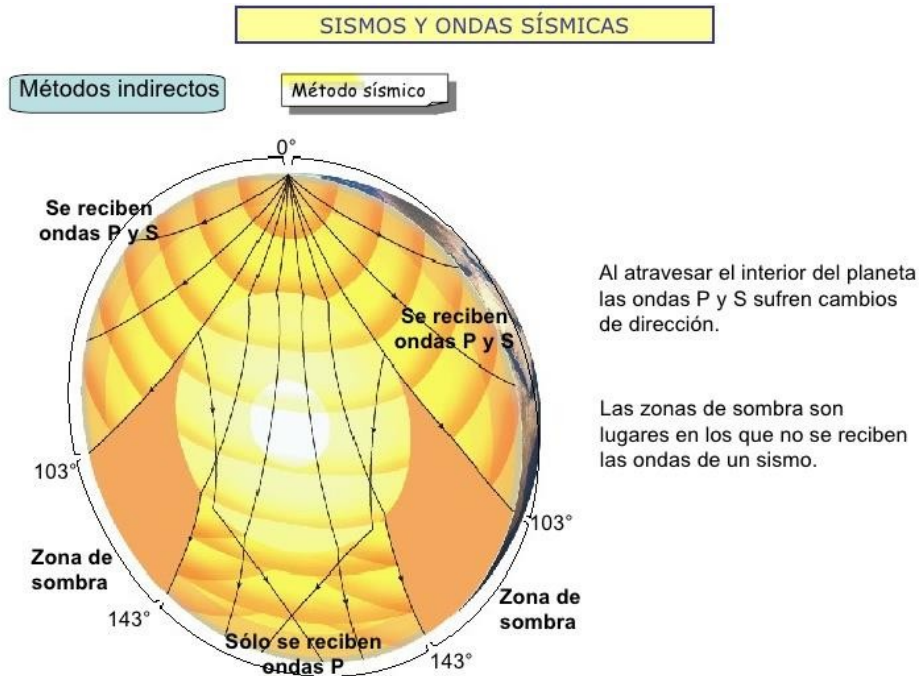


- **Ondas profundas:** a velocidade á que se propagan depende das características dos materiais que atravesan. Intervenven fundamentalmente dous factores:
 - A **composición** dos materiais polos que se propagan
 - O **estado físico** destes materiais.

Se cambian as condicións as ondas refractan (cambian de dirección). En xeral a velocidade das ondas aumenta coa profundidade, polo que estas se curvan ata volver á superficie, onde se rexistran.

- ▶ **Ondas P ou primarias:** reciben este nome porque se desprazan a maior velocidade e chegan en primeiro lugar. Son ondas lonxitudinais, é dicir, as partículas do terreo vibran na dirección de propágación da onda (os materiais comprímense e dilátanse alternativamente). Transmítense tanto por medios sólidos coma líquidos.
- ▶ **Ondas S ou secundarias:** viaxan a menor velocidade ca as P polos materiais sólidos e non se propagan polos líquidos. Son ondas transversais, é dicir, fan vibrar as partículas do terreo nunha dirección perpendicular á da propágación da onda.

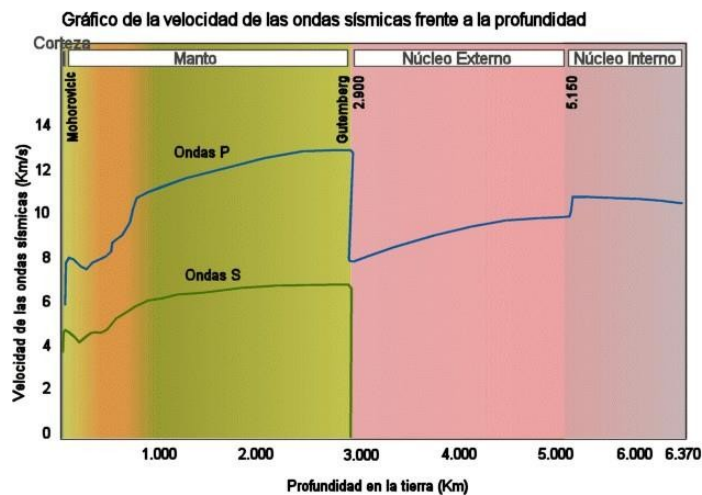




Para rexistrar as ondas sísmicas e medir a magnitude dun terremoto utilízanse os **sismógrafos** que debuxan unhas gráficas chamadas **sismogramas**

