

La Corteza Terrestre I

Minerales y Rocas

Arturo Gómez Tuena
Centro de Geociencias, UNAM



Turmalina



Willemite



Vanadinita

¿Por qué estudiar los minerales y las rocas?



El mundo en que
vivimos depende de
ellos...



¿Qué es un mineral?

- Definición:
 - Sólido de estructura homogénea formado de manera natural por procesos inorgánicos, con una composición química definida y un arreglo atómico ordenado.



Fluorita

Desmenuzando la definición....

- Sólido de estructura homogénea:
 - Conformado por una sola sustancia sólida que no puede ser dividida físicamente en compuestos químicos más simples...



Desmenuzando la definición....

- Formado de manera natural por procesos inorgánicos:
 - Lo distingue de aquellos minerales *sintéticos* elaborados por procesos industriales o de laboratorio...
 - Lo distingue de aquellos sintetizados de manera orgánica



Cráneo Humano



Diente de Tiburón Fósil

Desmenuzando la definición....

- Composición química definida:
 - Que puede ser expresado mediante una fórmula química específica (aunque no necesariamente constante)...



Cuarzo= SiO_2



Olivino= $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$

Desmenuzando la definición....

- Arreglo atómico ordenado:
 - Los átomos forman una estructura geométrica regular. Es decir que forman un arreglo cristalino...

Los minerales son cristales...



Barita

¿Qué es una roca?

- Definición:
 - Material consolidado conformado por granos de uno o más minerales.

Las rocas están hechas de minerales...



Eclogita: Granate + Piroxeno + Rutilo

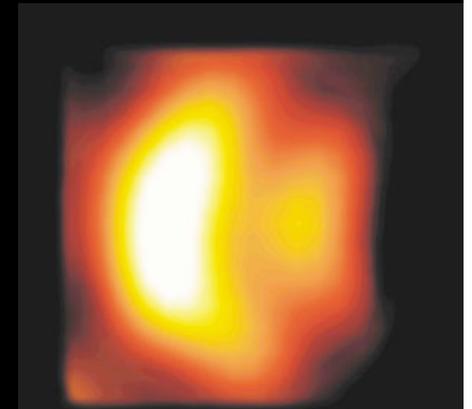
Comenzando desde el principio...

- La composición y estructura de un mineral depende de reacciones químicas
- Elemento:
 - Sustancia fundamental con la que se constituye la materia
- Átomo:
 - Partícula más pequeña de la materia que retiene las propiedades químicas de un elemento



Átomo:

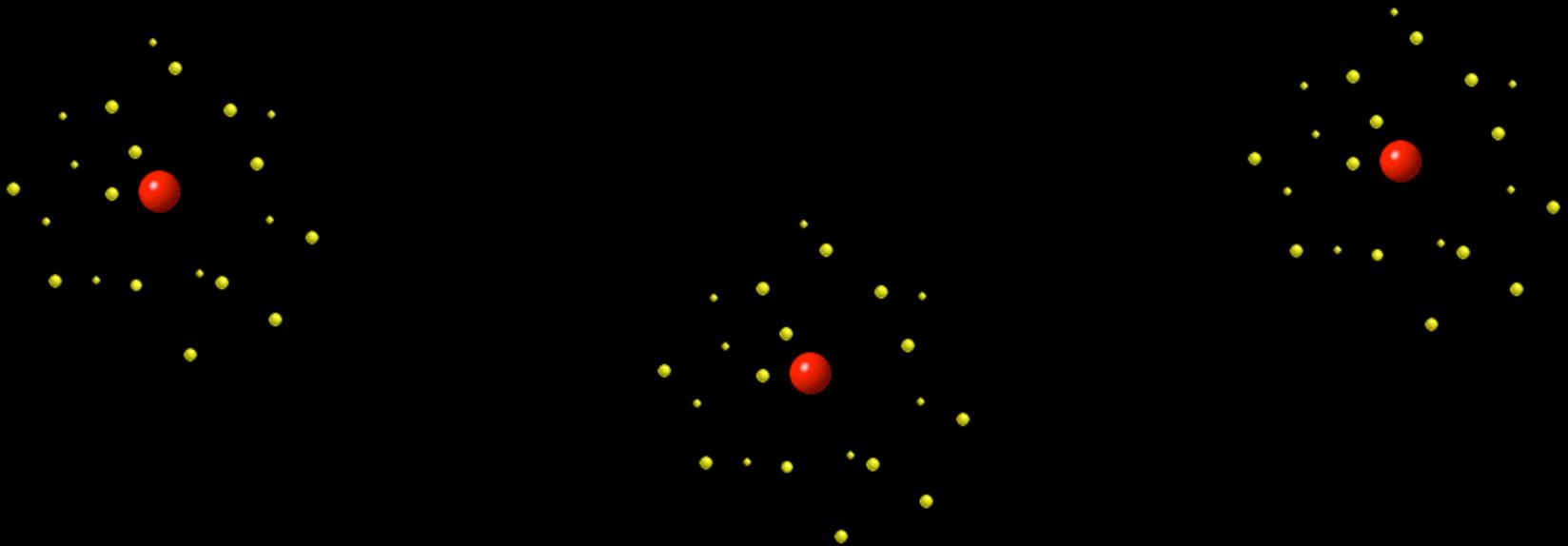
Núcleo {
Protones (Z^+)
Neutrones (N^0)
Electrones (e^-)



Átomo de Silicio tomado con un microscopio de fuerza atómica
 10^{-10} m = 0.0000000001 metros

Propiedades de los elementos

- Número Atómico (Z):
 - Es el número de protones presentes en un átomo
 - Es la propiedad más importante de un átomo pues controla su configuración electrónica (número de electrones) y por lo tanto sus propiedades químicas



La Tabla Periódica de los Elementos

- Las propiedades químicas de los elementos son una función periódica del número atómico...

