



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

FACULTY
OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY
UNIVERSITY
OF THE BASQUE
COUNTRY



TABLAS DE QUÍMICA INORGÁNICA

Juan M. Gutiérrez-Zorrilla
Beñat Artetxe

Departamento de Química Orgánica e Inorgánica. UPV/EHU

2024

Tabla A1. Aislamiento de los elementos y origen de su nombre

	Año	Descubridor ¹	Origen del nombre ²
G1			
H	1766	Henry Cavendish (UK)	del griego "hydros genos" = creador de agua
Li	1817	Johan August Arfwedson (S)	del griego "lithos" = piedra
Na	1807	Humphry Davy (UK)	del inglés "soda" Na ₂ CO ₃ . El símbolo viene de "natrón" (conjunto de sales de sodio Na ₂ CO ₃ , NaHCO ₃ , que empleaban los egipcios para embalsamar)
K	1807	Humphry Davy	del inglés "potash", ceniza de plantas. El símbolo viene de kali (de álcali de vegetales)
Rb	1861	Gustav Kirchhoff y Robert Bunsen (D)	del latín "rubidus" = rojo intenso
Cs	1860	Gustav Kirchhoff y Robert Bunsen	del latín "caesius" = azul cielo (color de la llama)
Fr	1939	Marguerite Perey (F)	de Francia
G2			
Be	1797	Louis-Nicolas Vauquelin (F)	del griego "beryl" = berilo
Mg	1755	Joseph Black (UK)	de Magnesia (Grecia)
Ca	1808	Humphry Davy (UK)	del latín "calx" = caliza
Sr	1790	Adair Crawford (IRL)	de Strontian (Escocia)
Ba	1808	Humphry Davy	del griego "barys" = pesado
Ra	1898	Pierre and Marie Curie (F)	del latín "radius" = rayo
G13			
B	1808	Louis-Josef Gay-Lussac y Louis-Jacques Thénard en París (F), y Humphry Davy en Londres (UK)	del árabe "buraq" = borax
Al	1825	Hans Oersted (DK)	del latín "alumen" = sal amarga
Ga	1875	Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran (F)	del nombre latino de Francia = "Gallia"
In	1863	Ferdinand Reich y Hieronymous Richter (D)	del latín "indicum" = violeta, índigo
Tl	1861	William Crookes (UK)	del griego "thallos" = ramita verde
Nh	2004	Kosuke Morita + 19 investigadores (RIKEN)	Nombre adoptado por la IUPAC en 2016 del nombre japonés para Japón = "日本" = el origen del sol
G14			
C	-	Prehistoria	del latín "carbo" = carbón ← indo-europeo "ker" = que arde
Si	1824	J. J. Berzelius (S)	del latín "silex" = pedernal
Ge	1886	C. A. Winkler (D)	del nombre latino de Alemania = "Germania"
Sn	2100 AC		del latín "stannum" ← indo-europeo "stag"
Pb	6500 AC		del latín "plumbum"
Fl	1999	Yuri Oganessian + 21, JINR (Rus), LLNL (USA)	por el "Flerov Laboratory of Nuclear Reactions" del JINR fundado por Gueorgui N. Fliórov
G15			
N	1772	Daniel Rutherford (UK)	del griego "nitron" "genes" = generador de nitro
P	1669	Hennig Brand (D)	del griego "phosphoros" = portador de luz
As	1250 1649	S. Albertus Magnus (D) Johann Schröder (D)	del griego "arsenikon" ← del árabe "al-zarnikh" = oro coloreado = oropimente (As ₂ S ₃)
Sb	1540	Vannoccio Biringuccio (I)	Del latín "antimoni" = corrupción del árabe "Al-ithmīd" ← del latín "stibium" ← del griego "stibi" = cosmético Sb ₂ S ₃
Bi	1753	Claude François Geoffroy (F)	del alemán "bisemutum" ← "Wisse Masse = masa blanca"
Mc	2004	Yuri Oganessian + 25 investigadores, JINR Dubna, (Rus); LLNL, Livermore (USA)	Nombre adoptado por la IUPAC en 2016. El nombre se refiere a la región de Moscú, donde está ubicado el JINR.
G16			
O	1774	Joseph Priestley (UK), Carl Wilhelm Scheele (S)	del griego "oxi genes" = formador de ácidos
S		Prehistoria	del latín "sulphur" ← sánscrito "sulvere"
Se	1817	Jöns Jacob Berzelius (S)	del nombre griego de la Luna = "Selene"
Te	1782	Franz-Joseph Müller von Reichenstein (A-H)	del nombre latino de la Tierra = "Tellus"
Po	1898	Marie y Pierre Curie (PL, F)	de Polonia (la patria de M. Curie)
Lv	2000	Yuri Oganessian + 25 investigadores, JINR Dubna, (Rus); LLNL, Livermore (USA)*	Nombre adoptado por la IUPAC en 2012, viene de Lawrence Livermore National Laboratory.

	Año	Descubridor ¹	Origen del nombre ²
G17			
F	1886	F. F. Henri Moissan (F)	del latín "fluere" = fluir
Cl	1774	Carl Wilhelm Scheele (S)	del griego "chloros" = amarillo verdoso
Br	1826	Antoine-Jérôme Balard (F) Carl Löwig (D)	del griego "bromos" = hedor
I	1811	Bernard Courtois (F)	del griego "ioeides" = violeta
At	1940	Dale R. Corson, Kenneth Ross MacKenzie, Emilio Segrè (USA)	del griego "astatos" = inestable
Ts	2010	Yuri Oganessian + 32 investigadores, JINR Dubna, (Rus); ORNL, Oak Ridge; LLNL, Livermore (USA)	Nombre adoptado por la IUPAC en 2016 y hace referencia al estado de USA Tennessee, donde está situada la ciudad de Oak Ridge
G18			
He	1868 1895	Jules Janssen (F), Norman Lockyer (UK) (sol) Sir William Ramsay (UK); Per Teodor Cleve (S) y Nils Abraham Langlet (S)	del griego "helios" = sol ← fue detectado por primera vez en la corona solar.
Ne	1898	Sir William Ramsay y Morris Travers (UK)	del griego "neos" = nuevo
Ar	1894	Lord Rayleigh (UK) y Sir William Ramsay	del griego 'argos' = "vigilante"
Kr	1898	Sir William Ramsay y Morris Travers	del griego "kryptos" = oculto
Xe	1898	Sir William Ramsay y Morris Travers	del griego "xenos" = extranjero
Rn	1900	Friedrich Ernst Dorn (D)	del elemento radio (detectado como emisión de Ra)
Og	2006	Yuri Oganessian + 29 científicos de JINR y LLNL	Nombre adoptado por la IUPAC en 2016. Fue nombrado así en honor al físico ruso Yuri Oganessian
1ST			
Sc	1879	Lars Fredrik Nilson (S)	del latín 'Scandia' = Escandinavia.
Ti	1791	William Gregor (UK)	de 'Titans': los hijos de Gea y Urano (mitología griega)
V	1801	Andrés Manuel del Río (E) Nils Gabriel Sefström (S)	"eritronio" de 'Vanadis': el antiguo nombre nórdico para la diosa escandinava Freyja (amor, belleza y fertilidad)
Cr	1798	Nicholas Louis Vauquelin (F)	del griego 'chroma' = color
Mn	1774	Johan Gottlieb Gahn (S)	de 'magnesia' = región griega, o del óxido de magnesio negro, 'magnesia nigra'
Fe	3500 AC		del anglo-sajón 'iren' indo-europeo 'ayes' = metal. Fe: del latín 'ferrum'
Co	1737	Georg Brandt (S)	del alemán 'Kobold' = duende: espíritu maligno
Ni	1751	Axel Fredrik Cronstedt (S)	del alemán 'kupfernickel' = cobre del diablo o de S. Nicolás
Cu		Prehistoria	del latín 'Cuprum': 'Cyprium aes', metal de Chipre
Zn	1746	Andreas Sigismund Marggraf (D)	del persa, 'tutiya', humo, y del alemán 'Zink' = punta afilada
2ST			
Y	1794	Johan Gadolin (FIN)	de la ciudad Ytterby (S)
Zr	1789	Martin Heinrich Klaproth (D)	del árabe 'zargun' = oro coloreado
Nb	1801	Charles Hatchett (UK)	de Niobe, de la mitología griega, hija del rey Tántalo. Esto fue elegido debido a la similitud química con el Ta
Mo	1781	Peter Jacob Hjelm (S)	del griego 'molybdos' = plomo
Tc	1937	Carlo Perrier y Emilio Segrè (I)	del griego 'tekhnetos' = artificial
Ru	1844	Karl Ernst Claus (EST)	del nombre latino de Rusia = 'Ruthenia'
Rh	1803	William Hyde Wollaston (UK)	del griego 'rhodon' = rosa
Pd	1803	William Hyde Wollaston	del asteroide Pallas, a su vez el nombre de la diosa griega de la sabiduría, Pallas.
Ag	3000 AC		del anglosajón 'silubr'. Ag del latín 'argentum' ← griego 'argyros' ← sánscrito 'arj-una' = brillar
Cd	1817	Friedrich Stromeyer (D)	del latín 'cadmia' = mineral tierra cadmea (ZnCO ₃)

	Año	Descubridor ¹	Origen del nombre ²
3ST			
La	1839	Carl Gustav Mosander (S)	del griego 'lanthanein', = escondido, oculto
Hf	1923	George Charles de Hevesy (H) y Dirk Coster (NL)	del nombre latino de Copenhagen = 'Hafnia'.
Ta	1802	Anders Gustav Ekeberg (S)	de la mitología griega el rey Tántalo
W	1783	Juan José y Fausto Elhuyar (E)	del sueco 'tung sten' = piedra pesada
Re	1925	Walter Noddack, Ida Tacke y Otto Berg (D)	del latín 'Rhenus' = río Rin
Os	1803	Smithson Tennant (UK)	del griego 'osme' = olor
Ir	1803	Smithson Tennant	de la diosa griega del arco iris = Iris.
Pt	1735	Antonio de Ulloa (E)	del español 'platina' = plata pequeña (cuentas)
Au	3000 AC		de la palabra anglosajona para el metal Au del latín 'aurum' (ausom) = amarillo
Hg	1500 AC		lleva el nombre del planeta Mercurio, Hg del griego 'hidragiros', plata líquida
Ln			
La	1839	Carl Gustaf Mosander (S)	del griego 'lanthano' = estar oculto.
Ce	1803	Jöns Jacob Berzelius (S), Wilhelm Hisinger (S)	del asteroide 'Ceres' = diosa romana de la agricultura
Pr	1885	Carl Auer von Welsbach (A)	del griego 'prasios didymos' = gemelo verde
Nd	1885	Carl Auer von Welsbach (A)	del griego 'neos didymos' = nuevo gemelo
Pm	1945	Jacob A. Marinsky, Lawrence E. Glendenin, Charles D. Coryell (USA)	de la mitología griega 'Prometheus', titán que robo el fuego de los dioses y se lo dio a los humanos
Sm	1879	Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran (F)	del mineral samarskita, del que se aisló por primera vez.
Eu	1901	Eugène-Anatole Demarçay (F)	de Europa
Gd	1880	Jean Charles Galissard de Marignac (CH)	en honor a Johan Gadolin
Tb	1843	Carl Gustaf Mosander (S)	de la ciudad Ytterby (S)
Dy	1886	Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran (F)	del griego 'disprositos' = difícil de obtener
Ho	1878	Per Teodor Cleve (S); Marc Delafontaine y Louis Soret (CH)	del latín 'Holmia' = Estocolmo
Er	1843	Carl Gustaf Mosander (S)	de la ciudad Ytterby (S)
Tm	1879	Per Teodor Cleve (S)	del 'Thule' = antiguo nombre de Escandinavia
Yb	1878	Jean Charles Galissard de Marignac (CH)	de la ciudad Ytterby (S)
Lu	1878	Georges Urbain (F); Carl Auer von Welsbach (A); Charles James (USA)	del latín 'Lutetia' = París
An			
Ac	1899 1902	André-Louis Debierne (F) Friedrich Oskar Giesel (D)	del griego 'actinos' = rayo.
Th	1829	Jöns Jacob Berzelius (S)	de 'Thor' = dios escandinavo del trueno y la fuerza
Pa	1913	Kazimierz Fajans (POL), Otto Göring (D)	del griego 'protos' y Ac = primero
U	1789 1841	Martin Heinrich Klaproth (D); Eugène-Melchior Péligot (F)	del planeta Urano
Np	1940	Edwin M. McMillan, Phillip H. Abelson (USA)	del planeta Neptuno
Pu	1940	Glenn T. Seaborg, Edwin M. McMillan, Joseph W. Kennedy, Arthur Wahl (USA)	del planeta Plutón
²³⁹ Pu	1941	Joseph. W. Kennedy, Glenn T. Seaborg, Emilio Segrè, Arthur C. Wahl	
Am	1944	Glenn T. Seaborg, Ralph A. James, Leon O. Morgan, Albert Ghiorso (USA)	de América
Cm	1944	Glenn T. Seaborg, Ralph A. James, Albert Ghiorso	en honor a los Curie
Bk	1949	Stanley G. Thompson, Albert Ghiorso, Glenn T. Seaborg (USA)	de la ciudad Berkeley (CA)
Cf	1950	Stanley G. Thompson, Kenneth Street, Jr., Albert Ghiorso, and Glenn T. Seaborg (USA)	de la universidad y el estado donde se preparó
Es	1952	Stanley G. Thompson + 15 (USA)	en honor a Albert Einstein
Fm	1953	Albert Ghiorso + 15 (USA)	en honor a Enrico Fermi
Md	1955	Albert Ghiorso, Bernard G. Harvey, Gregory R. Chopin, Stanley G. Thompson, Glenn T. Seaborg (USA)	en honor a Dimitri Mendeleiev
No	1964	Georgy Fliorov + Albert Ghiorso + 3 (USA)	en honor a Alfred Nobel
Lr	1965	Georgy Fliorov + 5 (RUS); Albert Ghiorso + 3 (USA)	en honor a Ernest O. Lawrence

-
- ¹ Weeks, M. E. Discovery of the elements, 6th ed., Ed. Journal of Chemical Education, Easton, 1960; Marshall, J. L.; Marshall, V. R., *The Hexagon of Alpha Chi Sigma*, 2000-2016, <https://digital.library.unt.edu/explore/collections/HEXA/>; Pinto Cañon, G., ed., *Anales de Química*, 2019, 115(2), 63-180, <https://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/issue/view/79>; <https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.1086/652961>
- ² <https://www.vanderkrogt.net/elements/ptable.php>;

Tabla B1. Principales fuentes minerales de los elementos,¹ abundancia en la corteza terrestre² (ppm) y producción mundial³ (t).