3. DESCONTINUIDADES SÍSMICAS

A velocidade das ondas sísmicas no interior terrestre sofre variacións graduais e, en ocasións, cambios bruscos. Estes cambios bruscos na velocidade de propagación denomínanse **descontinuidades sísmicas**.



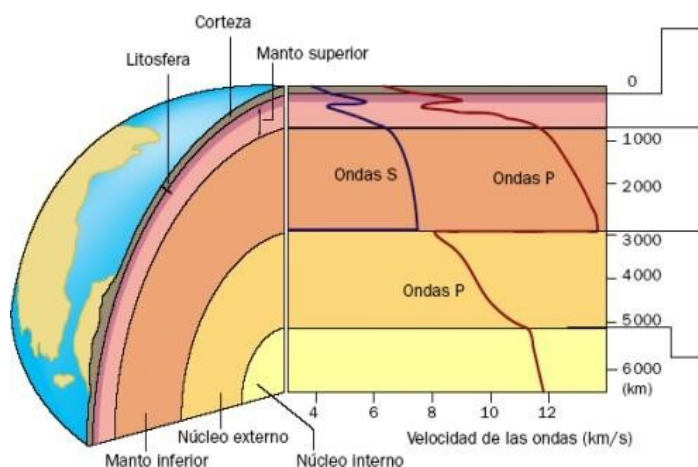
Como a velocidade das ondas depende da composición e temperatura dos materiais polos que viaxan, unha variación brusca indica que nese lugar cambia a composición ou o estado físico dos

materiais terrestres. Isto explica por que as discontinuidades sísmicas se utilizan para dividir en capas o interior da Terra.

Dúas son as discontinuidades principais:

- **Descontinuidade de Mohorovicic ou Moho.** Detectada por **Andrija Mohorovicic** en 1909. Encóntrase a unha profundidade que oscila entre os 25-70 km baixo os continentes e entre 5-10 km nos océanos. Separa a **codia** do **manto**.
- **Descontinuidade de Gutenberg.** Descuberta en 1914 por **Beno Gutenberg**. Encóntrase a 2900 km de profundidade. Nela as ondas P diminúen bruscamente a súa velocidade e as ondas S deixan de propagarse. Dado que as ondas S se propagan polos sólidos pero non polos fluídos, conclúese que a 2900 km de profundidade comeza unha capa continua de material fundido, o núcleo. Esta discontinuidade separa o **manto** do **núcleo**.

Estas dúas discontinuidades permiten establecer as tres capas que tradicionalmente se distinguen no interior terrestre: codia, manto e núcleo.



Determinadas variacións na propagación das ondas permiten diferenciar subcapas dentro do manto e do núcleo:

- **Descontinuidade de Repetti.** Entre os 100 e 800 km de profundidade os incrementos de velocidade das ondas P e S teñen fluctuacións, con algúns descensos e rápidos aumentos. O maior deles prodúcese a 660 km e utilízase para separar o **manto superior** do **manto inferior**.
- **Descontinuidade de Wiechert- Lehmann.** En 1936 a sismóloga Inge Lehmann descubriu que non todo o núcleo é líquido. A 5150 km de profundidade a velocidade das ondas P experimenta un brusco incremento o que se interpreta como resultado dun cambio no estado físico dos materiais do núcleo, que pasan de líquido a sólido. En honor a ela coñécese como discontinuidade de Lehmann e permite diferenciar o **núcleo externo**, fundido, do **núcleo interno**, sólido.