The Periodic Table of Elements

6 ←

C

CARBON ←

12 ←

Atomic Number = Number of Protons = Number of Electrons

Chemical Symbol

Chemical Name

Atomic Weight = Number of Protons + Number of Neutrons

METALS																		NON-METALS																								
1 H HYDROGEN 1			2 He HELIUM 4																																							
3 Li LITHIUM 7	4 Be BERYLLIUM 9																	5 B BORON 11	6 C CARBON 12	7 N NITROGEN 14	8 O OXYGEN 16	9 F FLUORINE 19	10 Ne NEON 20																			
11 Na SODIUM 23	12 Mg MAGNESIUM 24																	13 Al ALUMINUM 27	14 Si SILICON 28	15 P PHOSPHORUS 31	16 S SULFUR 32	17 Cl CHLORINE 35	18 Ar ARGON 40																			
19 K POTASSIUM 39	20 Ca CALCIUM 40	21 Sc SCANDIUM 45	22 Ti TITANIUM 48	23 V VANADIUM 51	24 Cr CHROMIUM 52	25 Mn MANGANESE 55	26 Fe IRON 56	27 Co COBALT 59	28 Ni NICKEL 59	29 Cu COPPER 64	30 Zn ZINC 65	31 Ga GALLIUM 70	32 Ge GERMANIUM 73	33 As ARSENIC 75	34 Se SELENIUM 79	35 Br BROMINE 80	36 Kr KRYPTON 84																									
37 Rb RUBIDIUM 85	38 Sr STRONTIUM 88	39 Y YTRIUM 89	40 Zr ZIRCONIUM 91	41 Nb NIOBIUM 93	42 Mo MOLYBDENUM 96	43 Tc TECHNETIUM 98	44 Ru RUTHENIUM 101	45 Rh RHODIUM 103	46 Pd PALLADIUM 106	47 Ag SILVER 108	48 Cd CADMIUM 112	49 In INDIUM 115	50 Sn TIN 119	51 Sb ANTIMONY 122	52 Te TELLURUM 128	53 I IODINE 127	54 Xe XENON 131																									
55 Cs CESIUM 133	56 Ba BARIUM 137																	72 Hf HAFNIUM 178	73 Ta TANTALUM 181	74 W TUNGSTEN 184	75 Re RHENIUM 186	76 Os OSMIUM 190	77 Ir IRIDIUM 192	78 Pt PLATINUM 195	79 Au GOLD 197	80 Hg MERCURY 201	81 Tl THALLIUM 204	82 Pb LEAD 207	83 Bi BISMUTH 209	84 Po POLONIUM 209	85 At ASTATINE 210	86 Rn RADON 222										
87 Fr FRANCIUM 223	88 Ra RADIUM 226																	104 Rf RUFENIUM 263	105 Db DUBNIUM 262	106 Sg SEBORGIUM 266	107 Bh BOHRVIUM 264	108 Hs HASSIUM 277	109 Mt MITSUBISHIUM 268	110 Ds DARMSTADTIUM 281	111 Uuu UNUNUNIUM 272	112 Uub UNUNBIUM 285	113 Uut UNUNTRIUM 288	114 Uuq UNUNQUADIUM 289	115 Uup UNUNPENTIUM 288	116 Uuh UNUNHEXIUM 288	117 Uus UNUNSEPTIUM 289	118 Uuo UNUNOCTIUM 289										
		57 La LANTHANUM 139	58 Ce CELESIUM 140	59 Pr PRASEODYMIUM 141	60 Nd NEODYMIUM 144	61 Pm PROMETHIUM 145	62 Sm SAMARIUM 150	63 Eu EUROPIUM 152	64 Gd GADOLINIUM 157	65 Tb TERBIUM 159	66 Dy DYSIDIUM 163	67 Ho HOLMIUM 165	68 Er ERBIUM 167	69 Tm THULIUM 169	70 Yb YTERBIUM 173	71 Lu LUTETIUM 175																										
		89 Ac ACTINIUM 227	90 Th THORIUM 232	91 Pa PROTACTINIUM 231	92 U URANIUM 238	93 Np NEPTUNIUM 237	94 Pu PLUTONIUM 244	95 Am AMERICIUM 243	96 Cm CURVIUM 247	97 Bk BERKELIUM 247	98 Cf CALIFORNIUM 251	99 Es EINSTEINIUM 252	100 Fm FERMIUM 257	101 Md MENDELVIUM 258	102 No NOBELIUM 259	103 Lr LAWRENCIUM 262																										