	Minerales	Abundancia	Producción anual (2022)	
G1				
Li	Lepidolita (K(Li,Al) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (F,OH) ₂), espodumeno LiAl(SiO ₃) ₂ , petalita , (LiAl(Si ₂ O ₅) ₂ , amblygonita , hectorita son los minerales más importantes de litio. La mayoría del Li se extrae de salmueras	20		146 000
Na	El compuesto más común es la halita (NaCl), pero aparece en infinidad de minerales: natrón (Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O), criolita (Na ₃ AlF ₆), zeolitas y sodalita. En el mar está en una concentración de 0.47 M	23600	NaCl Na ₂ CO ₃	270 000 000 65 500 000
K	En agua de mar (0.39 g/L). Ortoclasa, granito. Silvita (KCl), silvinita , carnalita (KCl·MgCl ₂ ·6H ₂ O), kainita (MgSO ₄ ·KCl·3H ₂ O) y langbeinita (MgSO ₄ ·K ₂ SO ₄) son minerales presentes en grandes depósitos de evaporitas.	20900	K ₂ O	40 900 000
Rb	Aparece en los minerales polucita (Cs,Na) ₂ Al ₂ Si ₄ O ₁₂ ·2H ₂ O), carnalita, leucita (K[AlSi ₂ O ₆]) and lepidolita, de los que se extrae comercialmente.	90		
Cs	Se encuentra en los minerales polucita y lepidolita. La mayoría de la producción es como subproducto en la obtención del Li.	3		
Fr	Fr-223 es el resultado de la desintegración radiactiva del Ac-223, se hallan trazas en minerales de uranio (uraninita).			
G2				
Be	Minerales de Be: berilo Al ₂ Be ₃ Si ₆ O ₁₈ , bertrandita Be ₄ Si ₂ O ₇ (OH) ₂ , crisoberilo Al ₂ BeO ₄ hambergita Be ₂ (BO ₃)(OH) y fenaquita Be ₂ SiO ₄ . Formas preciosas del berilo: aguamarina, bixbita y esmeralda.	2.8		313
Mg	El Mg está presenta en más de 700 minerales: dolomita CaMg(CO ₃) ₂ , magnesita MgCO ₃ , brucita Mg(OH) ₂ , carnalita KMgCl ₂ ·6H ₂ O y talco Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ tienen importancia comercial. El catión Mg ²⁺ es el segundo más abundante en el agua de mar.	23300	Mg MgO	>1 050 000 21 900 000
Ca	El Ca es uno de los elementos más abundantes en la Tierra. Existen vastos depósitos de piedra caliza CaCO ₃ (calcita), otros minerales: aragonito , yeso CaSO ₄ ·2H ₂ O, anhidrita CaSO ₄ y fluorita CaF ₂ .	41500	lima	430 000 000
Sr	El Sr se halla principalmente en forma de sulfato (celestita , SrSO ₄) y carbonato (estroncianita , SrCO ₃).	370	celestita	514 000
Ba	La principal fuente comercial de Ba es la barita , BaSO ₄ . El otro mineral comercial es witherita (BaCO ₃).	425	BaSO ₄	8 260 000
Ra	El Ra se encuentra en pequeñas cantidades en los minerales de uranio: pechblenda (1.2 g de Ra / 10 t de mineral).			
G13				
B	Minerales boratos: Kernita Na ₂ B ₄ O ₆ (OH) ₃ ·3(H ₂ O), borax Na ₂ B ₄ O ₅ (OH) ₄ ·8H ₂ O, ulexita NaCaB ₅ O ₆ (OH) ₆ ·5H ₂ O, colemanita CaB ₃ O ₄ (OH) ₃ ·H ₂ O, boracita Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	10		> 3 400 000
Al	Feldespatos, micas, criolita Na ₃ AlF ₆ , bauxita AlO _x (OH) _{3-2x} gibbsita Al(OH) ₃ , boehmita , diásporo AlO(OH)	82300	aluminio bauxita alúmina	68 400 000 400 000 000 140 000 000
Ga	Esfalerita (<50 ppm), bauxita (50 ppm), gallita CuGaS ₂	19		610
In	Zn depósitos, roquesita CuInS ₂	0.25		999
Tl	Crookesita TICu ₇ Se ₄ , hutchinsonita TIPbAs ₅ S ₉ , lorandita TlAsS ₂ , trazas en piritas de Fe, trazas en nódulos de Mn	0.85		10
G14				
C	Carbón, grafito	200	carbón ⁴ grafito diamante diamante gema	167.58 EJ 1 1680 000 45 000 000 75 200 000
Si	Silicatos, sílice (SiO ₂) cuarzo , ágata, amatista, cristal de roca, calcedonia, pedernal, jaspe y ópalo	282000	(arena y grava) silicio	359 000 000 >3 690 000
Ge	Germanita (Cu ₂₆ Fe ₄ Ge ₄ S ₃₂), argirodita (Ag ₈ GeS ₆), en minerales de Zn	1.5		>140
Sn	Casiterita (SnO ₂), estannita (Cu ₂ FeSnS)	9.8		305 000
Pb	Galena (PbS), cerusita (PbCO ₃), anglesita (PbSO ₄)	14		4 550 000

	Minerales	Abundancia	Producción anual (2022)
G15			
N	El nitrógeno se encuentra fácilmente disponible como N ₂ , representa el 78% en volumen de la atmósfera. Minerales: nitro, KNO ₃ ; nitratina, NaNO ₃ .	19	amoniaco 150 000 000
P	Fluorapatita , Ca ₅ (PO ₄) ₃ F; hidroxiapatita, Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH (esmalte), monazitas; REPO ₄ ; piromorfita Pb ₅ (PO ₄) ₃ Cl.	1050	fosfatos 228 000 000
As	Arsenopirita , FeAsS; <i>rejalgar</i> , As ₄ S ₄ ; <i>cobaltita</i> , CoAsS; oropimente, As ₂ S ₃ ; arsenolita, As ₂ O ₃ ;	1.8	As ₂ O ₃ 60 100
Sb	Estibina , Sb ₂ S ₃ ; <i>piragirita</i> , Ag ₃ SbS ₃ ; <i>antimonio</i> , Sb; ullmanita, NiSbS	0.2	83 100
Bi	<i>Bismuto</i> , Bi; bismutina , Bi ₂ S ₃ ; bismita, Bi ₂ O ₃ ; Subproducto de procesos de refinado de Pb, Cu, Sn, Ag y Au	0.0085	19 000
G16			
O	Oxígeno esta fácilmente accesible como O ₂ , (21 % en masa de la atmósfera) (estromatolitos)	461000	
S	El azufre se encuentra en grandes depósitos de cristales amarillos, S ₈ . Está ampliamente distribuido en la naturaleza en forma de sulfuros de metales: piritas , galena, esfalerita, cinabrio, etc. y sulfatos: yeso, epsomita (MgSO ₄ ·7H ₂ O), celestita, etc.	350	82 000 000
Se	Se aparece asociado al telurio en minerales de Cu, Pb, Zn, Ag y Au y en sulfuros naturales tales como piritas y blendas. También aparece como selenio Se; crookesita, (Cu,Tl,Ag) ₂ Se; <i>claushtalita</i> , PbSe; <i>naumanita</i> Ag ₂ Se.	0.5	>3 310
Te	Te aparece a veces en estado nativo, pero normalmente se halla en cantidades traza en sulfuros. Minerales de Te: <i>hessita</i> , Ag ₂ Te; <i>calaverita</i> , AuTe ₂ ; <i>petzita</i> , Ag ₃ AuTe ₂ ; <i>silvanita</i> , (Ag,Au)Te ₂	0.001	>584
Po	Po aparece en los minerales de uranio.	0.000	100 g
G17			
F	El flúor se encuentra en los minerales fluorita , CaF ₂ ; criolita (Na ₃ AlF ₆) y <i>fluoroapatita</i> , Ca ₅ (PO ₄) ₃ F.	585	CaF ₂ > 8 320 000
Cl	El cloro se encuentra en la naturaleza como NaCl (sal común) (halita) y otros minerales como carnalita (KMgCl ₃ ·6H ₂ O y <i>silvita</i> , KCl; <i>clorargirita</i> , AgCl.	145	NaCl 270 000 000
Br	El agua de mar contiene 65 ppm de bromo, se extrae de los depósitos de salmuera natural. <i>Bromargirita</i> , AgBr, yodobromita, Ag(I Br)	2.4	> 400 000
I	El yodo (como yoduro) está en el agua de mar en una concentración 0.05 ppm, de donde es asimilado por las algas. También se encuentra en salmueras de depósitos producidos por la evaporación de mares antiguos. <i>Yodargirita</i> , AgI,	0.45	> 30 100
At	Todo el astato natural procede de la desintegración radiactiva de los elementos pesados. Aparece en minerales de uranio, se produce como intermedio en las series de desintegración radiactiva de Np, Th y Ac.	3x10 ⁻²⁰	
G18			
He	Gas natural	0.008	He (m ³) 158 000 000
Ne	Atmósfera (18.2 ppm/V)	0.0051	
Ar	Atmósfera (9340 ppm/V)	3.5	
Kr	Atmósfera (1.14 ppm/V)	0.0001	
Xe	Atmósfera (0.087 ppm/V)	3x10 ⁻⁵	
Rn		4x10 ⁻¹³	

	Minerales	Abundancia	Producción anual (2022)	
1ST				
Sc	<i>Thortveitita</i> , (Sc,Y) ₂ Si ₂ O ₇ ; <i>bazzita</i> , Be ₃ Sc ₂ (Si ₆ O ₁₈); <i>kolbeckita</i> ScPO ₄ ·2H ₂ O.	22	subproducto	15-25
Ti	Rutilo , anatasa, brookita (TiO ₂), <i>ilmenita</i> FeTiO ₃ , <i>titanita</i> CaTi(SiO ₄)O, perovskita CaTiO ₃ .	5650	FeTiO ₃ TiO ₂	8 800 000 640 000
V	<i>Carnotita</i> , K ₂ (UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ ·3H ₂ O; <i>vanadinit</i> , Pb ₅ (VO ₄) ₃ Cl; <i>tyuyamunita</i> Ca(UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ ·5-8H ₂ O, <i>patronita</i> VS ₄ .	120		102 000
Cr	Cromita , FeCr ₂ O ₄ ; magnesiocromita , MgCr ₂ O ₄ ; crocoita , PbCrO ₄ ; uvarovita , Ca ₃ Cr ₂ (SiO ₄) ₃ ; <i>lopezita</i> K ₂ Cr ₂ O ₇ , <i>tarapacaita</i> K ₂ CrO ₄ .	102		41 900 000
Mn	Pirolusita , MnO ₂ ; <i>braunita</i> , (Mn ²⁺ Mn ³⁺) ₆ SiO ₄ O ₈ ; <i>psilomelana</i> (Ba,H ₂ O) ₂ Mn ₅ O ₁₀ , <i>rodocrosita</i> , MnCO ₃ ; <i>espesartina</i> , Mn ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃ . Nódulos de Mn (fondos marinos)	950		19 800 000
Fe	Hematites , Fe ₂ O ₃ ; <i>magnetita</i> Fe ₃ O ₄ ; goethita , FeO(OH); limonita , FeO(OH); <i>siderita</i> , FeCO ₃ ; <i>pirita</i> , FeS ₂ ; <i>calcopirita</i> , CuFeS ₂ .	56300	acero arrabio minerales	1 880 000 000 1 300 000 000 2 500 000 000
Co	Cobaltita , CoAsS; eritrina , Co ₃ (AsO ₄) ₂ ·8H ₂ O; esmalita , (Co,Ni,Fe)As ₃ ; glaucodot , Co ₂ FeAsS. Subproducto de las actividades mineras del Ni y Cu	25		197 000
Ni	limonita , (Fe,Ni)O(OH); garnierita , (Ni,Mg) ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ ; pentlandita , (Ni,Fe) ₉ S ₈ ; <i>niquelina</i> , NiAs; <i>millerita</i> , NiS; <i>gersdorfit</i> , NiAsS.	84		3 270 000
Cu	Cobre nativo , Cu; calcopirita , CuFeS ₂ ; calcocita , Cu ₂ S; covellita , Cu ₂ S; bornita , Cu ₅ FeS ₄ ; <i>azurita</i> , Cu ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂ ; <i>malaquita</i> , Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂ ; <i>cuprita</i> , Cu ₂ O.	60	Cu mineral Cu refinado	21 900 000 25 900 000
Zn	Esfalerita , ZnS; <i>wurtzita</i> , ZnS; <i>hidrocincita</i> , Zn ₅ (CO ₃) ₂ (OH) ₆ ; <i>smithsonita</i> , ZnCO ₃ ; <i>hemimorfita</i> , Zn ₄ Si ₂ O ₇ (OH) ₂ ·H ₂ O.	70		12 500 000
2ST				
Y	Tierras de Ytter : <i>xenotima</i> , (Ln,Y)PO ₄ ; <i>gadolinita</i> , (Ln,Y) ₂ (BeFe ^{II}) ₃ Si ₂ O ₁₀ ; <i>euxenita</i> (Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) ₂ O ₆ ; <i>samarskita</i> (Y,Fe)(Nb ₂ O ₈)	33	Tierras raras	300 000
Zr	Zircón , ZrSiO ₄ ; <i>baddeleyita</i> , ZrO ₂ ; <i>eudialyta</i> , Na ₁₅ Ca ₆ Fe ₃ Zr ₃ Si ₁₂₅ O ₇₃ (O,OH,H ₂ O) ₃ (Cl,OH) ₂	165	Zr mineral	1 440
Nb	Columbita , (Fe,Mn)(Nb ₂ O ₆); pirocloro , A ₂ Nb ₂ (O,OH) ₆ F; <i>euxenita</i>	20		83 700
Mo	Molibdenita , MoS ₂ ; <i>wulfenita</i> , PbMoO ₄ ; <i>powellit</i> , CaMoO ₄ ; <i>molibdita</i> , MoO ₃ .	1.2		253 000
Tc	producto de fisión de minerales de uranio			
Ru	<i>Laurita</i> , RuS ₂ ; y minerales de la mena del Pt (<i>rutenio</i> , Ru, Ir), <i>ruarsita</i> , (Ru,Os)AsS	0.001	Mena Pt*	32
Rh	<i>Hollingworthita</i> , (Rh,Pt,Pd)AsS; <i>cuprorodsita</i> , (Cu _{0.5} Fe _{0.5})Rh ₂ S ₄ , <i>bowieita</i> (Rh,Ir,Pt) ₂ S ₃ , minerales de Pd, Pt, Ag y Au	0.001	Mena Pt*	24
Pd	Minerales de la mena del Pt , <i>merenskyta</i> , PdTe ₂ ; <i>michenerita</i> , PdBiTe; <i>kotulskita</i> , Pd(Te,Bi) _{2-x} ; <i>braggita</i> , PdPt ₃ S ₄ .	0.015	Mena Pt	203
Ag	Plata nativa , Ag; acantita Ag ₂ S, <i>pirargirita</i> , Ag ₃ SbS ₃ ; <i>clorargirita</i> , AgCl; <i>bromargirita</i> , AgBr; galena PbS.	0.075		25 600
Cd	Greenockita , CdS; <i>hawlweyita</i> , CdS; <i>otavita</i> , CdCO ₃ ; <i>ramdohrita</i> Pb _{5.9} (FeMnIn) _{0.3} Cd _{0.2} Ag _{2.8} Sb _{10.8} S ₂₄ ,	0.15		22 600
3ST				
La	<i>Monacita</i> , (Ce, La, Th, Nd, Y)PO ₄ ; <i>bastnasita</i> , (Ce, La, Y)CO ₃ F; <i>dauidita</i> , La(Y,U)Fe ₂ (Ti,Fe,Cr,V) ₁₈ (O,OH,F) ₃₈	39	Tierras raras	300 000
Hf	asociado a minerales de circonio, <i>hafnon</i> , HfSiO ₄	3.0	Zr mineral	1 440
Ta	Tantalitas (Fe,Mn)Ta ₂ O ₆ ; <i>wodginita</i> , MnSnTa ₂ O ₈ .	2.0		2 000
W	Scheelita , CaWO ₄ ; ferberita , FeWO ₄ ; hübnerita , MnWO ₄ ; wolframita , (Mn,Fe ^{II})WO ₄ ; <i>stolzita</i> PbWO ₄ ; <i>tungstita</i> WO ₃ ·H ₂ O.	1.25		79 800
Re	0.2% en molibdenita , <i>renita</i> , ReS ₂ ; <i>tarkianita</i> , (Cu,Fe)(Re,Mo) ₄ S ₈ ,	0.0007		55.1
Os	minerales de la mena del Pt (Os,Ir,Ru); <i>erlichmanita</i> , OsS ₂ ; <i>osarsita</i> , (Os,Ru)AsS	0.0015	Mena Pt*	
Ir	minerales de otros metales Pd, Ag, Pt y Au, (Ir,Os,Ru); <i>irarsita</i> (Ir,Ru,Rh,Pt)AsS; <i>ruteniridosmina</i> (Ir,Os,Ru).	0.001	Mena Pt*	7
Pt	asociado con los otros metales de la mena del Pt y Ag y Au, <i>sperrylita</i> , PtAs ₂ ; <i>moncheita</i> , (Pt,Pd)(Te,Bi) ₂ ; <i>cooperita</i> , PtS; <i>braggita</i> , (Pt,Pd,Ni)S.	0.005	Mena Pt	174
Au	Oro nativo , Au; <i>petzita</i> , Ag ₃ AuTe ₂ ; <i>silvanita</i> , AuAgTe ₄ ; <i>krennerita</i> , Au ₃ AgTe ₈ ; <i>calaverita</i> , AuTe ₂	0.004		3 090
Hg	Cinabrio , HgS; <i>mercurio</i> , Hg; <i>metacinabrio</i> HgS, calomelanos , Hg ₂ Cl ₂ ; <i>coloradita</i> , HgTe.	0.085		1 160