En síntese, as ondas sísmicas mostran unha Terra estruturada en tres capas, codia, manto e núcleo, con diferente composición. A codia e o manto encóntranse en estado sólido, mentres que o núcleo externo está fundido.

4. ESTRUCTURA E COMPOSICIÓN DAXEOSFERA

Os distintos métodos de estudo do interior terrestre proporcionan información sobre a estrutura, composición e dinámica do planeta, e mostran unha Terra cuxas características cambian coa profundidade, e, polo tanto, estruturada en capas aproximadamente concéntricas.

Estas capas pódense diferenciar atendendo a dous criterios:

- ♦ **A súa composición química.** Distínguense así as **unidades xeoquímicas**.
- ♦ **O seu comportamento mecánico.** Distínguense así as **unidades dinámicas**.

4.1. MODELO XEOQUÍMICO

En función da composición química diferéncianse:

- ♦ **CODIA.** É a capa máis externa e delgada da Terra. Esténdese desde a superficie ata a discontinuidade de Mohorovicic. A diferenza doutras zonas terrestres, a codia presenta grandes variacións laterais de grosor e composición. Nela distínguense:

Codia continental: ten entre 25 e 70 km de espesor. É moi heteroxénea e está integrada por rochas pouco densas (2.7 g/cm^3) formadas fundamentalmente por cuarzo, feldespato e micas, sendo o granito a rocha máis representativa.



Na súa metade inferior predominan as rochas metamórficas (**xisto, gneis**) e entre elas sitúanse grandes macizos de granito, e na zona máis superficial abundan os sedimentos e as **rochas sedimentarias**. A idade destas rochas é moi variable (entre 0 e 4000 millóns de anos).

Codia oceánica: é moito máis delgada ca a continental: o seu grosor oscila entre 5 e 10km. E máis homoxénea ca a continental e máis densa (3 g/cm^3) sendo o basalto a rocha máis representativa.

Esta estratificada en tres niveis: unha capa de **sedimentos** superficial, unha capa de basaltos debaixo dela e, por último, unha capa de gabros.



♦ **MANTO.** Está comprendido entre as discontinuidades de Mohorovicic e de Gutenberg. A discontinuidade de Repetti (660 km) divide o manto en **manto superior** e **manto inferior**. O manto esta constituído por peridotita (integrada por olivina e piroxenos). As diferenzas de densidade entre o **manto superior** ($3,3 \text{ g/cm}^3$) e o **manto inferior** ($5,5 \text{ g/cm}^3$) débense aos efectos da presión que obriga a formar minerais con estruturas cristalinas máis densas.

♦ **NÚCLEO.** Encóntrase por debaixo da discontinuidade de Gutenberg. A elevada densidade ($10 - 13 \text{ g/cm}^3$), o seu comportamento ante as ondas sísmicas e o seu papel na creación do campo magnético apoian a hipótese dun núcleo composto maioritariamente por ferro cun 6% de níquel con algún outro elemento que rebaixe a densidade (S, Si) pois senón sería algo superior. Diferénciase un **núcleo externo** fluído e un **núcleo interno** sólido, separados pola discontinuidade de Lehmann.

4.2. MODELO DINÁMICO

Estableceuse en función das características físicas dos materiais, como o seu **estado físico** e o seu **comportamento mecánico**. Diferéncianse as seguintes capas:

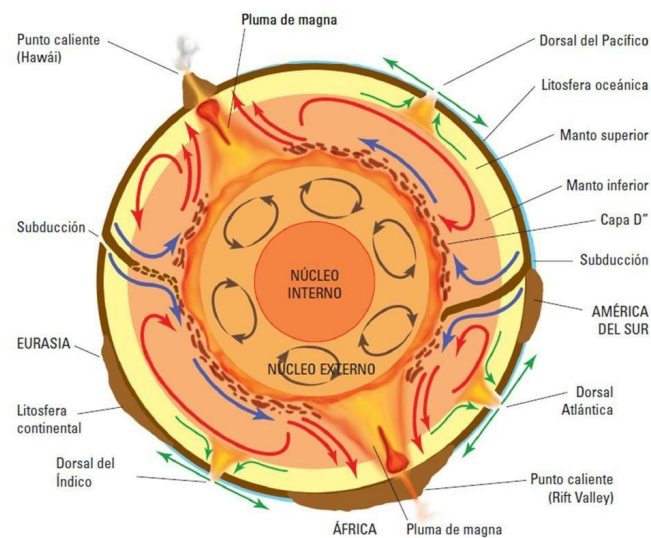
♦ **LITOSFERA.** É a capa máis externa e ríxida. Inclúe a codia e unha parte do manto superior. O seu grosor é variable. A **litosfera continental** é máis grossa (entre 150 e 200 km de espesor) ca **litosfera oceánica** (entre 50 e 100 km de espesor). A litosfera está dividida en fragmentos, as placas litosféricas, móvense sobre o resto do manto.

♦ **MESOSFERA.** Correspóndese co resto do manto. É unha capa que ten un comportamento fluído e unhas correntes de convección lentas. Comprende:

- ❖ **O manto superior sublitosférico.** Abarca desde a base da litosfera ata a discontinuidade de Repetti. É a zona na que a velocidade das ondas sísmicas presenta flutuacións, con descensos e elevacións.
- ❖ **O manto inferior** abarca desde a discontinuidade de Repetti ata a discontinuidade de Gutenberg. Na base do manto limitando co núcleo, encóntrase a **capa D''**. É unha capa irregular e heteroxénea cun grosor que oscila entre 0 e 200 km, integrada por materiais que pola súa maior densidade caeron ao fondo do manto. En contacto co núcleo quéntanse, orixinando **penachos quentes** ou **plumas**, que ascenden ata a litosfera.

◆ **ENDOSFERA.** Corresponde co núcleo.

- ❖ **Núcleo externo.** Situado por debaixo do manto chega ata 5150 km de profundidade. Encóntrase en estado líquido e está axitado por correntes de convección moito máis rápidas ca as do manto e desempeña un papel clave na creación do campo magnético terrestre.
- ❖ **Núcleo interno.** Ten unha composición similar á do núcleo externo. Debido á gran presión existente a esa profundidade atópase en estado sólido, a pesar de que a súa temperatura é maior que a do núcleo externo.

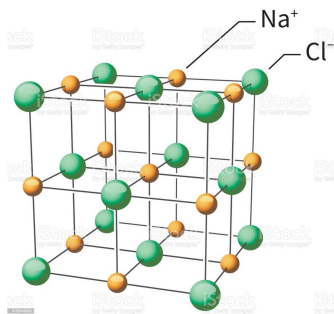


5. MATERIAIS DA TERRA: OS MINERAIS

A codia e o manto están formados por rochas sólidas, aínda que nalgúns casos poidan chegar a fundir formando magmas. Así, sen ter en conta o núcleo metálico, podemos dicir que a xeosfera está formada por rochas, que á súa vez están formadas por minerais. Coma nos seguintes temas imos estudar as rochas, imos quenar motores familiarizándonos cos minerais.

Un mineral defínese como unha substancia natural, sólida, de orixe inorgánica, cunha composición química concreta e unha estrutura interna ordenada. Se damos algo máis de detalle a esta definición veremos que:

- Natural: formado en procesos xeolóxicos naturais, non en laboratorio.
- Sólido: fai referencia á temperatura que existen normalmente na codia terrestre.
- Inorgánico: os minerais fórmanse en procesos que, polo normal, non están provocados polos seres vivos. A pesar disto, hai excepcións, xa que o aragonito por exemplo é o mineral que compón as cunhas dos moluscos.
- Composición química definida: cada mineral ten unha fórmula química concreta, que pode variar dentro duns rangos. Así, é común que dentro das redes cristalinas de cada un deles se produzan substitucións dalgúns átomos. Por exemplo, a calcita ten como fórmula química CaCO_3 , pero nas súas redes pode suceder que o calcio sexa substituído por magnesio, que ten un tamaño similar, quedando a súa fórmula $(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3$.
- Estrutura cristalina ordenada: os minerais son substancias cristalinas, é dicir, os seus átomos están dispostos segundo unha rede tridimensional ordenada, que se repite no espazo. A rede que se repite é coñecida como **cela unidade** ou **cela elemental** e pode ter sete formas diferentes (figura da presentación; non é necesario sabelas). A repetición desa rede no espazo é a responsable de que os minerais, cando teñen o tempo, o espazo e a calma para cristalizar presenten formas externas xeométricas, con caras ben definidas. Nesta figura está representada a rede cristalina da halita.



Reciben o nome de **polimorfos** aqueles minerais que tendo a mesma composición química, cristalizan en diferentes sistemas cristalinos e por tanto dan diferentes formas externas. Un exemplo é o caso da **calcita** e máis o **aragonito**; ambos teñen como fórmula CaCO_3 , pero os seus átomos están ordenados segundo redes diferentes e por tanto a súa forma externa é distinta.



Calcita



Aragonito

Reciben o nome de **isomorfos** aqueles minerais que teñen a mesma estrutura cristalina pero diferente composición química. Os minerais isomorfos agrúpanse en series isomorfas, que agrupa a tódolos minerais comprendidos entre dúas composicións extremas. Por exemplo, a serie isomorfa formada pola olivina ten un extremo de composición Mg Si O_4 e outro de composición Fe Si O_4 e agrupa tódalas composicións intermedias, xa que o Mg e o Fe poden substituírse nas redes cristalinas por ter o mesmo tamaño.

5.1. AS PROPIEDADES DOS MINERAIS

As propiedades dos minerais dependen fundamentalmente da súa composición e estrutura interna. Moitas delas son facilmente observables e nos permiten identificar os minerais; outras, como vimos no laboratorio, poden ser máis problemáticas ou menos concluíntes. Son as que seguen:

Hábito: forma externa do mineral; reflicte a ordenación interna dos átomos, polo que depende directamente da estrutura cristalina. Hai minerais de hábito cúbico, hexagonal, octaédrico, dodecaédrico....

Cor: é a cor en mostra de man, é dicir, o que presenta o mineral á luz natural. Depende directamente da súa composición. Pode variar moito en función ás variacións de composición que presente un mineral, por iso non é unha propiedade concluínte. Por exemplo, hai cuarzos brancos, laranxas, rosas, grises, morados, transparentes... a cor depende das impurezas que teña.

Cor da raia: é a cor do po fino dun mineral e se mantén invariable, independentemente de cal sexa a cor externa.

Brillo: é a forma na que un mineral reflicte a luz. Pode ser metálico ou non metálico, e dentro deste último bloque: resinoso, nacarado, céreo...

Exfoliación: é a capacidade de romperse segundo caras planas. Os minerais rompen por aqueles planos nos que os enlaces que manteñen unidos os seus átomos son máis febles. Un exemplo é a calcita, que rompe en caras romboédricas (é o mineral que rompemos no laboratorio) e outro son as micas, que rompen en láminas.

Fractura: é a forma en que rompen os minerais que non presentan foliación. Por exemplo, a fractura concoidea do sílex, a filamentosa do xeso.

Dureza: é a resistencia que opón un mineral a ser raiado. Canto maior sexa a forza dos enlaces que manteñen unidos os átomos, maior será a dureza dun mineral. A dureza mídese empregando unha escala relativa, a escala de Mohs, que ordena os minerais dende os máis brandos (dureza 1) ata os máis duros (dureza 10). Cada mineral raia só a aqueles minerais que son máis brandos que el e é raiado polos que son máis duros.

Densidade relativa: é o cociente entre o peso dun mineral e o volume igual de auga a 4°C.

Outras propiedades son : magnetismo, sabor, olor, tacto, reacción cos ácidos, birrefrinxencia...