KEY

☐ = Solid at room temperature

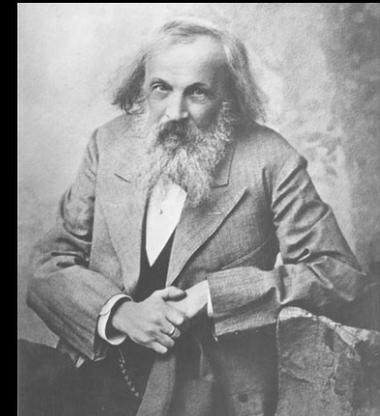
☉ = Liquid at room temperature

☁ = Gas at room temperature

☛ = Radioactive

♣ = Artificially Made

<http://education.jlab.org/> Last revised on April 6, 2003

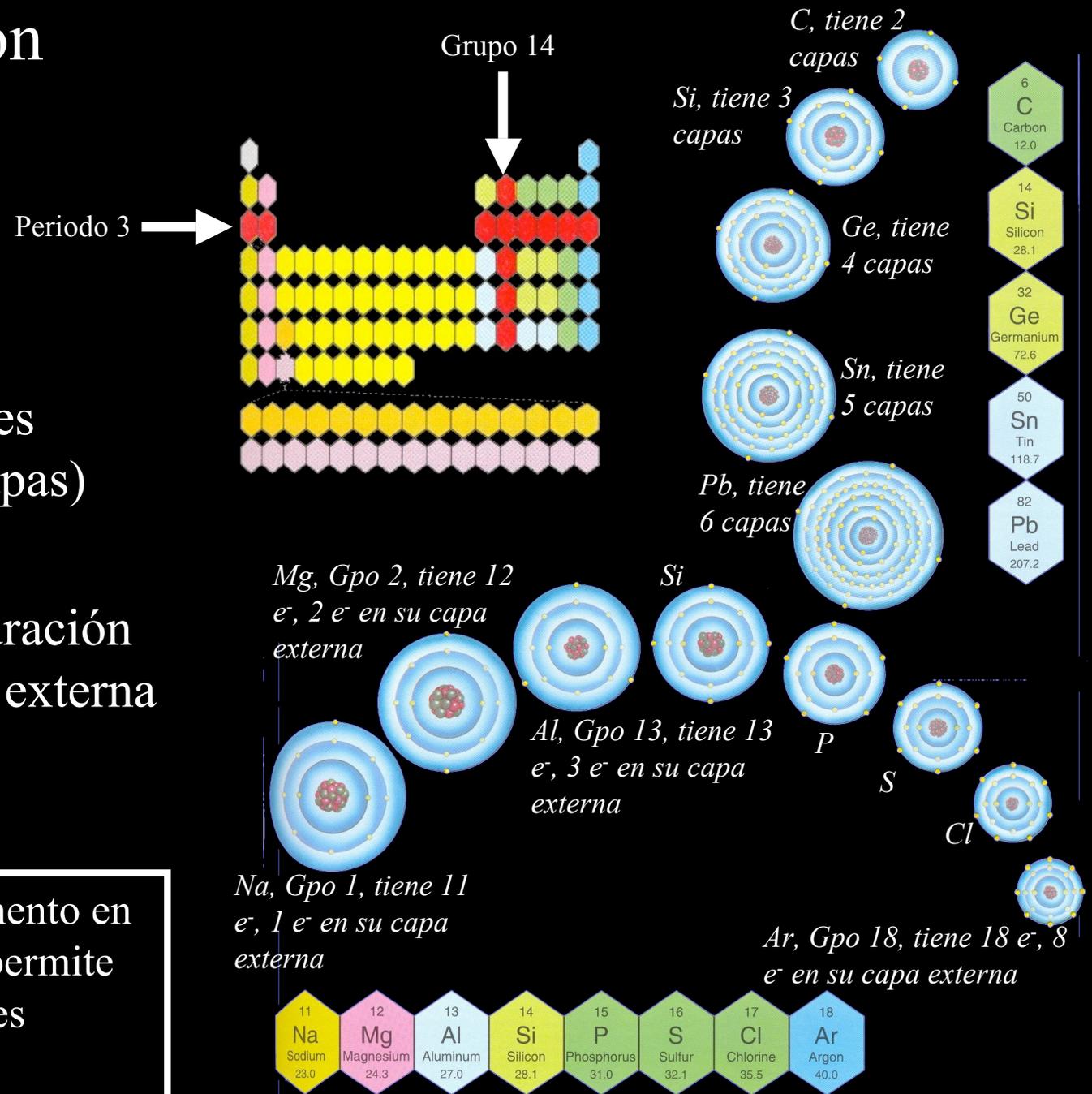


D.I. Mendeleev (1834 – 1907)

Configuración electrónica

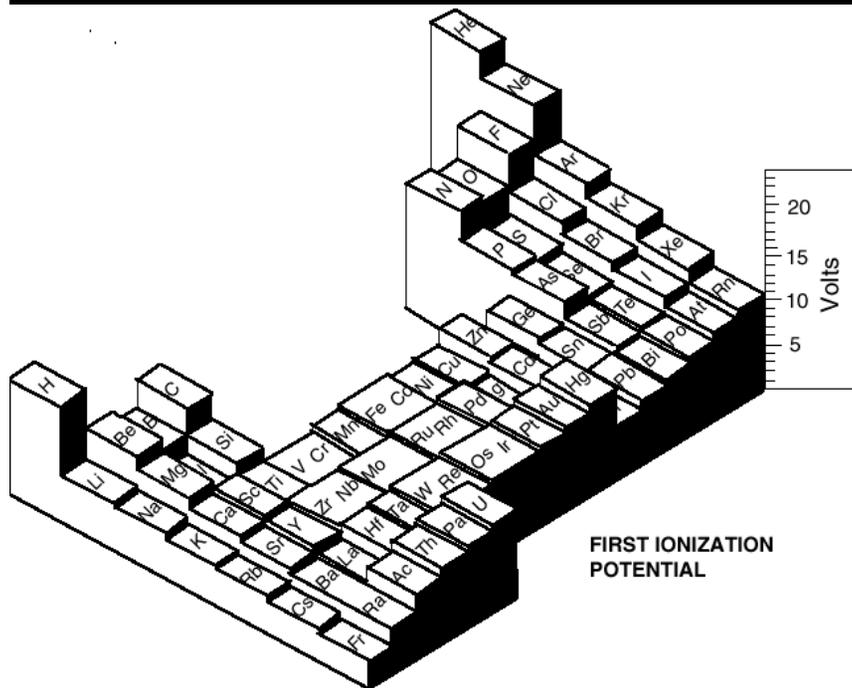
- Periodos:
 - Distintos niveles energéticos (capas)
- Grupos:
 - Misma configuración en la capa más externa

La posición de un elemento en la tabla periódica nos permite conocer sus propiedades químicas...



Algunas propiedades químicas de los elementos

- Potencial Iónico: Energía que se requiere para quitar un electrón de la capa más externa. Energía para formar cationes.
- Electronegatividad: Cuantifica la capacidad de un elemento para atraer un electrón y compartirlo con otro elemento.