	Minerales	Abundancia	Producción anual (2022)
Ln			
La	Monacita -La LaPO ₄ ; <i> davidita</i> , La(Y,U)Fe ₂ (Ti,Fe,Cr,V) ₁₈ (O,OH,F) ₃₈ ; bastnasita , La(CO ₃)F.	35	Tierras raras 300 000
Ce	Monacita -Ce, CePO ₄ ; <i> allanita</i> , {CaCe}{Al ₂ Fe ²⁺ }(Si ₂ O ₇)(SiO ₄)O(OH); bastnasita -Ce, Ce(CO ₃)F.	66	
Pr	Monacita , Ln ^{III} PO ₄ ; bastnasita Ln ^{III} (CO ₃)F.	9.2	
Nd	Monacita -Nd (NdPO ₄ ; <i> agardita</i> [NdCu ₆ (AsO ₄) ₃ (OH) ₆ ·3H ₂ O], <i> rabdofano</i> , Nd(PO ₄)·H ₂ O; bastnasita , Ln ^{III} (CO ₃)F.	41.5	
Sm	Monacita -Sm SmPO ₄ ; <i> florencita</i> , SmAl ₃ (PO ₄)(OH) ₆ .	7.05	
Eu	Monacita LnPO ₄ ; bastnasita , Ln(CO ₃)F; <i> xenotima</i> LnPO ₄ .	2	
Gd	<i> Lepersonita</i> -Gd, Ca(Gd,Dy) ₂ (UO ₂) ₂₄ (SiO ₄) ₄ (CO ₃) ₆ (OH) ₂₄ ·48H ₂ O; monacita , LnPO ₄ ; <i> xenotima</i> -Gd, GdPO ₄ .	6.2	
Tb	Monacita , LnPO ₄ ; <i> xenotima</i> , LnPO ₄ ; <i> euxenita</i> , (Y,Ca,Er,La,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti) ₂ O ₆ .	1.2	
Dy	<i> Xenotima</i> , <i> gadolinita</i> , (Ce,La,Nd,Y) ₂ Fe ²⁺ Be ₂ Si ₂ O ₁₀	5.2	
Ho	<i> Gadolinita</i> , <i> monacita</i>	1.3	
Er	<i> Xenotima</i> , LnPO ₄ ; <i> euxenita</i> , (Y,Ca,Er,La,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti) ₂ O ₆ .	3.5	
Tm	<i> Gadolinita</i> , <i> monacita</i>	0.52	
Yb	<i> Xenotima</i> , YbPO ₄ ; <i> hingganita</i> , (Yb,Y,REE) ₂ Be ₂ [SiO ₄] ₂ (OH) ₂ ; <i> kelvinita</i> , Yb ₂ Si ₂ O ₇ .	3.2	
Lu	<i> Monacita</i>	0.8	
An			
Ac	minerales de uranio (trazas)		
Th	Monacita (Ce,La,Nd,Th,U)PO ₄ ; <i> Cheralita</i> , CaTh(PO ₄) ₂ ; <i> thorita</i> (ThSiO ₄); <i> thorianita</i> (ThO ₂)	9.6	<i> monacita</i> (conc),2018 6 000
Pa	<i> Uraninita</i> (0.3-3 ppm)		
U	Uraninita "pechblenda" (UO ₂); <i> tyuyamunita</i> Ca(UO ₂) ₂ V ₂ O ₈ ·(5-8)H ₂ O; <i> carnotita</i> K ₂ (UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ ·3H ₂ O; <i> torbernita</i> Cu(UO ₂) ₂ (PO ₄) ₂ ·12H ₂ O; <i> autunita</i> Ca(UO ₂) ₂ (PO ₄) ₂ ·12H ₂ O	2.7	U ₃ O ₈ 58 01
Np-Cm	minerales de uranio (ultratrazas)		
Bk-Lr	nd		

¹ <https://www.mindat.org/elements.php>

² Hynes, W. M.; Lide, D. R.; Bruno, T.J. editors. ABUNDANCE OF ELEMENTS IN THE EARTH'S CRUST AND IN THE SEA. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 97th ed. Taylor & Francis Group, Boca Raton, **2017**, sect. 14, p. 14–17.

³ <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>

⁴ https://www.energyinst.org/_data/assets/pdf_file/0006/1542714/EI_Stats_Review_2024.pdf 1EJ = 1x10¹⁸ J

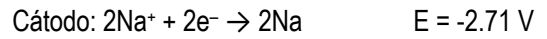
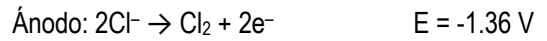
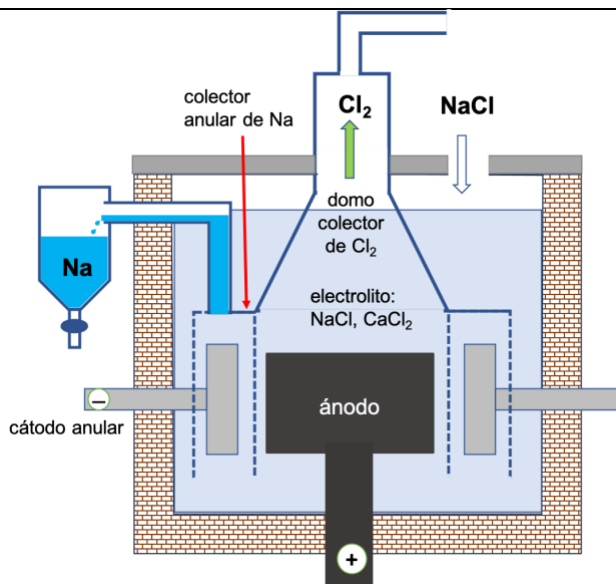
Tabla C1. Métodos de obtención de los elementos

	Método
G1	
Li	El litio se extrae del LiCl mediante electrolisis. Previamente el LiCl es obtenido del espodumeno ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$) mediante calentamiento con CaO para dar LiOH, que posteriormente es convertido en cloruro y también a partir de salmueras.
Na	El sodio se obtiene en el proceso Downs mediante electrolisis de NaCl fundido.
K	<ul style="list-style-type: none"> – El potasio puede obtenerse electrolíticamente a partir de KCl. – Un método más eficiente es mediante la acción de Na vapor a contracorriente sobre KCl fundido en una torre de fraccionamiento. Se obtiene una aleación K-Na cuyos componentes pueden separarse por destilación.
Rb, Cs	Rb y Cs se pueden obtener a partir de RbCl y CsCl, pequeñas cantidades de las cuales se producen como subproductos de la extracción de Li del espodumeno.
Fr	$^{197}\text{Au} + ^{18}\text{O} \rightarrow ^{210}\text{Fr} + 5\text{n}$
G2	
Be	El Be se extrae mediante calentamiento del berilo con Na_2SiF_6 , para dar BeF_2 , que posteriormente es reducido con Mg: $\text{BeF}_2 + \text{Mg} \rightarrow \text{Be} + \text{MgF}_2$
Mg	<ul style="list-style-type: none"> – La dolomita se descompone térmicamente para dar una mezcla de MgO y CaO. MgO se reduce con ferrosilicio en contenedores de Ni, el Mg se aísla mediante destilación a vacío: $2\text{MgO} + 2\text{CaO} + \text{FeSi} \rightarrow 2\text{Mg} + \text{Ca}_2\text{SiO}_4 + \text{Fe}$ – La electrolisis de MgCl_2 fundido se aplica para la extracción del metal a partir del agua de mar
Ca	El Ca se obtiene por aluminotermia y por electrolisis de CaCl_2 fundido (Solvay) y CaF_2
Sr, Ba	<ul style="list-style-type: none"> – Sr y Ba se extraen por reducción de los correspondientes óxidos con Al: $6\text{SrO}(\text{s}) + 2\text{Al}(\text{s}) \rightarrow 3\text{Sr}(\text{s}) + \text{SrAl}_2\text{O}_4(\text{s})$ – También por electrolisis de SrCl_2
Ra	Los isótopos Ra-223, -224, -225, -226 y -228 se obtienen como productos intermedios en las series radiactivas
G13	
B	<ul style="list-style-type: none"> – Reducción del óxido con metales a altas temperaturas – Reducción electrolítica de boratos fundidos o KBF_4 en KCl/KF a 800°C – Reducción de compuestos volátiles de B con H_2 – Descomposición térmica de hidruros y haluros de boro
Al	Electrolisis de Al_2O_3 disuelto en criolita fundida (Na_3AlF_6)
Ga	La mayoría del Ga se extrae de la bauxita. Electrolisis de galato de sodio
In	Subproducto de procesos electrolíticos para la obtención de Pb y Zn
Tl	Electrolisis de Tl_2SO_4
Nh	$^{219}_{83}\text{Bi} + ^{70}_{30}\text{Zn} \rightarrow ^{278}_{113}\text{Nh} + ^1_0\text{n}$
G14	
C	<ul style="list-style-type: none"> – Diamante y grafito, en minas – Coque se obtiene por pirolisis de carbón – Grafito sintético mediante el proceso Acheson
Si	<ul style="list-style-type: none"> – Si (pureza 96-99%) reducción de cuarcita o arena con coque de alta pureza en horno de arco eléctrico: $\text{SiO}_2(\text{s}) + 2\text{C}(\text{s}) \rightarrow \text{Si}(\text{s}) + 2\text{CO}(\text{g})$ – Si (muy puro) para aplicación en semiconductores se obtiene a partir de SiCl_4 o de SiHCl_3, y posterior reducción con Zn o Mg ultrapuros. Si se funde y se crece en grandes cilindros en forma de monocristal, finalmente se refina luego por zonas
Ge	El GeO_2 , se reduce con H_2 a 530°C . Se purifica para dar Ge (grado de semiconductor) mediante refinado por zonas
Sn	Fundición de óxido de estaño: SnO_2 + carbono en un horno para dar Sn (l)
Pb	$\text{PbS}(\text{s}) + 1.5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{PbO}(\text{s}) + \text{SO}_2(\text{g})$ $\text{PbO}(\text{s}) + \text{C}(\text{s}) \rightarrow \text{Pb}(\text{l}) + \text{CO}(\text{g})$; $\text{PbO}(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) \rightarrow \text{Pb}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{g})$
Fl	$^{244}_{94}\text{Pu} + ^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow ^{292}_{114}\text{Fl}^* \rightarrow ^{289}_{114}\text{Fl} + 3^1_0\text{n}$

Método	
G15	
N	El N ₂ se obtiene comercialmente por destilación de aire líquido, ya que el O ₂ (l) hierve a -183 °C y N ₂ (l) a -195.8 °C. A escala de laboratorio se puede obtener N ₂ mediante descomposición de aziduro de sodio, NaN ₃
P	Rocas de fosfato trituradas se tratan con carbón en un horno eléctrico a 1200 - 1400 °C. En estas condiciones el fósforo se separa por destilación $2 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 (\text{s}) + 6 \text{SiO}_2 (\text{s}) + 10 \text{C} (\text{s}) \rightarrow 6 \text{CaSiO}_3 (\text{s}) + 10 \text{CO} (\text{g}) + \text{P}_4 (\text{s})$
As	El arsénico se obtiene por reducción de su óxido con carbón: $\text{As}_4\text{O}_6 (\text{s}) + 10 \text{C} (\text{s}) \rightarrow 6 \text{CO} (\text{g}) + \text{As}_4 (\text{s})$
Sb	El antimonio se obtiene por reducción del sulfuro con hierro: $\text{Sb}_2\text{S}_3 (\text{s}) + 3 \text{Fe} (\text{s}) \rightarrow 3 \text{FeS} (\text{g}) + 2 \text{Sb} (\text{s})$ También por reducción de óxido de antimonio (obtenido por tostado de sulfuros) con carbón
Bi	Se obtiene industrialmente como subproducto en las plantas de obtención de Pb, Zn y Cu
Fl	$^{243}_{95}\text{Am} + ^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow ^{287}_{115}\text{Mc} + 4 \text{}^1_0\text{n} \rightarrow ^{283}_{113}\text{Nh} + ^4_2\text{He}$ $^{243}_{95}\text{Am} + ^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow ^{288}_{115}\text{Mc} + 3 \text{}^1_0\text{n} \rightarrow ^{284}_{113}\text{Nh} + ^4_2\text{He}$
G16	
O	<ul style="list-style-type: none"> - O₂ se obtiene comercialmente por destilación de aire líquido (pe O₂ = -183 °C y pe N₂ = -195.8 °C) - Pasando una corriente de aire seco a través de lechos de zeolita se absorbe el N₂ y se libera O₂ al 90% to 93% - Se puede obtener por electrolisis del agua
S	<ul style="list-style-type: none"> - Como mineral en forma de azufre elemental (producido por la acción de bacterias sobre depósitos de sulfato). Se extrae mediante el proceso Frasch - Hoy en día, se produce a partir de combustibles fósiles (proceso Claus)
Se	La mayoría de Se elemental se obtiene como subproducto del refinado electrolítico del Cu o en la producción de H ₂ SO ₄
Te	<ul style="list-style-type: none"> - La principal fuente de Te es a partir de los barros anódicos durante el refinado electrolítico del Cu - Es el componente del polvo de los altos hornos del refinado del plomo
Po	Se obtiene bombardeando ²⁰⁹ Bi con neutrones para dar ²¹⁰ Bi, el isótopo padre del polonio: ²¹⁰ Bi (β- desint) → ²¹⁰ Po
Lv	$^{248}_{96}\text{Cm} + ^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow ^{296}_{116}\text{Lv}^* \rightarrow ^{293}_{116}\text{Lv} + 3 \text{}^1_0\text{n} \rightarrow ^{289}_{114}\text{Fl} + \alpha$
G17	
F	Numerosos químicos, conocidos como los mártires del flúor, murieron o enfermaron por intentar aislar dicho elemento. En 1886 Henri Moissan consiguió aislar el F ₂ mediante electrolisis de una mezcla de HF y KF.
Cl	A nivel industrial el cloro se produce por electrolisis de salmuera mediante el proceso cloro-álcali.
Br	El bromo se obtiene tratando salmueras ricas en bromo con una corriente de Cl ₂ gas $2 \text{Br}^- + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{Cl}^- + \text{Br}_2$
I	El yodo se obtiene a partir de salmuera purificada y tratada con H ₂ SO ₄ , luego el yoduro es oxidado mediante una corriente de Cl ₂ gas. $2 \text{HI} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{I}_2 \downarrow + 2 \text{HCl}$
At	El astato se produjo por primera vez mediante bombardeo de bismuto-209 con partículas α de alta energía. Isótopos de At (energía de α, MeV): ²¹¹ At (26); ²¹⁰ At (40); ²⁰⁹ At (60)
Ts	$^{249}_{97}\text{Bk} + ^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow ^{297}_{117}\text{Ts}^* \rightarrow ^{294}_{117}\text{Ts} + 3 \text{}^1_0\text{n} \text{ (1 event)}$ $^{249}_{97}\text{Bk} + ^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow ^{297}_{117}\text{Ts}^* \rightarrow ^{293}_{117}\text{Ts} + 4 \text{}^1_0\text{n} \text{ (5 event)}$
G18	
He	<ol style="list-style-type: none"> 1. A partir de gas natural mediante condensación a baja temperatura, en una primera etapa que produce He < 80 %, 2. Purificación por eliminación de otros gases (CH₄, N₂, H₂, Ar).
Ne	Destilación fraccionada del aire, fracción 1 (N ₂ con He y Ne)
Ar	Destilación fraccionada del aire, fracción 2 (N ₂ con Ar), fracción 3 (O ₂ con Ar)
Kr	Destilación fraccionada del aire, fracción 4 (O ₂ con Kr y Xe)
Xe	Destilación fraccionada del aire, fracción 4 (O ₂ con Kr y Xe)