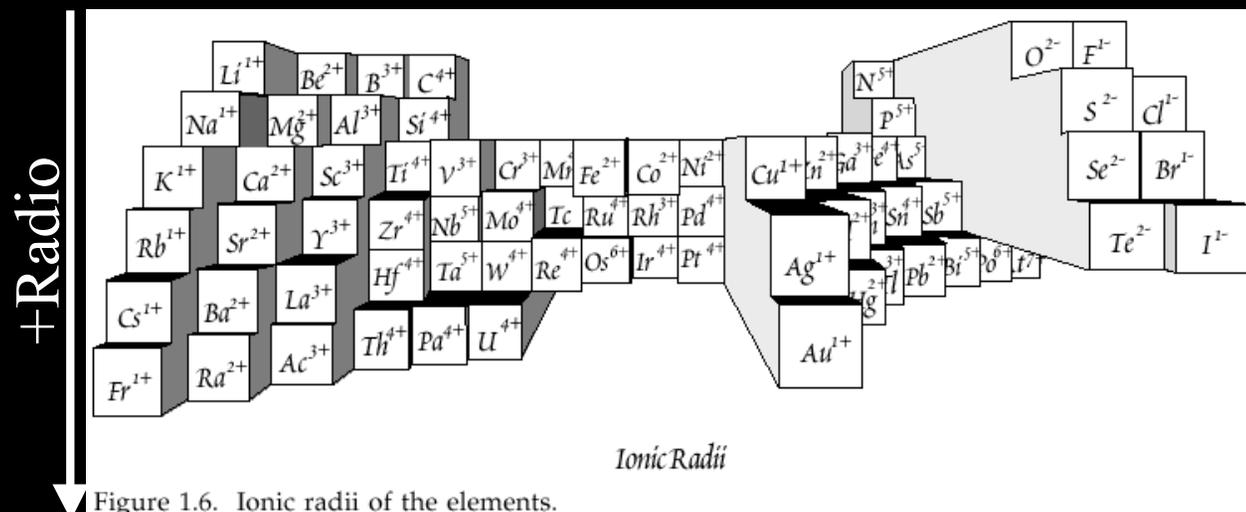
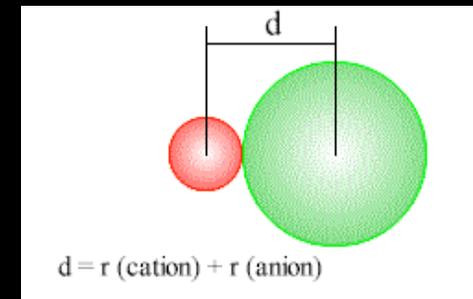
H 2.1																	He
Li 1.0	Be 1.5											B 2.0	C 2.5	N 3.0	O 3.5	F 4.0	Ne
Na 0.9	Mg 1.2											Al 1.5	Si 1.8	P 2.1	S 2.5	Cl 3.0	Ar
K 0.8	Ca 1.0	Sc 1.3	Ti 1.5	V 1.6	Cr 1.6	Mn 1.5	Fe 1.8	Co 1.9	Ni 1.9	Cu 1.9	Zn 1.6	Ga 1.6	Ge 1.8	As 2.0	Se 2.5	Br 2.8	K
Rb 0.8	Sr 1.0	Y 1.2	Zr 1.4	Nb 1.6	Mo 1.8	Tc 1.9	Ru 2.2	Rh 2.2	Pd 2.2	Ag 1.9	Cd 1.7	In 1.7	Sn 1.8	Sb 1.9	Te 2.1	I 2.5	Xe
Cs 0.7	Ba 0.9	La 1.0	Hf 1.3	Ta 1.5	W 1.7	Re 1.9	Os 2.2	Ir 2.2	Pt 2.2	Au 2.4	Hg 1.9	Tl 1.8	Pb 1.9	Bi 1.9	Po 2.2	At 2.2	Rd
Fr 0.7	Ra 0.9	Ac 1.1															
			La 1.0	Ce 1.0	Pr 1.0	Nd 1.0	Pm 1.0	Sm 1.0	Eu 1.1	Gd 1.1	Tb 1.1	Dy 1.1	Ho 1.1	Er 1.1	Tm 1.2	Yb 1.2	Lu 1.2
			Ac 1.1	Th 1.3	Pa 1.4	U 1.4	Np 1.4	Pu 1.4									

Figure 1.5. Electronegativities of the elements.

¡Algunas de las moléculas más comunes están formadas por átomos localizados en los extremos de la tabla!

Algunas propiedades químicas de los elementos

- Valencia: El número de electrones que un átomo es capaz de ceder o aceptar.
- Radio Iónico: Se deduce a partir de la distancia del enlace cuando un átomo está enlazado con otro. Controla:
 - Las sustituciones en las redes cristalinas
 - La solubilidad



En resumen...

- Grupo 1 (Metales alcalinos): Átamente reactivos pues ceden 1 electrón con facilidad. Son muy solubles y forman soluciones alcalinas.
- Grupo 2 (Metales alcalino-térreos). Similar al 1, pero con moderación.
- Grupo 17 (Halógenos). Altamente reactivos y solubles. Son electronegativos pues ganan fácilmente un electrón.
- Grupo 18 (Gases Nobles) No participa en ningún enlace químico.
- Grupos 3-12 (Metales de transición). En general no son solubles ni muy reactivos.
- Grupos 13-16 (No metales) Son relativamente menos reactivos y forman enlaces covalentes
- Las tierras raras. Tienen 2 electrones libres en su orbital externo y por lo tanto se comportan de forma similar. Su radio iónico decrece sistemáticamente.

Periodic Table Of Elements

Black - Solid
 Green - Liquid
 Blue - Gas
 Red Outline - Synthetic

Alkali Metals
 Other Metals
 Non-Metals

Alkaline Earth Metals
 Lanthanide Series
 Inert Gases

Transition Metals
 Actinide Series
 Other Elements

Atomic Weight
 Element Symbol
 Ionic Charge
 Atomic Number
 Element Name

Propiedades Físicas de los Minerales

- Dependen de su composición y estructura cristalina:
 - Forma cristalina
 - Color
 - Transparencia
 - Lustre
 - Raya
 - Dureza
 - Clivaje
 - Densidad
 - Luminiscencia
 - Conductividad eléctrica
 - Magnetismo



Pirita

Propiedades Físicas de los Minerales

- Formas Cristalinas:

- Cristal viene del griego κρύσταλλος (krystallos) que significa hielo
- Cristal: cualquier sólido que desarrolla superficies planas



Cristal de H₂O



Cristal de Cuarzo



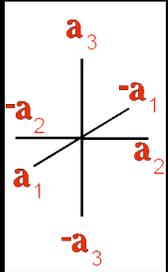
Cristal de Cuarzo

- En 1669 el danés N. Steno descubrió que “...el ángulo entre dos caras equivalentes de un cristal es constante e igual entre todos los minerales de la misma especie...”

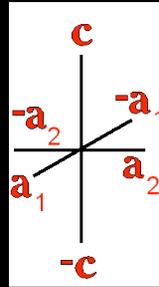


Propiedades Físicas de los Minerales

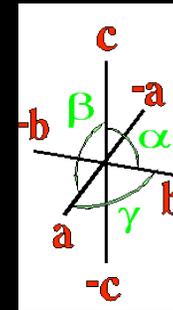
- Formas Cristalinas:



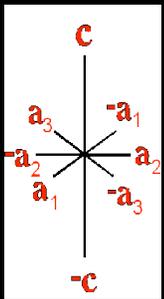
Isométrico (pirita)



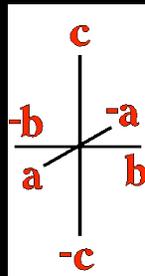
Tetragonal (zircón)



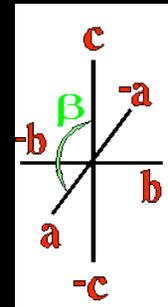
Triclinico (Microclina)



Hexagonal (Berilo)



Ortorrómbico (Topacio)



Monoclinico (Yeso)

Propiedades Físicas de los Minerales

- Color:

- Controlado por la composición química y la presencia de “impurezas” (elementos traza)



Turmalina

- Raya:

- Aunque el color de un mineral puede variar, el color del polvo más fino es generalmente el mismo. Esto se observa al rayarlo sobre porcelana.

Propiedades Físicas de los Minerales

- Crucero, Clivaje o Exfoliación: Ruptura en una dirección preferencial
 - Generalmente se califica como perfecto, bueno, pobre o inexistente...



Cúbico (halita)



Rombohedral (calcita)



Octahedral (fluorita)



Pinacoidal (muscovita)

Propiedades Físicas de los Minerales

- Transparencia: Eficiencia en la transferencia de luz (Transparente, traslúcido y opaco)
- Lustre: Calidad e intensidad de la luz reflejada por un mineral



Vítreo y transparente
(Fluorapofilita)



Adamantino (diamante)



Metálico (Oro nativo)



Resinoso (esfalerita)



Grasoso (turquesa)



Perlado (labradorita)



Sedoso (crisotilo)

Propiedades Físicas de los Minerales

- Dureza:

- Controlado por la estructura cristalina y la fuerza de los enlaces químicos
- La dureza relativa puede establecerse al observar la capacidad de un mineral para rayar a otro.



F. Mohs (1773 - 1839)

- Escala de Mohs:

- | | |
|-------------|--------------|
| 1. Talco | 6. Ortoclasa |
| 2. Yeso | 7. Cuarzo |
| 3. Calcita | 8. Topacio |
| 4. Fluorita | 9. Corundo |
| 5. Apatita | 10. Diamante |

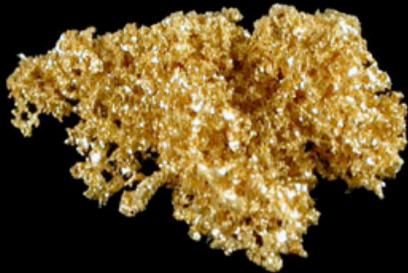
- Escala práctica:

- 2.5 Uña
- 3.5 Moneda de cobre
- 5.5 Vidrio
- 6.5 Navaja de acero



Propiedades Físicas de los Minerales

- Gravedad específica o densidad relativa:
 - Está expresado por la relación entre el peso de un mineral y el peso de un volumen igual de agua a 4°C. Un mineral con $G=2$ pesará dos veces más que un volumen igual de agua.
 - Controlado por la estructura cristalina y el empaquetamiento atómico



Oro $G=19.3$



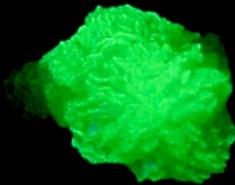
Galena $G=7.5$



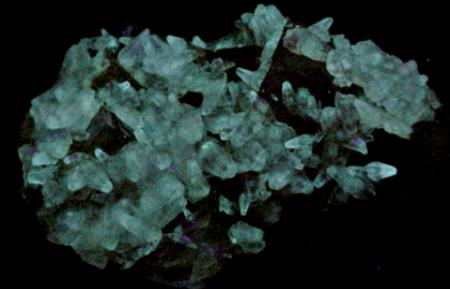
Cuarzo $G=2.65$

Propiedades Físicas de los Minerales

- Otras propiedades:
 - Luminiscencia: Emisión de luz.
 - Fluorescencia, fosforescencia, termoluminiscencia, triboluminiscencia



Adamita (luz normal y luz ultravioleta)



Fluorita (luz normal y luz ultravioleta)