	Método
1ST	
Sc	1. Electrolisis: $\text{ScCl}_3 + \text{KCl} + \text{LiCl}$ en Zn(cátodo) \rightarrow Sc/Zn (aleación) \rightarrow Sc (por destilación) 2. Reducción química: ScF_3 (Ca) en Zn + LiF (1100 °C; He atmósfera) \rightarrow Sc/Zn (aleación) \rightarrow Sc (por destilación)
Ti	1. Proceso Kroll: $1) \text{TiO}_2 + 2 \text{C} + 2 \text{Cl}_2 \rightarrow \text{TiCl}_4 + 2 \text{CO}$; $2) \text{TiCl}_4 + 2 \text{Mg} \rightarrow \text{Ti} + 2 \text{MgCl}_2$ 2. Purificación: método van Arkel-de Boer: $\text{TiI}_4 \rightarrow \text{Ti} + 2 \text{I}_2$
V	1. Conversión química: $\text{V}(\text{mineral}) + \text{NaCl/NaCO}_3$ (850 °C) + $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{V}_2\text{O}_5 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (red cake) $\rightarrow \text{V}_2\text{O}_5$ 2. Reducción química: $\text{V}_2\text{O}_5 + 5 \text{Ca}$ (950 °C) $\rightarrow 2 \text{V} + 5 \text{CaO}$
Cr	1. Conversión química: $2 \text{FeCrO}_4 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$ (s) + $2 \text{Na}_2\text{CrO}_4$ (aq) + 2CO_2 (g) Conversión química: $2 \text{Na}_2\text{CrO}_4$ (aq) + $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{Na}_2\text{SO}_4$ (aq) + H_2O 2. Reducción: $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{coque} \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_3$ 3. Aluminotermia: $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2 \text{Al} \rightarrow 2 \text{Cr} + \text{Al}_2\text{O}_3$
Mn	– Aluminotermia: $3 \text{MnO} + 2 \text{Al} \rightarrow 3 \text{Mn} + \text{Al}_2\text{O}_3$ – Electrolisis: $\text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mn} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \frac{1}{2} \text{O}_2$
Fe	Alto horno: reducción: $3 \text{Fe}_2\text{O}_3$ (s) + CO (g) $\rightarrow 2 \text{Fe}_3\text{O}_4$ (s) + CO_2 (g) reducción: Fe_3O_4 (s) + CO (g) $\rightarrow 3 \text{FeO}$ (s) + CO_2 (g) descomp. caliza: CaCO_3 (s) $\rightarrow \text{CaO}$ (s) + CO_2 (g) formación CO: C (s) + CO_2 (g) $\rightarrow 2 \text{CO}$ (g) reducción: FeO (s) + CO (g) $\rightarrow \text{Fe}$ (s) + CO_2 (g) escoria: $\text{SiO}_2 + \text{CaO} \rightarrow \text{CaSiO}_3$
Co	– Aluminotermia: $3 \text{Co}_3\text{O}_4 + 8 \text{Al} \rightarrow 4 \text{Al}_2\text{O}_3$ (s) + 9Co – Alto horno: $\text{Co}_3\text{O}_4 + 2 \text{C} \rightarrow 2 \text{CO}_2$ (g) + 3Co
Ni	1. Reducción: $\text{NiO}(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Ni}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 2. Purificación, (Mond): $\text{Ni}(\text{s}) + 4 \text{CO}(\text{g}) \rightarrow \text{Ni}(\text{CO})_4(\text{g})$ $\text{Ni}(\text{CO})_4(\text{g})$ (calentado 220–250 °C) $\rightarrow \text{Ni}(\text{s}) + 4 \text{CO}(\text{g})$
Cu	1. Conversión química: $2 \text{CuFeS}_2 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{FeO} + 2 \text{CuS} + 2 \text{SO}_2$ Tostación: $2 \text{Cu}_2\text{S}(\text{s}) + 3 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{Cu}_2\text{O}(\text{s}) + 2 \text{SO}_2(\text{g})$ Reducción: $\text{Cu}_2\text{S}(\text{s}) + 2 \text{Cu}_2\text{O}(\text{s}) \rightarrow 6 \text{Cu}(\text{s}) + \text{SO}_2(\text{g})$ Reducción: $3 \text{Cu}_2\text{S}(\text{s}) + 3 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 6 \text{Cu}(\text{s}) + 3 \text{SO}_2(\text{g})$ 2. Refino electrolítico: Ánodo: $\text{Cu}(\text{s}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$ Cátodo: $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$
Zn	– Pirometalurgia tostación: $\text{ZnS}(\text{s}) + \frac{3}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{ZnO}(\text{s}) + \text{SO}_2(\text{g})$ tostación: $\text{ZnCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{ZnO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$ reducción: $\text{ZnO}(\text{s}) + \text{C} \rightarrow \text{Zn}(\text{s}) + \text{CO}(\text{g})$ – Electrodeposición: lixiviación: $\text{ZnO}(\text{s}) + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ electrolisis: $2 \text{ZnSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Zn}(\text{s}) + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2$

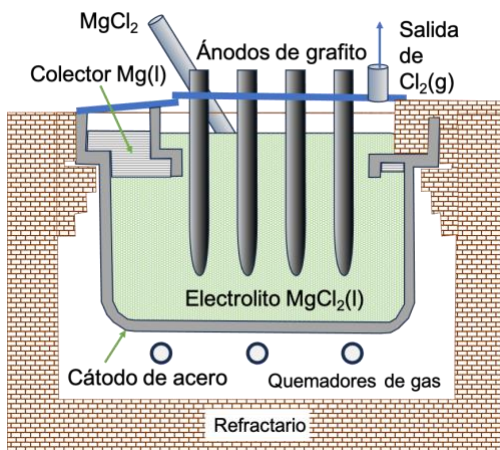
	Método
2ST, 3ST	
Y, La	1. $M_2O_3 + HF \rightarrow MF_3 + \text{reducción (Ca)} \rightarrow + CaF_2 + \mathbf{M/Ca}$ (aleación) 2. M/Ca (aleación) $1100\text{ }^\circ\text{C} \rightarrow \mathbf{M}$ (esponja) + Ca (gas)
Zr, Hf	1. Proceso Kroll: $MO_2 + 2 C + 2 Cl_2 \rightarrow MCl_4 + CO$ (Hf y Zr se separan por destilación fraccionaria de los complejos $POCl_3$ de $ZrCl_4$ y $HfCl_4$) $MCl_4 + 2 Mg \rightarrow \mathbf{M} + 2 MgCl_2$ 2. Purificación (método van Arkel-de Boer): $M + 2 I_2 (500\text{ }^\circ\text{C}) \rightarrow MI_4$ $MI_4 (1700\text{ }^\circ\text{C}) \rightarrow \mathbf{M} + 2 I_2$
Nb, Ta	– Electrolisis de las sales fundidas $K_2[NbOF_5]$ o $K_2[TaF_7]$ – Reducción con Na de fluoruros a $800\text{ }^\circ\text{C}$: $MF_5 + 5 Na \rightarrow \mathbf{M} + 5 NaF$ – Reducción de Nb_2O_5 o Ta_2O_5 con carbón a $1700\text{-}2300\text{ }^\circ\text{C}$: $M_2O_5 + C \rightarrow 2 \mathbf{M} + 5 CO$
Mo, W	Reducción con H_2 $MoO_3 + 3 H_2 \rightarrow \mathbf{Mo} + 3 H_2O (1000\text{ }^\circ\text{C})$ $WO_3 + 3 H_2 \rightarrow \mathbf{W} + 3 H_2O (800\text{ }^\circ\text{C})$
Re	1. Conversión química: $Re_2O_7 + NH_3(aq) + H_2O \rightarrow 2 NH_4ReO_4$ 2. Reducción con H_2 : $2 NH_4ReO_4 + 7 H_2 \rightarrow 2 \mathbf{Re} + 8 H_2O + 2 NH_3$
PGM	Metales de la mena del platino: Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Os; Au, Ag (Ver esquema 16.1)
Ag	Copelación de minerales de plomo argentífero: $Ag (s) + 2Pb (s) + O_2 (g) \rightarrow 2 PbO (absorbida) + \mathbf{Ag} (l)$
Cd	Se obtiene como subproducto del proceso de fundición del cinc. El Cd se separa del Zn por destilación a vacío del Zn fundido
Hg	Reducción por tostación: HgS (cinabrio) + $O_2 \rightarrow \mathbf{Hg} (g) + SO_2 (g)$
Ln	
RREE	– Los lantánidos se obtienen a partir de sus minerales $(Ln, Y)PO_4$ y $(La, Ln, Th)[(P, Si)O_4]$ mediante tratamiento con H_2SO_4 concentrado y caliente ($120\text{-}150\text{ }^\circ\text{C}$) 1. Conversión química: $Ln_2(SO_4)_3 + 3 H_2Ox \rightarrow Ln_2Ox_3 + 3 H_2SO_4$ $Ln_2Ox_3 + 3/2 O_2 \rightarrow Ln_2O_3 + 12 CO_2$ $Ln_2O_3 + 6 HF \rightarrow 2 LnF_3 + 3 H_2O$ 2. Reducción de sus LnX_3 (X: F, Cl) anhidros, en atmósfera de Ar. $2 LnF_3 + 3 Ca \rightarrow 2 \mathbf{Ln} + 3 CaF_2$ – Electrolisis de sus haluros fundidos $LnCl_3/NaCl \rightarrow \mathbf{Ln} + Cl_2$ $LnCl_3/CaCl_2 \rightarrow \mathbf{Ln} + Cl_2$ – Reducción con lantano de los óxidos $Ln_2O_3 + 2 La \rightarrow \mathbf{Ln} + La_2O_3$ Ln: Sm, Eu, Yb
An	
Ac	$^{226}Ra + ^1_0n \rightarrow ^{227}Ra + \gamma$; $^{227}Ra \rightarrow ^{227}Ac + \beta^-$
Th	reducción de ThO_2 con Ca o $ThCl_4$ con Ca o Mg, en atmósfera de Ar $ThO_2 + 2 Ca \rightarrow Th + 2 CaO$ $ThCl_4 + 2 Ca \rightarrow Th + CaCl_2$
Pa	reducción de PaF_4 con Ca, Li o Ba a $1300\text{-}1500\text{ }^\circ\text{C}$. $^{230}Th + ^1_0n \rightarrow ^{231}Th + \gamma$; $^{231}Th \rightarrow ^{231}Pa + \beta^-$
U	El uranio se obtiene por tratamiento de UO_2 con HF a $550\text{ }^\circ\text{C}$ para dar UF_4 , que se reduce con Ca o Mg. $UO_2 + 4 HF \rightarrow UF_4 + 2 H_2O$ $UF_4 + 2 Ca \rightarrow U + CaF_2$
Np	$^{238}U + ^1_0n \rightarrow ^{237}U + 2 ^1_0n$; $^{237}U \rightarrow ^{237}Np + \beta^-$
Pu	$^{238}U + ^1_0n \rightarrow ^{239}U + \gamma$; $^{239}U \rightarrow ^{239}Np + \beta^-$; $^{239}Np \rightarrow ^{239}Pu + \beta^-$
Am	$^{239}Pu + 2 ^1_0n \rightarrow ^{241}Pu + \gamma$; $^{241}Pu \rightarrow ^{241}Am + \beta^-$ $^{239}Pu + 4 ^1_0n \rightarrow ^{243}Pu + \gamma$; $^{243}Pu \rightarrow ^{243}Am + \beta^-$
Cm	$^{241}Am + ^1_0n \rightarrow ^{242}Am + \gamma$; $^{242}Am \rightarrow ^{242}Cm + \beta^-$ $^{243}Am + ^1_0n \rightarrow ^{244}Am + \gamma$; $^{244}Am \rightarrow ^{244}Cm + \beta^-$
Bk-Fm	$^{242}Pu / ^{243}Am / ^{244}Cm + (\text{multiple } n, \beta^-) \rightarrow ^{249}Bk, ^{252}Cf, ^{253}Es, ^{257}Fm$
Md-Lr	$^{253}Es + 4He \rightarrow ^{256}Md + 1 n$ $^{248}Cm + ^{18}O \rightarrow ^{259}No + 3 ^1_0n + 4He$ $^{249}Cf + ^{12}C \rightarrow ^{255}No + 2 ^1_0n + 4He$ $^{248}Cm + ^{15}N \rightarrow ^{260}Lr + 3 ^1_0n$ $^{249}Cf + ^{11}B \rightarrow ^{256}Lr + 4 ^1_0n$



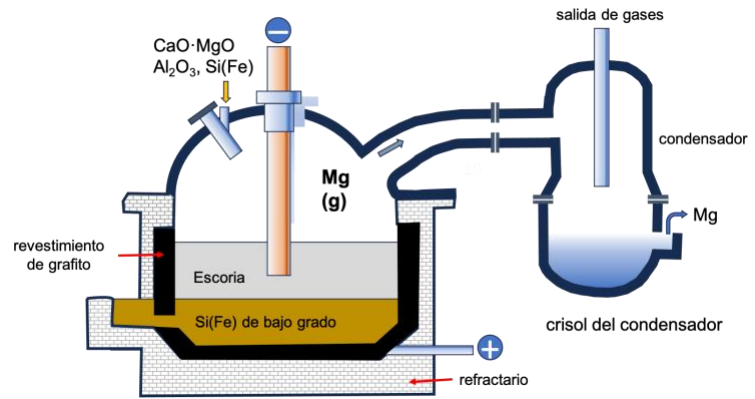
Condiciones industriales:

- Voltaje de la celda: 6.5 - 7 V
- Intensidad de corriente: < 45 kA,
- Temperatura: 590-610 °C
- Eficiencia de la corriente: 80-90%
- Consumo de energía: 9.8 - 10.5 kWh/kg Na

Figura 7.2. Proceso Downs para la obtención de sodio metal y condiciones industriales del mismo.¹



(a)



(b)

Figura 8.2. Producción de Mg metal, (a) Proceso Dow (b) Proceso silicotérmico.²

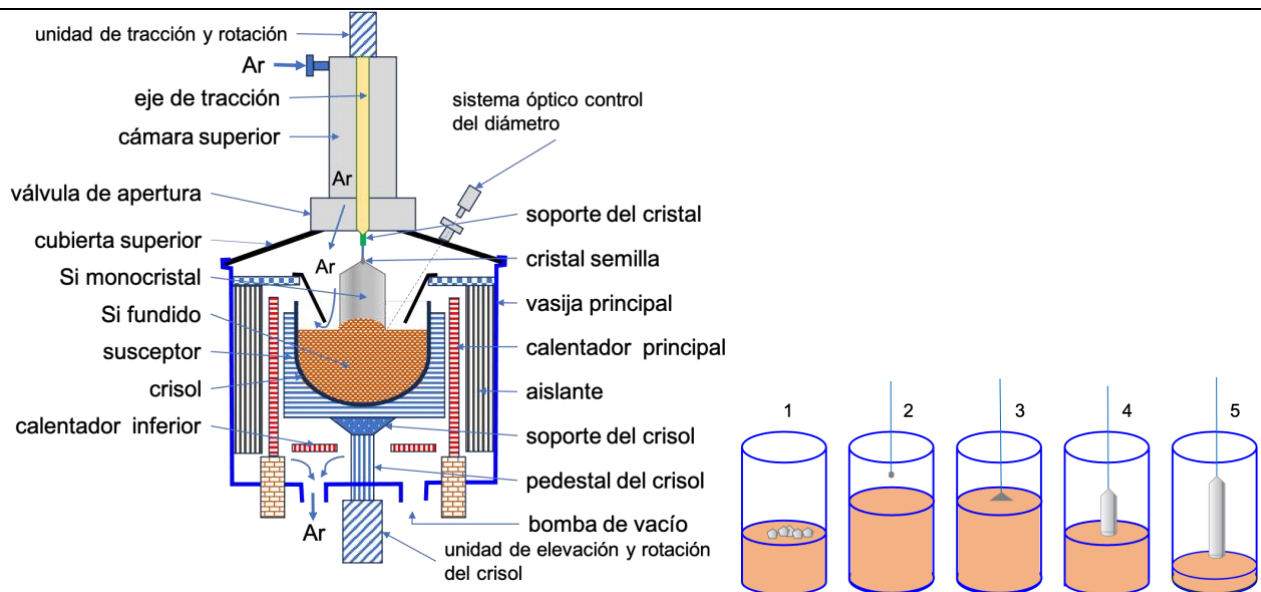


Figura 10.1. Esquema de un cristalizador Czochralski para la obtención de Si de alta pureza. Proceso: (1) Fusión de polisilicio (2) Introducción del cristal semilla, (3) Inicio del crecimiento cristalino, (4) Extracción del cristal, (5) Formación del monocristal de Si.³

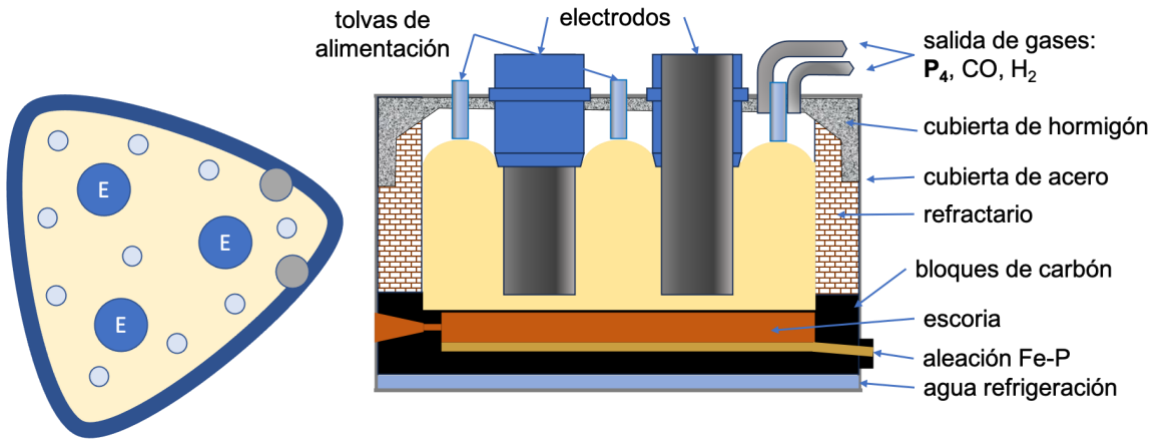


Figura 11.1. Esquema de un horno de arco sumergido para la producción de fósforo blanco⁴

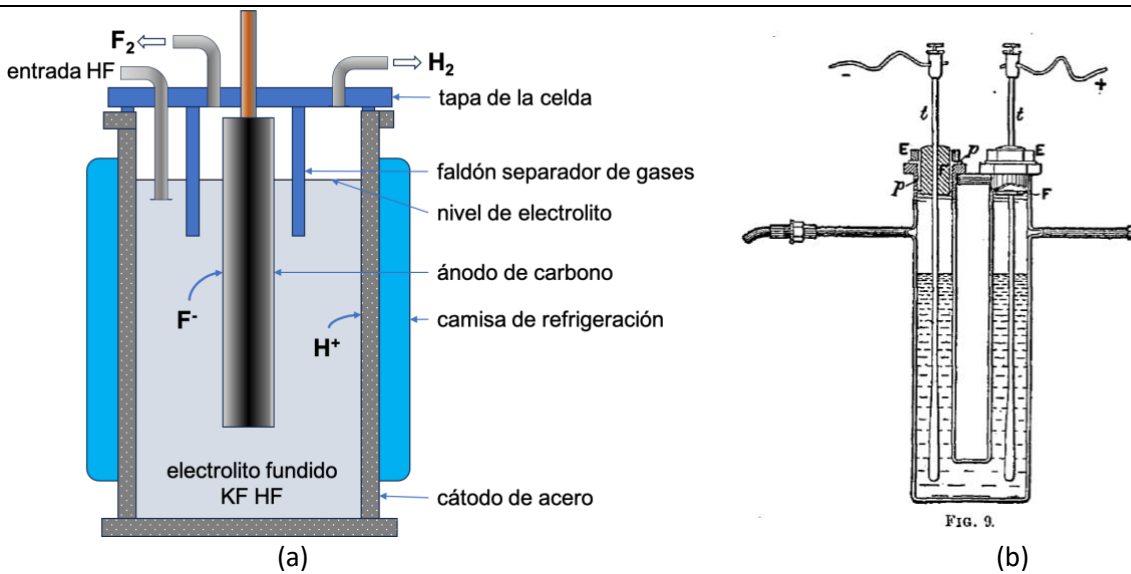


Figura 13. 1. (a) Esquema de una celda electrolítica para producir flúor,⁵ (b) Aparato empleado por Moissan.⁶

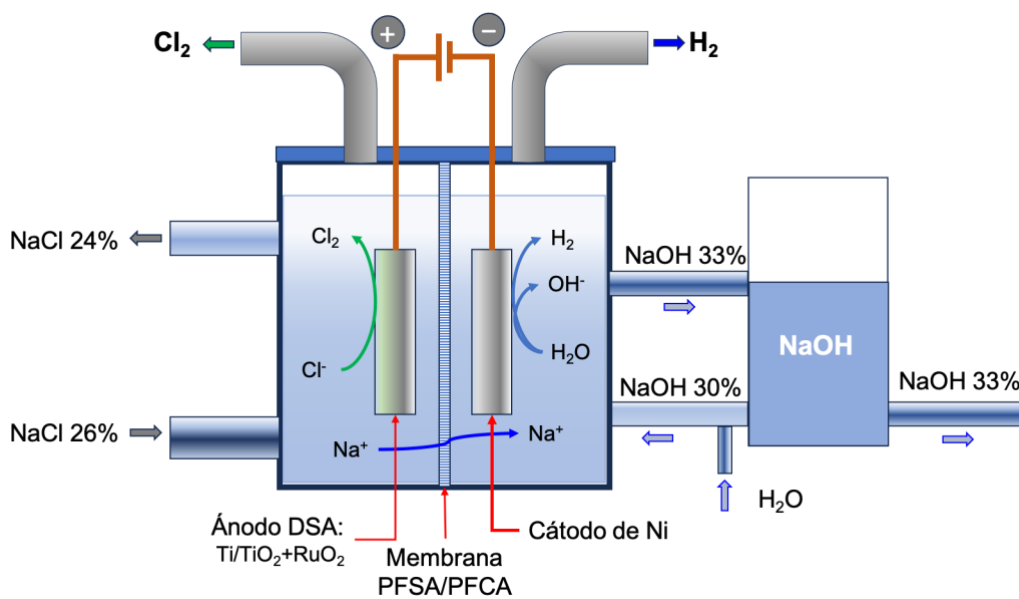


Figura 13. 2. Esquema de una celda electrolítica de membrana para generar cloro (proceso cloro-álcali)⁷

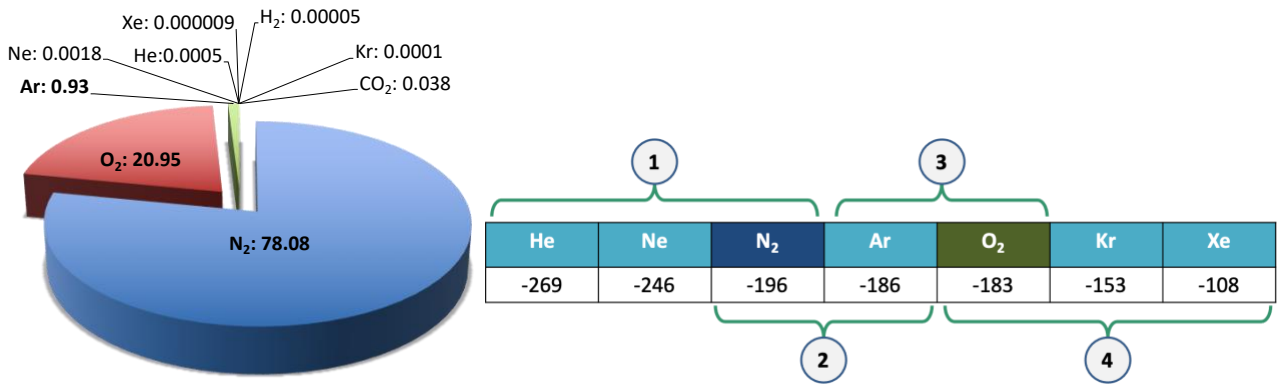


Figura 14.1. Composición del aire seco. Fracciones de la destilación fraccionada del aire líquido (1) fracción de N₂; (2) N₂+Ar; (3) Ar+O₂; (4) fracción de oxígeno.

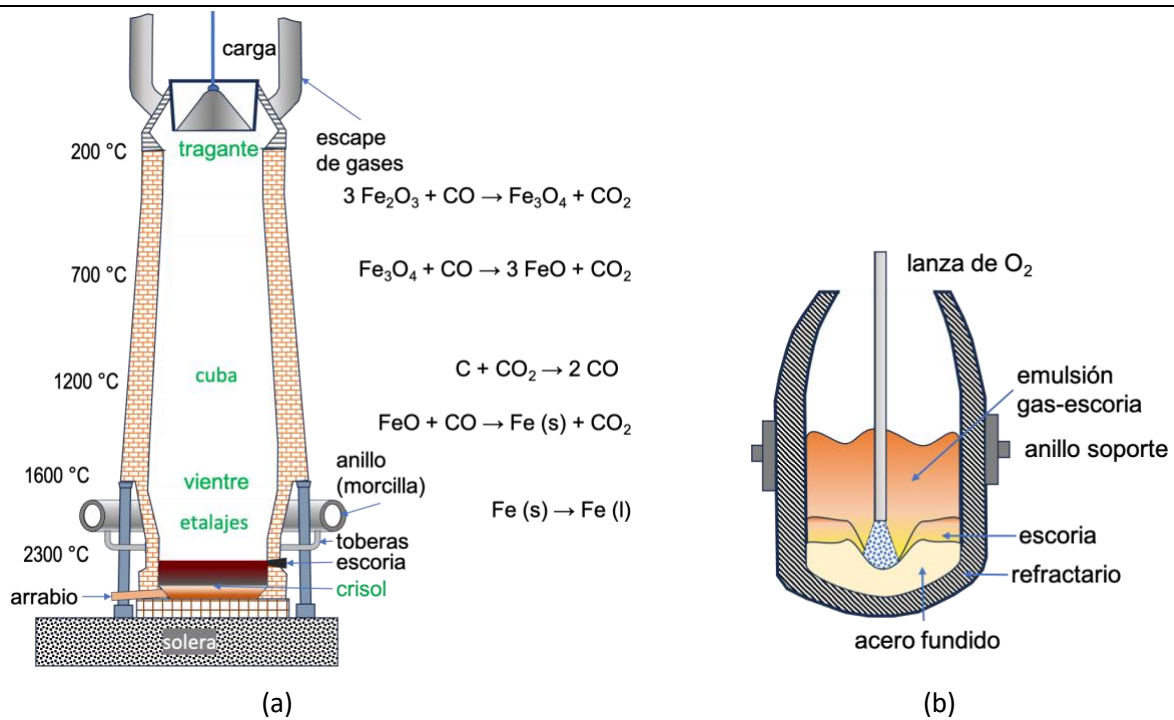
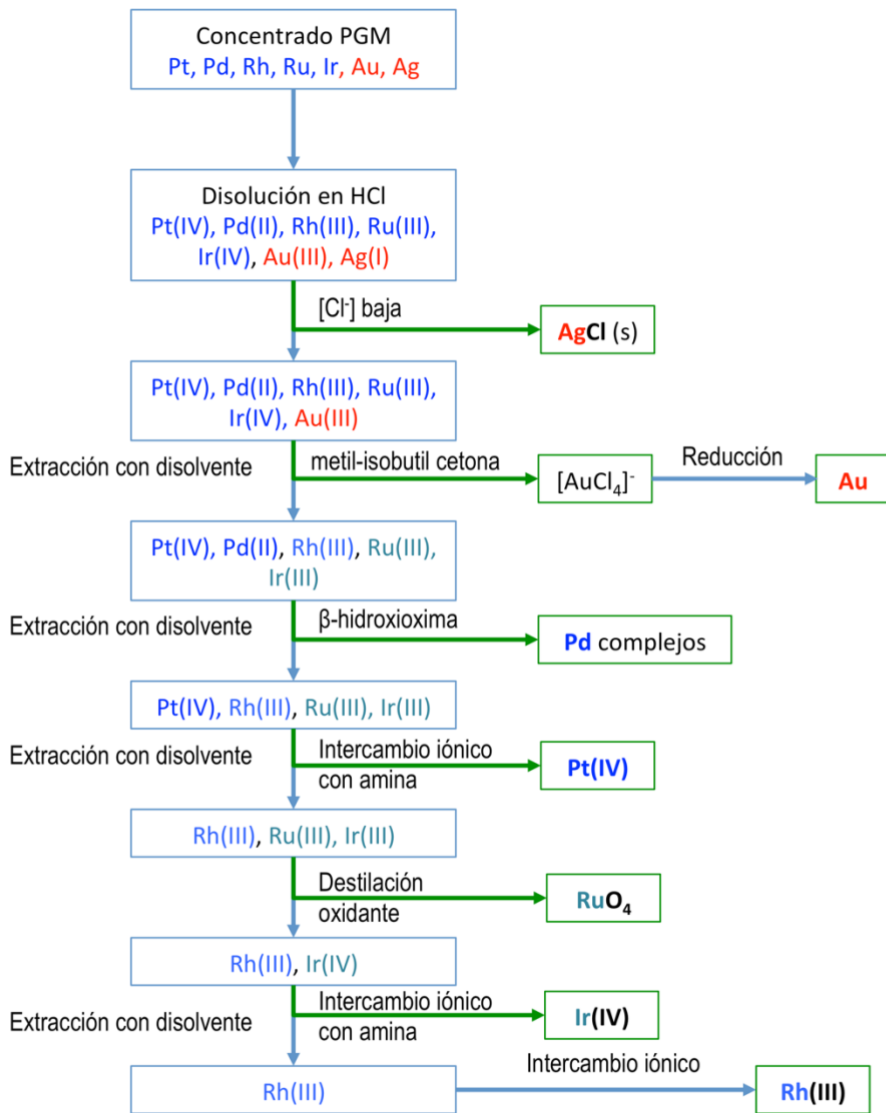