- Conductividad eléctrica y magnetismo



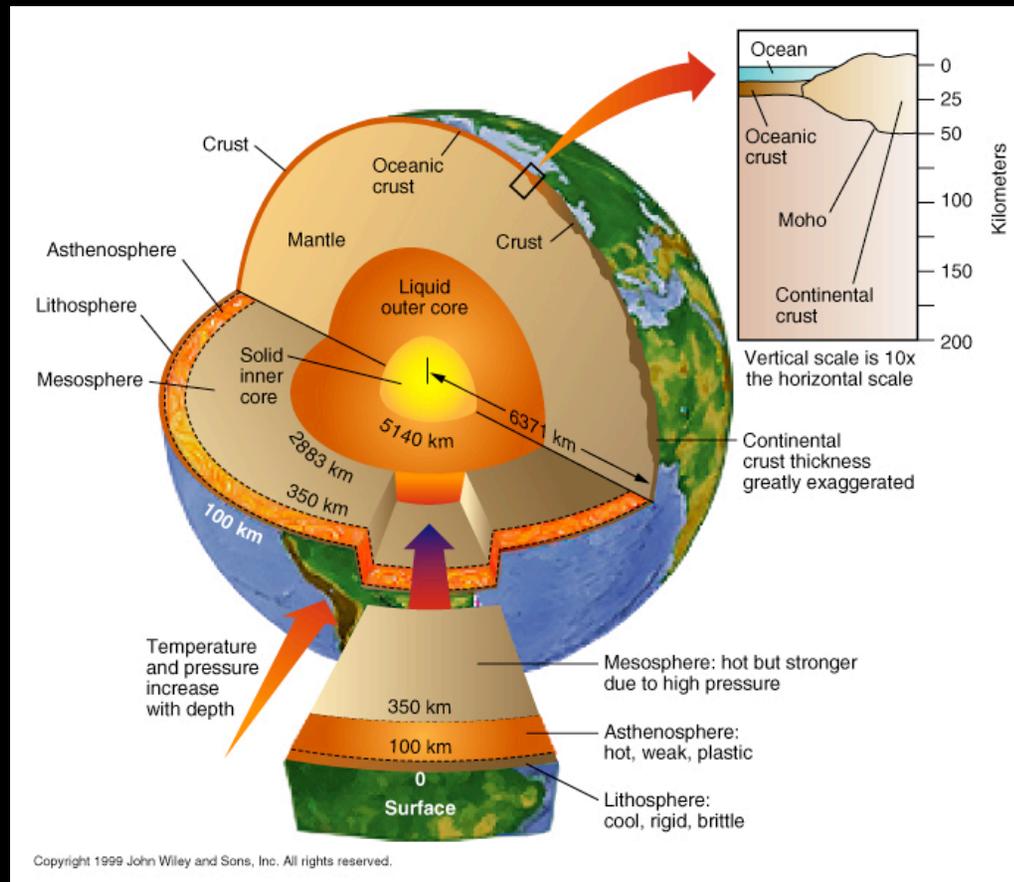
Pirrotita



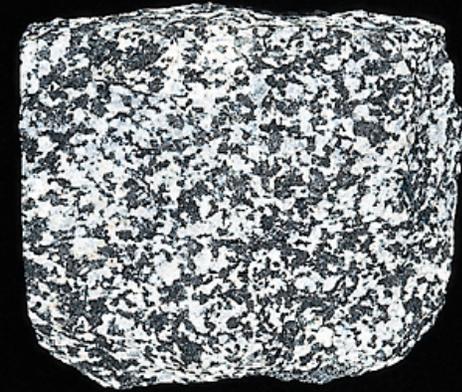
Magnetite

La Anatomía de la Tierra

- Corteza: 6-90 Km (máfico-félsico)
- Manto: ~3,000 Km (ultramáfico)
- Núcleo: ~3,400 Km (Fe-Ni)



Corteza



Manto

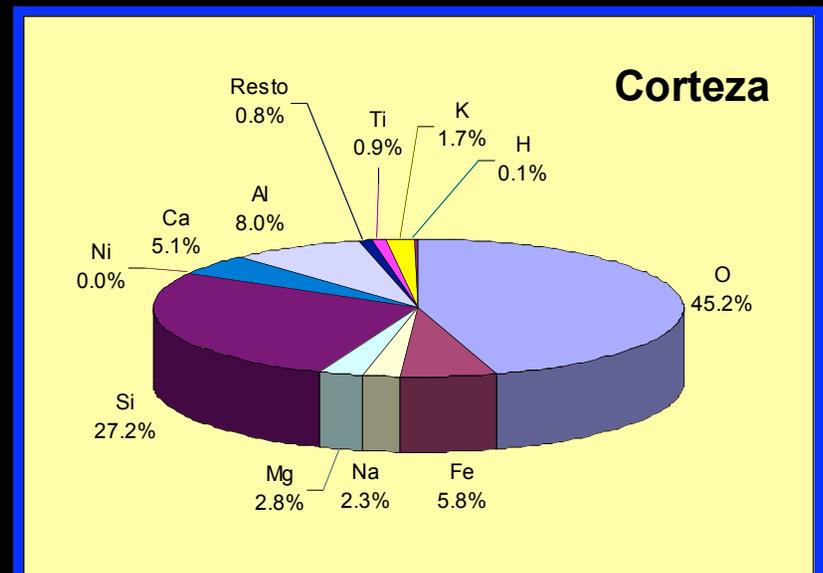
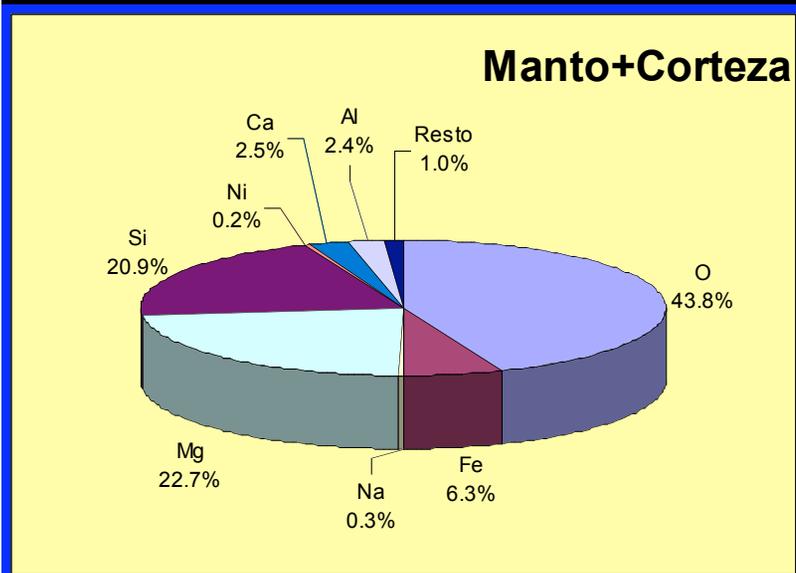
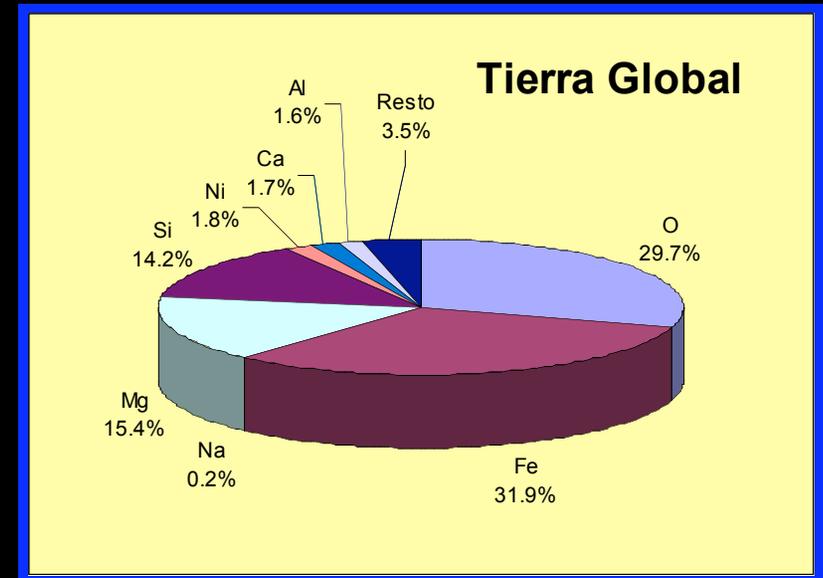