Figura 15. 1. (a) Esquema de un alto horno para la producción de hierro.⁸ (b) Convertidor LD para la obtención de acero



Esquema 16. 1. Moderno método de separación de los metales PGM mediante extracción con disolvente / intercambio iónico.⁹

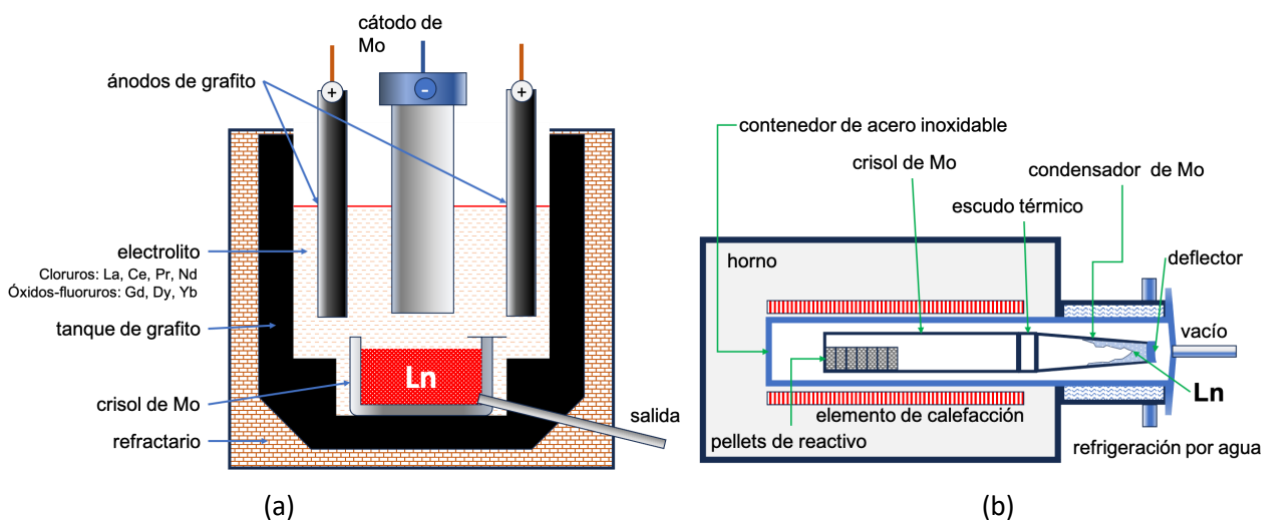


Figura 17. 1. (a) Esquema de un horno para electrolisis de sales fundidas. (b) Esquema de un horno para la reducción térmica a altas temperaturas.¹⁰

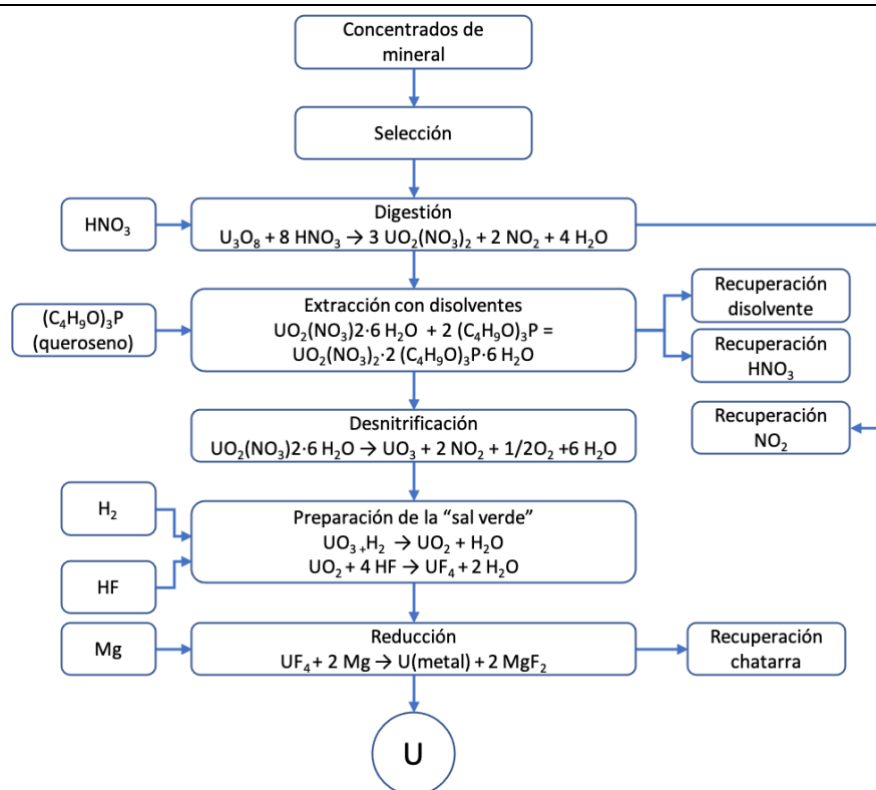


Figura 18. 1. Esquema de la producción de uranio metal por reducción con magnesio.¹¹

- ¹ Downs, J. C., Electrolytic process and cell, US PAT 1501756, 1924.
- ² Faure, C.; Marchal, J.; Magnesium by the Magnetherm process. *J. of Metals*, **1964**, 721-723; Sharma, R. A., A new electrolytic magnesium production process. *JOM*, **1996**, 48, 39-43. doi:10.1007/bf03223100.
- ³ Zulehner, W.; Neuer, B.; Rau, G., Silicon. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2012, vol 32, p. 573. doi: 10.1002/14356007.a23_721.
- ⁴ Dresen, C.C.; Voncken, J.H.L.; Schipper, W.; de Ruiter, R.; Reuter, M. A., Optimisation of pellet production in a phosphorous furnace. TMS Annual Meeting, Extraction & Processing Division **2002**, 435-448.
- ⁵ Greenwood, N. N., Earnshaw, A., Chemistry of the elements, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 1997, p.797.
- ⁶ Moissan, H., Le fluor at ses composés. Steinheil ed., Paris, 1900. p.72.
- ⁷ O'Brien, F.; Bommaraju, T. V.; Hine, F., Handbook of Chlor-Alkali Technology. Springer. New York, 2005.
- ⁸ Habashi, F., (ed)., Handbook of Extractive metallurgy, vol 1., Wiley-VCH, Weinheim, 1997;
- ⁹ Bernardis, F. L.; Grant, R. A.; Sherrington, D. C., A review of methods of separation of the platinum-group metals through their chloro-complexes. *React. Funct. Polymer*. **2005**, 65, 205-217.
- ¹⁰ Liu, H.; Zhang, Y.; Luan, Y.; Yu, H.; Li, D., Research Progress in Preparation and Purification of Rare Earth Metals. *Metals*, **2020**, 10, 1376. doi.org/10.3390/met10101376
- ¹¹ Morss, L.R.; Edelstein, N. M.; Fuger J., (Eds.) The Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements, 3^a ed., Springer, Dordrech, 2008, p. 320.

Tabla D1. Grupo 1. Propiedades atómicas y físicas de los elementos del grupo 1.

G1	H	Li	Na	K	Rb	Cs	Fr
Número atómico, Z	1	3	11	19	37	55	87
Conf. electrónica	1s ¹	[He]2s ¹	[Ne]3s ¹	[Ar]4s ¹	[Kr]5s ¹	[Xe]6s ¹	[Rn]7s ¹
		² S _{1/2}	² S _{1/2}	² S _{1/2}	² S _{1/2}	² S _{1/2}	² S _{1/2}
Nº isótopos naturales	2	2	1	2+1 (1.248x10 ⁹ a)	1+1 (4.88x10 ¹⁰ a)	1	(223) (22 min, β ⁻)
Peso atómico (IUPAC)	[1.00784, 1.00811]	[6.938; 6.997]	22.98976928(2)	39.0983(1)	85.4678(3)	132.90545196(6)	223.020
Término	² S _{1/2}	² S _{1/2}	² S _{1/2}	² S _{1/2}	² S _{1/2}	² S _{1/2}	² S _{1/2}
ΔH _I kJ mol ⁻¹							
I ₁	1312.049	520.22	495.85	418.81	403.03	375.70	392.96
I ₂		7298.16	4562.44	3051.35	2633.034	2234.35	
ΔH _{AE} kJ mol ⁻¹	-72.769	-59.632	-52.867	-48.383	-46.884	-45.505	-47.37
χ _{Pauling}	2.200	0.980	0.930	0.820	0.820	0.790	0.7
r _{MET} pm		156.4	191.1	237.0	253.9	273.5	348
r _{COV} (CSD) pm	31	128(7)/	166(9)/	203(12)	220(9)	244(11)	242
r _{COV} (Pyykko) pm	32	133	155	196	210	232	223
r _{ION} (M ⁺ , NC=6) pm	(M) 139.9	90	116	152	166	181	194
r _{ATOM} pm	154	220	225	234	240	249	258
r _{vdw} pm	120	128	166	203	220	244	242
p.f. °C	-259.20	180.54	97.8	63.2	39.3	28.5	27
p.e. °C	-252.76	1339	881.7	758	688	671	673
ΔH _{ATOM} kJ·mol ⁻¹	218.0	159.3	107.3	89.0	80.9	76.5	75
ρ (25 °C) g·cm ⁻³		0.534	0.970	0.890	1.530	1.930	2.48
σ (0 °C) Ω ⁻¹ m ⁻¹		1.17x10 ⁷	2.31x10 ⁷	1.54x10 ⁷	8.66x10 ⁶	5.33x10 ⁶	3.3x10 ⁵
k (25 °C) Wm ⁻¹ K ⁻¹		84.8	142	102.5	58.2	35.9	14.5
E (300 K) GPa		4.91	6.8-10	3.53	2.35	1.70	
Color de la llama		rojo	amarillo	violeta	azul/violeta	azul/violeta	

Tabla D2. Grupo 2. Propiedades atómicas y físicas de los elementos alcalinotérreos.

G2	Be	Mg	Ca	Sr	Ba	Ra
Número atómico, Z	4	12	20	38	56	88
Conf. electrónica	[He]2s ²	[Ne]3s ²	[Ar]4s ²	[Kr]5s ²	[Xe]6s ²	[Rn]7s ²
	¹ S ₀	¹ S ₀	¹ S ₀	¹ S ₀	¹ S ₀	¹ S ₀
Nº isótopos naturales	1	2	4+3 (>4x10 ¹⁵ a)	4	5+2 (>1x10 ²¹ a)	(226) (1600 a, α)
Peso atómico (IUPAC)	9.0121831(5)	[24.304,24.307]	40.078(4)	87.62(1)	137.327(7)	226.025
Término	¹ S ₀	¹ S ₀	¹ S ₀	¹ S ₀	¹ S ₀	¹ S ₀
ΔH _I kJ mol ⁻¹						
l ₁	899.50	737.75	589.83	549.47	502.85	509.29
l ₂	1757.11	1450.68	1145.45	1064.26	965.22	979.05
l ₃	14848.72	7732.68	4912.36	4138.25		
ΔH _{AE} kJ mol ⁻¹	>0	>0	-2.369	-4.63	-13.954	-16.4
χ _{Pauling}	1.570	1.310	1.000	0.950	0.890	0.900
r _{MET} pm	112.8	160.2	197.6	215.1	223.8	227.1
r _{COV} (CSD) pm	96(3)	141(7)	176(10)	195(10)	215(11)	221(2)
r _{COV} (Pyykko) pm	102	139	171	185	196	201
r _{ION} (M ²⁺ , NC=6) pm	59	86	114	132	149	162 (8)
r _{ATOM} pm	91.1	133.3	174.5	193.8	214.9	
r _{vdw} pm	198	251	262	284	303	198
p.f. °C	1283	650	842	777	727	700
p.e. °C	2484	1090	1484	1382	1897	1526
ΔH _{ATOM} kJ mol ⁻¹	324.0	146.4	178.2	164.0	182.0	159
ρ (25 °C) g·cm ⁻³	1.850	1.740	1.540	2.640	3.62	5.0
σ (0 °C) Ω ⁻¹ m ⁻¹	3.31x10 ⁷	2.47x10 ⁷	3.22x10 ⁷	8.13x10 ⁶	3.31x10 ⁶	2.44x10 ⁶
k (25 °C) Wm ⁻¹ K ⁻¹	201	142	201	35.4	18.4	18.6
E (300 K) GPa	318	44.7	19.6	15.7	12.8	13.2
Color de la llama	blanca	blanca brillante	rojo ladrillo	carmesí	verde manzana	rojo carmesí

Tabla D3. Grupo 13. Propiedades atómicas y físicas de los elementos del grupo del boro.