Núcleo



La Composición de la Tierra

- Fe-Ni se concentran en el núcleo
- Oxígeno y Sílice en las capas más externas
- Sólo O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti, H, Mn y P tienen abundancias $> 0.1\%$ en la CORTEZA



Minerales Formadores de Rocas

- Los minerales más abundantes son:
 - Silicatos: $(\text{SiO}_4)^{4-}$
 - Óxidos: O^{2-}
- Otros grupos de minerales comunes en la corteza:
 - Carbonatos: $(\text{CO}_3)^{2-}$
 - Sulfatos: $(\text{SO}_4)^{2-}$
 - Sulfuros: S^{2-}
 - Fosfatos: $(\text{PO}_4)^{3-}$



Apatita (fosfato)



Pirita (sulfuro)



Cuarzo y feldespato (silicatos)



Calcita (carbonato)



Yeso (sulfato)

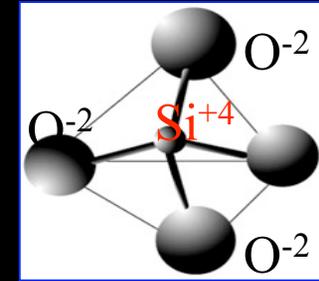


Hematita (óxido)

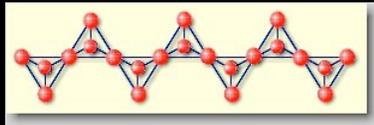
Los Silicatos

Tetrahedro de Silicio

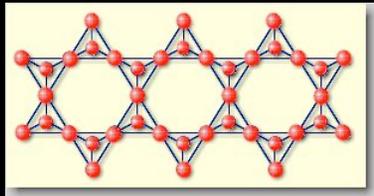
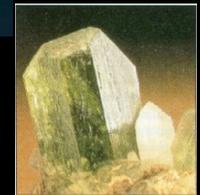
- O+Si >70% en peso en la corteza.
- La mayor parte de las rocas de la corteza y del manto están formadas por silicatos.
- La columna vertebral de los silicatos es el tetrahedro de silicio



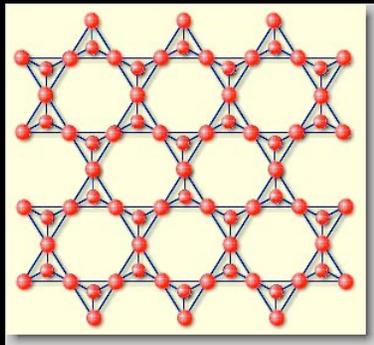
Nesosilicatos. Tetraedros Independientes. Unidos por cationes (Fe, Mg, Zr). Olivino= $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$



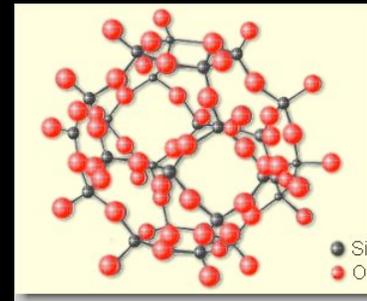
Inosilicatos. Tetraedros en cadena. Comparten un oxígeno. Piroxenos. Opx= $(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_3$ y Cpx= $\text{Ca}(\text{Mg, Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$



Inosilicatos dobles. Tetraedros en cadena doble unidos por las esquinas. Anfíboles. Hornblenda= $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg, Fe})_4\text{Al}_3\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$



Filosilicatos. Comparten tres oxígenos y forman hojas. Micas, arcillas. Biotita= $\text{K}(\text{Mg, Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$



Tectosilicatos. Comparten los 4 oxígenos y forman estructuras. Cuarzo, feldespato. Ab= $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$



Los minerales son a las rocas lo que las letras a las palabras...