G13	B	Al	Ga	In	Tl	Nh
Número atómico, Z	5	13	31	49	81	113
Conf. electrónica	[He]2s ² 2p ¹	[Ne]3s ² 3p ¹	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹	[Hg]6p ¹	[Cn]7p ¹
Término	² P _{1/2}	² P _{1/2}	² P _{1/2}	² P _{1/2}	² P _{1/2}	² P _{1/2}
Nº isótopos naturales	2	1	2	2	2	(286) (19.6 s, α)
Peso atómico (IUPAC)	[10.806; 10.821]	26.9815385(7)	69.723(1)	114.818(1)	[204.382; 204.385]	286.182
ΔH _I kJ·mol ⁻¹						
l ₁	800.64	577.54	578.84	558.30	589.36	730.3
l ₂	2427.07	1816.68	1979.41	1820.72	1971.03	2240
l ₃	3659.74	2744.78	2964.59	2705.85	2880.28	3200
l ₄	25025	11577	6101	5350	4934	4350
ΔH _{AE} kJ·mol ⁻¹	-26.989	-41.762	-29.058	-37.043	-30.880	-74.9
χ _{Pauling}	2.04	1.61	1.81	1.8	1.80	
r _{COV} (CSD) pm	84(3)	121(4)	122(3)	142(5)	145(7)	
r _{COV} (Pyykko) pm	85	126	124	142	144	
r _{MET} (NC 12) pm	97.5	143.2	136.6	155	172.9	170
r _{ION} (M ³⁺) pm	25	67.5	76	94	102.5	
(M ⁺)					164	140
r _{ATOM} pm	205	239	233	246	242	
r _{vdw} pm	191	225	232	243	247	
p.f. °C	2075	660.3	29.76	156.6	304	430
p.e. °C	3802	2518	2248	2072	1486	1130
ΔH _{ATOM} kJ·mol ⁻¹	560.0	329.7	271.96	242.67	180.96	140
ρ (25 °C) g·cm ⁻³	2.340	2.700	5.910	7.310	11.800	16
σ (0 °C) Ω ⁻¹ ·m ⁻¹	1 x 10 ⁻⁶	4.14x10 ⁷	6.73x10 ⁶ a	1.195x10 ⁷ a	6.10x10 ⁶ a	
k (25 °C) Wm ⁻¹ K ⁻¹	27.4	237	40.8	81.8	46.1	18.6
E (300 K) GPa	440	70.26	9.81	10.6	7.9	

^a (295 K)

Tabla D4. Grupo 14. Propiedades atómicas y físicas de los elementos del grupo del carbono.

G14		C	Si	Ge	Sn	Pb	Fl
Número atómico, Z		6	14	32	50	82	114
Conf. electrónica		[He]2s ² 2p ²	[Ne]3s ² 3p ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ²	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	[Cn]7p ²
Término		³ P ₀	³ P ₀	³ P ₀	³ P ₀	³ P ₀	³ P ₀
Nº isótopos naturales		2+1	3	5	10	4	(289) (1.9 s, α)
Peso atómico (IUPAC)		[12.0096, 12.0116]	[28.084, 28.086]	72.630(8)	118.710(7)	207.2(1)	290.19
ΔH _I	kJ·mol ⁻¹						
	I ₁	1086.4	786.5	762.2	708.6	715.6	807.5
	I ₂	2352.6	1577.1	1537.5	1411.9	1450.4	1640
	I ₃	4620.4	3231.6	3286	2943	3081.7	3370
	I ₄	6222.7	4355.5	4411	3930	4084.5	4400
	I ₅	37831	16091	8732	7432	6638	5850
ΔH _{AE}	kJ·mol ⁻¹	-121.776	-134.068	-118.935	-107.298	-34.418	0
χ _{Pauling}		2.550	1.900	2.010	1.960	1.80	
r _{MET} (NC 12)	pm	81.6	125.8	130.7	148.7	173.4	180
r _{COV} (CSD)	pm	76(1)	111(2)	120(4)	139(4)	146(5)	171-177
r _{COV} (Pyykko)	pm	75	118	121	140	144	143
r _{ION} (M ⁴⁺)	pm		54	53	69	78	
	(M ²⁺)			73	118	119	120
r _{ATOM}	pm	190	232	234	248	249	
r _{vdw}	pm	177	219	229	242	260	
p.f.	°C	graf 4489	1412	937.3	231.93	327.46	11±50
p.e.	°C	3637	3267	2834	2602	1749	147
ΔH _{ATOM}	kJ·mol ⁻¹	716.65	450.0	374.47	301.25	195.2	41.8
ρ (25 °C)	g·cm ⁻³	diam. 3.513 graf. 2.200	2.329	5.323	α 5.750 β 7.283	11.300	14
σ (0 °C)	Ω·m ⁻¹	diam. 10 ⁻¹³ -10 ⁻³ graf. 1.3x10 ⁵	3.16 x 10 ⁻⁴	2.1000	β 9.09x10 ⁶	4.76x10 ⁶	
k (25 °C)	Wm ⁻¹ K ⁻¹	diam. I 900	149	60.2	66.8	35.3	
E (300 K)	GPa	980	113	79.9	49.9	16.1	
E _g	eV	5.47	1.12	0.67	0.080		

Tabla D5. Grupo 15. Propiedades atómicas y físicas de los elementos del grupo del nitrógeno

G15		N	P	As	Sb	Bi	Mc
Z		7	15	33	51	83	115
Config. electrónica		[He]2s ² 2p ³	[Ne]3s ² 3p ³	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ³	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ³	[Hg]6s ² 6p ³	[Cn]7s ² 7p ³
Término		⁴ S _{3/2}	⁴ S _{3/2}	⁴ S _{3/2}	⁴ S _{3/2}	⁴ S _{3/2}	⁴ S _{3/2}
Nº isótopos natural.		2	1	1	2	(209) 2x10 ¹⁹ a (α)	(290) 840 ms (α)
Peso atómico (IUPAC)		[14.00643, 14.00728]	30.973761998(5)	74.921595(6)	121.760(1)	208.98040(1)	(290.19624)
ΔH _I	kJ·mol ⁻¹						
	l ₁	1402.33	1011.81	944.4	830.58	702.95	537.8
	l ₂	2856.09	1907.47	1793	1604	1611	1771
	l ₃	4577	2914.11	2735	2443	2467.2	2650
	l ₄	7475	4963	4838	4226	4377	4680
	l ₅	9444	6273	6056	5306	5292	5720
	l ₆	53267	21268	11693	9601	8529	
ΔH _{AE}	kJ mol ⁻¹	>0	-72.037	-77.651	-101.059	-90.924	-30.2
χ Pauling		3.040	2.190	2.180	2.050	1.900	
r _{MET} (NC12)	pm		133.6	147.7	167.3	176.5	187/162
r _{COV} (CSD)	pm	71(1)	107(3)	119(4)	139(5)	148(4)	
r _{COV} (Pyykko)	pm	71	111	121	140	151	162
r _{ION} (M ³⁺)	pm	(N ³⁻)146	44	58	76	103	
	(M ⁵⁺)		38	46	60	76	
r _{ATOM}	pm	179	223	231	246	250	
r _{vdw}	pm	166	190	188	247	254	
p.f.	°C	-210.0	P _{blan} 44.15	(38.6 atm) 817	630.6	271.4	400
p.e.	°C	-195.8	P _{blan} 274.56	601.6	1587	1564	1100
ΔH _{ATOM}	kJ·mol ⁻¹	472.68	316.39	301.75	264.55	209.62	138
ρ (25°C)	g·cm ⁻³	(20 K) 1.03 (63.15 K) 0.870	P _{blanco} 1.823 P _{rojo} 2.160 P _{negro} 2.690	5.780	6.680	9.747	13.5
σ	Ω ⁻¹ m ⁻¹		P _{blanco} 1x 10 ⁻⁹	As _{gris} 3.85x10 ⁶	2.42x10 ⁶	8.62x10 ⁵	
k (25 °C)	Wm ⁻¹ K ⁻¹	0.02598	P _{blanco} 0.236 P _{negro} 12.1	50.2	24.4	7.89	
E (300 K)	GPa		P _{negro} 30.4	As _{gris} 22	54.7	34	

Tabla D6. Grupo 16. Propiedades atómicas y físicas de los calcógenos.

G16	O	S	Se	Te	Po	Lv
Z	8	16	34	52	84	116
Config. electrónica	[He]2s ² 2p ⁴	[Ne]3s ² 3p ⁴	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴	[Hg]6p ⁴	[Cn]7p ⁴
Término	³ P ₂	³ P ₂	³ P ₂	³ P ₂	³ P ₂	³ P ₂
Nº isótopos naturales	3	4	4+2 (>10 ¹⁸ a)	4+4 (>10 ¹⁶ a)	(209) 124 a (α)	(293) 70 ms(α)
Peso atómico (IUPAC)	[15.99903, 15.99977]	[32.059, 32.076]	78.971(8)	127.60(3)	(208.98243)	(293.20458)
ΔH _i kJ mol ⁻¹						
l ₁	1313.94	999.59	940.96	869.31	812.22	635
l ₂	3388.67	2251.76	2045	1794	1862	1330
l ₃	5300.4	3363	3058	2686	2634	2850
l ₄	7469.2	4556	4143	3610	3473	3810
l ₅	10989	7004.28	6589	5721	5499	6080
l ₆	13326	8495.78	7895	6667	6667	
l ₇	71334	27107	14986	11.983.48	10420	
ΔH _{AE} kJ mol ⁻¹						
AE ₁	-140.976	-200.410	-194.958	-190.160	-143.08	
AE ₂	844	649				
χ _{Pauling}	3.440	2.580	2.550	2.100	2.000	
r _{COV} (CSD) pm	66(2)	105(3)	120(4)	138(4)	145	
r _{COV} (Pyykko) pm	63	103	116	136	145	175
r _{ION} (M ²⁻) pm	140	184	198	221	230	
(M ⁴⁺) OC-6		37	50	97	94	
r _{ATOM} pm	171	214	224	242	250	
r _{vdw} pm	150	189	182	199		
p.f. °C	-218.79	(α) 115.22	(gris) 220.5	449.5	254	360-510
p.e. °C	-182.96	444.61	685	988	962	760-860
ΔH _{ATOM} kJ·mol ⁻¹	249.17	276.98	235.35	211.71	141	
ρ (25 °C) g·cm ⁻³	(20.5 K) 1.460	(α) 2.066	(gris) 4.810	6.240	(α) 9.200	11 - 13.6
σ Ω ⁻¹ ·m ⁻¹		5x10 ⁻¹⁴	1.00x10 ²	2.293x10 ²	2.5x10 ⁶	
k (25 °C) Wm ⁻¹ K ⁻¹	0.02674	0.270	0.519	(c) 3.38	20	
E (300 K) GPa		17.80	58	47.1	26	

Tabla D7. Grupo 17. Propiedades atómicas y físicas de los halógenos

G17	F	Cl	Br	I	At	Ts
Z	9	17	35	53	85	117
Config. electrónica	[He]2s ² 2p ⁵	[Ne]3s ² 3p ⁵	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵	[Hg] 6p ⁵	[Cn] 7p ⁵
Término	² P _{3/2}	² P _{3/2}	² P _{3/2}	² P _{3/2}	² P _{3/2}	² P _{3/2}
Nº isótopos naturales	1	2	2	1	(210) 8.1h α	(294) 51ms α
Peso atómico	18.998403163(6)	[35.446, 35.457]	[79.901, 79.907]	126.90447(3)	(210)	(294)
ΔH _i kJ·mol ⁻¹						
l ₁	1681.05	1251.19	1139.86	1008.39	899.00	705
l ₂	3374.17	2297.67	2083.2	1845.89	1725	1435
l ₃	6050.40	3840	3376	2853	2564	2161
l ₄	8411.11	5136	4610	3893	3825	4013
l ₅	11023.35	6530	5750	4970	4861	5076
l ₆	15163.93	9353	8210	7175	6946	
l ₇	17867.81	11018	9940	8452	8210	
l ₈	92037.14	33606	18584	14550	12553	
ΔH _{AE} kJ·mol ⁻¹	-328.165	-348.575	-324.537	-295.153	-233.08	-123.5
χ _{Pauling}	3.980	3.160	2.960	2.660	2.200	1.9
r _{COV} (CSD) pm	57(2)	102(4)	120(3)	139(3)	150	
r _{COV} (Pyykko) pm	64	99	/114	133	147	/165
r _{ATOM} pm	63.3	103.9	120.1	139.7	156	180
r _{ION} (M ⁻) pm	133	181	196	220	259	333
r _{vdw} pm	146	182	186	204	202	
p.f. °C	-219.61	-101.0	-7.25	113.6	302	350-550
p.e. °C	-188.2	-34.03	58.75	184.4	334	345-610
ΔH _{ATOM} kJ mol ⁻¹	78.91	121.29	111.86	106.76	91	147.6
ρ g·cm ⁻³	(10 K) 1.983	(22 K) 2.138	(5K) 4.161	5.1211	6.35	7.1-7.3
σ (293 K) Ω ⁻¹ m ⁻¹				7.2x10 ⁻⁸		
k (25 °C) Wm ⁻¹ K ⁻¹	0.0269	0.0085	0.125	0.449	1.97	

Tabla D8. G18. Propiedades atómicas y físicas de los gases nobles.

G18	He	Ne	Ar	Kr	Xe	Rn	Og
Z	2	10	18	36	54	86	118
Config. electrónica	1s ² 2s ²	[He]2s ² 2p ⁶	[Ne]3s ² 3p ⁶	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶	[Hg]6p ⁶	[Cn]7p ⁶
Término	¹ S ₀	¹ S ₀	¹ S ₀	¹ S ₀	¹ S ₀	¹ S ₀	¹ S ₀
Nº isótopos naturales	2	3	3	5+1	6+3	(222) (3.8 d, α)	(294) (0.7 ms, α)
Peso atómico	4.002602(2)	20.1797(6)	39.948(1)	83.798(2)	131.293(6)	222.0	294.21
ΔH _l kJ·mol ⁻¹							
l ₁	2372.32	2080.66	1520.57	1350.76	1170.35	1037.07	860
l ₂	5250.51	3952.32	2665.86	2350.37	2023	2064	1560
l ₃		6119	3930	3441	2995	2836	
l ₄		9377	5748	4906	4071	3560	
l ₅		12180	7220	6241	5219	5104	
l ₆		15238	8808	7573	6435	6175	
l ₇		19998	12003	10529	8838	8490	
l ₈		23069	13841	12138	10225	9841	
l ₉		115377	40774	22481	17351	14858	
ΔH _{AE} kJ·mol ⁻¹	48	116	96	96	77	22.3	-7.33
χ _{Pauling}				3.00	2.60	2.2	
r _{COV} (CSD) pm	28	58	106(10)	116(4)	140(9)	150	220
r _{COV} (Pyykko) pm	46	67	96	117	131	142	157
r _{ATOM} pm	134	156	197	212	232	243	
r _{vdw} pm	143	158	194	207	228	240	
p.f. (1 atm) K	0.95	24.56	83.806	115.77	161.39	202.15	325
p.e. (1 atm) K	4.22	27.097	87.303	119.81	165.06	211.45	450
ΔH _{VAPOR} kJ·mol ⁻¹	0.082	1.74	6.53	9.05	12.65	18.1	19.4
ρ (25 °C, 1 atm) g·dm ⁻³	0.1636	0.825	1.6329	3.425	5.366	9.074	7.2
ρ (pe) g·cm ⁻³	0.125	1.247	1.419	2.449	2.978	4.4	6.6
s H ₂ O (20 °C) cm ³ /kg	8.61	10.5	33.6	59.4	108.1	230	
k (300 K) Wm ⁻¹ K ⁻¹	0.1520	0.0493	0.01772	0.00949	0.00569	0.00364	
Color luz emitida	amarillo	rojo	rojo o azul	amarillo verde	azul a verde		

Tabla D9. 1ST. Propiedades atómicas de los elementos de la 1ª serie de transición