- Rocas Ígneas: Formadas por la solidificación de un magma.
- Rocas Sedimentarias: Formadas por la consolidación de fragmentos y partículas desintegradas de rocas preexistentes, o por precipitación química directa.
- Rocas Metamórficas: Rocas ígneas o metamórficas preexistentes que han sufrido modificaciones en textura y composición mineralógica por efectos de presión y temperatura.

Rocas Ígneas



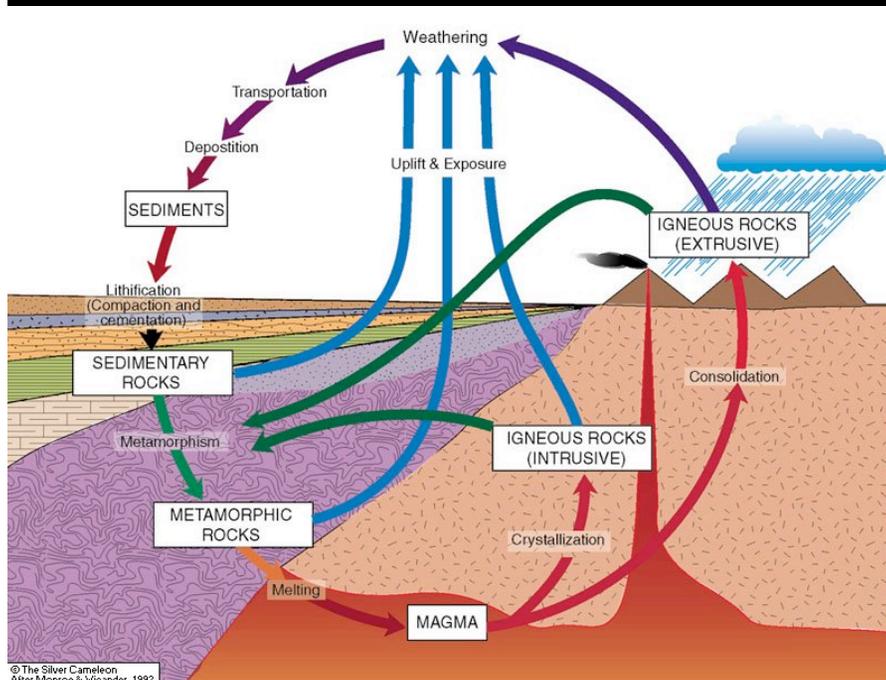
Rocas Sedimentarias



Rocas Metamórficas



El Ciclo de las Rocas

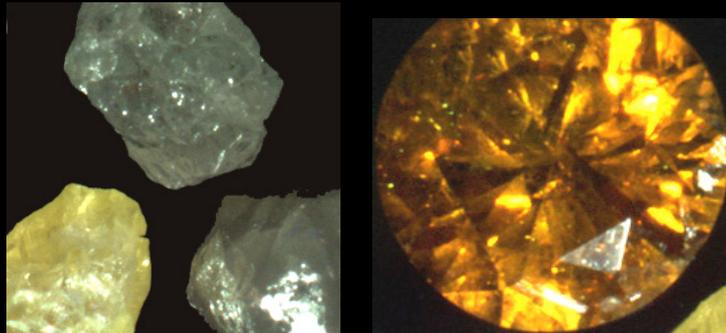


Gemas y Minerales Preciosos

- Gema: Una gema es un material que se busca y aprecia por su belleza, cuya rareza lo hace valioso y que es lo suficientemente duradero para que pueda disfrutarse por mucho tiempo...
- Las gemas pueden tener un origen orgánico: corales, ámbar, mafil..



- La gran mayoría tienen un origen inorgánico y son, de hecho, minerales ordinarios antes de ser cortados y tallados:



Gemas y Minerales Preciosos

- Belleza: Aunque parezca subjetivo, la belleza de una gema depende de parámetros específicos:
 - Brillantez: depende de la calidad del corte
 - Lustre: depende de la suavidad del tallado
 - Fuego: depende de la manera en que la luz se refracta

Diamond courtesy
of Rona Penn



Gemas y Minerales Preciosos

- Durabilidad:

- ¡Los minerales solubles y suaves no pueden ser gemas!

- Valor:

- Color: Aunque esto depende del gusto, se espera que un diamante sea completamente transparente...
 - Claridad: Sin fracturas ni inclusiones
 - Corte: Depende de la habilidad del gemologo.
 - Carats: ¿Lo grandote es mejor? No siempre...

1 carat = 0.2 gramos

- Rareza:

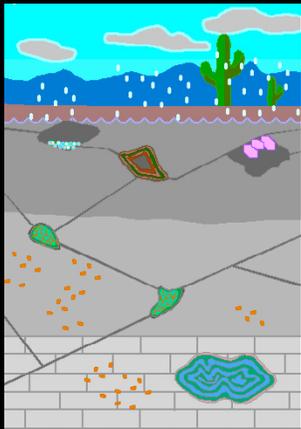
- ¡Un depósito de diamantes rinde 5 gramos de gemas por tonelada de roca!

¿Dónde Puedo Encontrar Gemas?



- Las gemas no siempre se encuentran en donde se forman, y no siempre se forman en donde se encuentran...
- Ambientes de Formación:
 - Precipitados a partir de soluciones acuosas en la superficie o de origen hidrotermal: amatistas, agatas y ópalos... (todos son SiO_2)
 - Gemas magmáticas: Cristalizan a partir de un magma: zircón, topacio y rubi.
 - Pegmatitas: Las últimas etapas de cristalización de un magma: turmalinas y esmeraldas
 - Gemas metamórficas: Producto de transformaciones de alta temperatura y presión: granates, jade
 - Gemas en el manto: Acarreados por magmas desde grandes profundidades (>90 km): diamantes

Soluciones acuosas



Pegmatitas



Jade



Diamante en kimberlita