1ST	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Z	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Config. electrónica	[Ar] 3d ¹ 4s ²	[Ar]3d ² 4s ²	[Ar]3d ³ 4s ²	[Ar] 3d ⁵ 4s ¹	[Ar] 3d ⁵ 4s ²	[Ar] 3d ⁶ 4s ²	[Ar]3d ⁷ 4s ²	[Ar]3d ⁸ 4s ²	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ²
Término	² D _{3/2}	³ F ₂	⁴ F _{3/2}	⁷ S ₃	⁶ S _{5/2}	⁵ D ₄	⁴ F _{9/2}	³ F ₄	² S _{1/2}	¹ S ₀
Isótopos naturales	1	5	1+1 (>10 ¹⁷ a)	3+1(>10 ¹⁸ a)	1	3+1(>10 ²² a)	1	4+1(>10 ¹⁹ a)	2	3+2 (>10 ¹⁶ a)
Peso atómico	44.955908(5)	47.867(1)	50.9415(1)	51.9961(6)	54.938043(3)	55.845(2)	58.933194(4)	58.6934(4)	63.546(3)	65.38(2)
ΔH_I kJ mol ⁻¹										
l ₁	633.1	658.8	650.9	652.9	717.3	762.4	760.4	737.1	745.5	906.4
l ₂	1235.0	1309.9	1410.4	1590.6	1509.0	1561.9	1648.3	1753.0	1957.9	1733.3
l ₃	2388.6	2652.5	2828.0	2987.2	3248.4	2957.5	3232.3	3395.3	3554.6	3832.6
l ₄	7090.6	4174.6	4506.7	4743.2	4940.0	5287.4	4949.7	5297	5536.3	5731.2
l ₅	8842.9	9580.8	6298.7	6701.9	6985.5	7236.4	7670.6	7338.7	7699.5	7969.7
l ₆	10670	11532.9	12362.7	8744.9	9224.4	9561.7	9841.5	10420	9938	10420
l ₇	13315	13585.1	14530.7	15455.0	11501.3	12058.7	12437.0	12833	13411	12929
l ₈	15252	16450	16745	17826	18862	14575.1	15225	15630	16016	16779
ΔH_{AE} kJ mol ⁻¹	-17.308	-7.289	-50.911	-65.217	>0	-14.785	-63.898	-111.669	-119.234	>0
χ_{Pauling}	1.36	1.54	1.63	1.66	1.55	1.83	1.88	1.91	1.90	1.65
r_{MET} (Trömel) pm	164.1	146.2	134.7	128.5	130.6	127.7	125.1	124.6	127.8	138.5
r_{COV} (CSD) pm	170(7)	160(8)	153(8)	139(5)	LS: 139(5) HS: 161(8)	LS: 132(3) HS: 152(6)	LS: 126(3) HS: 150(7)	124(4)	132(4)	122(4)
r_{COV} (Pyykko) pm	148	136	134	122	119	116	111	110	112	118
r_{ATOM} pm	263	257	252	233	242	226	222	219	217	222
r_{VDW} pm	258	246	242	245	245	244	240	240	238	230
r_{ION} (Shannon) pm	(+3) 88.5	((+2) 100 (+3) 81 (+4) 74.5	((+2) 93 (+3) 78 (+4) 72 (+5) 68	(+2) 93 (+3) 75.5 (+4) 69 (+6) 58	(+2) 97 (+3) 78.5 (+4) 67 (+7) 60	(+2) 92 (+3) 78.5 (+4) 72.5	(+2) 88.5 (+3) 75 (+4) 67	(+2) 83 (+3) 74 (+4) 62	(+1) 91 (+2) 87 (+3) 68	(+2) 88
p.f. °C	1541	1668	1917	1907	1246	1538	1495	1455	1084.62	419.53
p.e. °C	2836	3288	3137	2671	2062	2860	2926	2914	2561	913
ΔH_{ATOM} kJ·mol ⁻¹	377.90	473.63	514.21	397.48	283.26	415.47	428.44	430.12	337.60	130.42
ρ (25°C) g·cm ⁻³	2.985	4.506	6.000	7.150	7.300	7.870	8.860	8.902	8.960	7.140
σ $\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$	1.639x10 ⁶	2.381x10 ⁶	4.032x10 ⁶	7.874x10 ⁶	5.405x10 ⁵	1.030x10 ⁷	1.602x10 ⁷	1.462x10 ⁷	5.997x10 ⁷	1.690x10 ⁷
k Wm ⁻¹ K ⁻¹	15.8	21.9	30.7	93.9	7.81	80.4	100	90.9	401	116
E GPa	74.4	120.2	127.6	279	191	208.2	211	199.5	129.8	104.5

Tabla D10. 2ST. Propiedades atómicas y físicas de los elementos de la 2ª serie de transición

2ST	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
Z	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Config. electrónica	[Kr] 4d ¹ 5s ²	[Kr]4d ² 5s ²	[Kr]4d ⁴ 5s ¹	[Kr] 4d ⁵ 5s ¹	[Kr] 4d ⁵ 5s ²	[Kr] 4d ⁷ 5s ¹	[Kr]4d ⁸ 5s ¹	[Kr]4d ¹⁰ 5s ⁰	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ¹	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ²
Término	² D _{3/2}	³ F ₂	⁶ D _{1/2}	⁷ S ₃	⁶ S _{5/2}	⁵ F ₅	⁴ F _{9/2}	¹ S ₀	² S _{1/2}	¹ S ₀
Nº isótopos naturales	1	3+3 (>10 ¹⁷ a)	1	7+2(>10 ¹⁷ a)	0+3 (>10 ⁵ a)	3+1 (>10 ²² a)	1	4+1 (>10 ¹⁹ a)	2	3+5 (>10 ¹⁵ a)
Peso atómico	88.90585(2)	91.224(2)	92.9068(2)	95.96(2)	96.9064-98.9063	101.07(2)	102.905 50(2)	106.42(1))	107.8682(2)	112.411(8)
ΔH _i kJ mol ⁻¹										
l ₁	599.9	640.0	652.1	684.3	686.9	710.2	719.7	804.4	731.0	867.7
l ₂	1179.4	1264	1351	1559.2	1472.4	1617.1	1744.5	1874.7	2073.0	1631.4
l ₃	1979.9	2218.2	2416.0	2617.6	2851.2	2747.0	2996.8	3177.3	3360.6	3615.1
l ₄	5846.7	3313.3	3695.4	4476.9	3955	4341	4052	4438	4727	4920
l ₅	7429	7752.4	4877.3	5257.5	5499	5692	6078	5885	6271	6551
l ₆	8973	9289	9847.0	6640.8	6947	7333	7718	8114	7911	8394
l ₇	11192	10806	12061	12124.7	8490	8973	9359	9745	10227	10131
l ₈	12447	12900	13122	13855.3	14473	10613	11105	11578	12060	12552
ΔH _{AE} kJ mol ⁻¹	-30.035	-41.805	-88.516	-72.097	-61.3	-100.950	-110.272	-54.238	-125.862	>0
χ _{Pauling}	1.22	1.33	1.60	2.16	2.10	2.2	2.28	2.20	1.93	1.69
r _{MET} (Trömel) pm	179.6	160.3	147.3	140.2	136.3	133.9	134.5	137.5	144.4	155.1
r _{COV} (CSD) pm	190(7)	175(7)	164(6)	154(5)	147(7)	146(7)	142(7)	139(6)	145(5)	144 (9)
r _{COV} (Pyykko) pm	163	154	147	138	128	125	125	120	128	136
r _{ATOM} pm	274	268	251	244	241	237	233	215	225	238
r _{VDW} pm	275	252	256	245	244	246	244	215	253	249
r _{ION} (Shannon) pm	+3 104	+4 86	+3 86 +4 82 +5 78	+4 79 +5 75 +6 73	+4 78 +5 74 +7 70	+3 82 +4 76 +5 69	+3 80 +4 74 +5 69	+2 100 +4 75	+1 129 +2 108 +3 89	+2 109
p.f. °C	1522	1855	2477	2623	2157	2334	1964	1554.9	960.85	321.07
p.e. °C	3345	4409	4744	4639	4265	4118	3695	2963	2162	767
ΔH _{ATOM} kJ·mol ⁻¹	424.68	610.03	721.32	658.50	656.89	651.45	553.13	376.56	284.09	111.80
ρ g·cm ⁻³	4.472	6.511	8.57	10.28	11.5	12.37	12.45	12.023	10.49	8.65
σ Ω ⁻¹ m ⁻¹	1.754x10 ⁶	2.375x10 ⁶	6.579x10 ⁶	1.842x10 ⁷	5x10 ⁶	1.316x10 ⁷	2.217x10 ⁷	9.259x10 ⁶	6.289x10 ⁷	1.464x10 ⁷
k Wm ⁻¹ K ⁻¹	17.2	22.6	53.7	138	50.6	117	150	71.8	429	96.9
E (300 K) GPa	63.5	97.1	104.9	324.8	407	432	379	121	82.7	62.6

Tabla D11. 3ST. Propiedades atómicas y físicas de los elementos de la 3ª serie de transición

3ST	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg
Z	57	72	73	74	75	44	45	46	47	48
Config. electrónica	[Xe]5d ¹ 6s ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ² 6s ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ³ 6s ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²
Término	² D _{3/2}	³ F ₂	⁴ F _{3/2}	⁵ D ₀	⁸ S _{5/2}	⁵ D ₄	⁴ F _{9/2}	³ D ₃	² S _{1/2}	¹ S ₀
Isótopos naturales	1+1 (>10 ¹¹ a)	5+1 (>10 ¹⁵ a)	1+1 (>10 ¹⁶ a)	0+5 (>10 ¹⁸ a)	1+1 (>10 ¹⁰ a)	6+1 (>10 ¹⁵ y)	2	5+1 (>10 ¹¹ y)	1	6+1 (>10 ¹⁸ y)
Peso atómico	138.90547(7)	178.49(2)	180.94788(2)	183.84(1)	186.207(1)	190.23(3)	192.217(3)	195.084(9)	196.966569(4)	200.592(3)
ΔH_I kJ mol ⁻¹										
l ₁	538.1	658.5	728.4	758.8	755.8	814.2	865.2	864.4	890.1	1007.1
l ₂	1079.2	1437.6	1563.1	1579.5	1601.7	1640.3	1640.3	1790.8	1949.3	1809.8
l ₃	1850.3	2248.1	2228.8	2508.7	2605.1	2412.1	2701.6	2798.1	2894.6	3324.9
l ₄	4820	3220	3377	3686	3773	3956	3859	4149	4341	4684
l ₅	5944	6597	4658	4979	5008	5307	5500	5403	5789	5905
l ₆	7140	9456	9071	6249	6465	6764	6947	7236	7140	7391
l ₇	8490	11385	11482	11772	7980	8211	8587	8780	9070	8973
l ₈	10131	13219	13412	13624	13933	9844	10131	10517	10806	10990
ΔH_{AE} kJ mol ⁻¹	-53.795	-17.174	-31.730	-78.780	-5.827	-103.978	-150.909	-205.041	-222.747	>0
$\chi_{Pauling}$	1.1	1.3	1.5	2.36	1.90	2.2	2.20	2.28	2.54	2.00
r_{MET} (Trömel) pm	186.5	158.0	147.3	141.0	137.5	135.2	135.7	138.7	144.2	156.4
r_{COV} (CSD) pm	207(8)	175(10)	170(8)	162(7)	151(7)	144(4)	141(6)	136(5)	136(6)	132(5)
r_{COV} (Pyykko) pm	180	152	146	137	131	129	122	123	124	133
r_{ATOM} pm	285	264	258	253	249	244	233	230	226	229
r_{VDW} pm	298	263	253	257	249	248	241	229	232	245
r_{ION} (Shannon) pm	+3 117	+4 86	+3 86	+4 80	+4 77	+4 77	+3 82	+2 100	+1 151	+2 116
			+4 82	+5 76	+5 72	+5 71	+4 76	+4 75	+3 99	
			+5 78	+6 74	+7 67	+7 67	+5 71			
p.f. °C	918	2233	3017	3422	3186	3033	2446	1768.4	1064.18	-38.69
p.e. °C	3464	4603	5458	5555	5596	5012	4390	3825	2856	356.69
ΔH_{ATOM} kJ·mol ⁻¹	430.95	619.23	781.57	851.03	774.88	788.27	669.44	564.84	368.19	61.40
ρ g·cm ⁻³	6.15	13.31	16.65	19.25	21.02	22.5872	22.5622	21.45	19.3	13.5336
σ $\Omega^{-1}m^{-1}$	1.75x10 ⁶	3.175x10 ⁶	8.032x10 ⁶	1.770x10 ⁷	5.18x10 ⁶	1.231x10 ⁷	1.887x10 ⁷	9.434x10 ⁶	4.255x10 ⁷	1.063x10 ⁷
k Wm ⁻¹ K ⁻¹	13.4	23.0	57.5	174	48.0	87.6	147	71.6	318	8.30
E (300 K) GPa	36.6	141	185.7	411	520	558.6	528	172.4	78.5	

Tabla D12. Ln 4f. Propiedades atómicas y físicas de los lantánidos

Ln	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Z	57	58	59	60	61	62	63	64	65	68	67	68	69	70	71
Config. elec. [Xe]+	5d ¹ 6s ²	4f ¹ 5d ¹ 6s ²	4f ³ 6s ²	4f ⁴ 6s ²	4f ⁶ 6s ²	4f ⁶ 6s ²	4f ⁷ 6s ²	4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	4f ⁹ 6s ²	4f ¹⁰ 6s ²	4f ¹¹ 6s ²	4f ¹² 6s ²	4f ¹³ 6s ²	4f ¹⁴ 6s ²	4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²
Término	² D _{3/2}	¹ G ₄	⁴ I _{9/2}	⁵ I ₄	⁶ H _{5/2}	⁷ F ₀	⁸ S _{7/2}	⁹ D ₂	⁶ H _{15/2}	⁵ I ₈	⁴ I _{15/2}	³ H ₆	² F _{7/2}	¹ S ₀	² P _{1/2}
Nº isotopos natural.	1+1	1+4	1	5+2	2623 a	4+3	1+1	6+1	1	7	1	6	1	6+1	1+1
Peso atómico	138.90547(7)	140.116(1)	140.90766(2)	144.242(3)	(147)	150.36(2)	151.964(1)	157.25(3)	158.92535(2)	162.500(1)	164.93033(2)	167.259(3)	168.93422(2)	173.054(5)	174.9668(1)
ΔH_I kJmol ⁻¹															
I ₁	538.09	534.39	527.79	533.08	538.57	544.54	547.11	593.37	565.77	573.03	580.99	589.30	596.70	603.43	523.52
I ₂	1079.18	1057.09	1025.74	1040.40	1055.36	1068.86	1084.50	1165.16	1110.84	1123.76	1136.69	1149.72	1164.10	1175.11	1363.34
I ₃	1850.33	1948.75	2086.37	2131.36	2165.13	2272.23	2396.70	1981.81	2105.31	2208.55	2198.90	2190.22	2282.84	2417.25	2022.27
I ₄	4819.44	3560.89	3761.09	3917.30	3972.30	4017.65	4143.08	4287.81	3794.77	3978.09	4102.56	4092.91	4091.94	4207.73	4365.86
I ₅	5943.50	6324.61	5550.80	5789.12	5953.15	6049.63	6097.87	6252.25	6416.27	5991.74	6165.41	6281.20	6310.14	6329.44	6445.22
ΔH_{AE} kJmol ⁻¹	-53.795	-57.907	-10.539	-9.405	-14.9	-12.5	-11.2	-20.4	-12.67	-1.44	>-0.5	>-0.5	-3.09	>-0.4	-23.043
$\chi_{Pauling}$	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.17	1.2	1.20	1.1	1.22	1.23	1.24	1.25	1.1	1.27
$r_{MET} (RX)$ pm	187.1	182.5	182.0	181.4	180.0	179.4	198.4	179.3	176.5	175.1	174.2	175.8	172.0	193.9	175.0
$r_{COV} (CSD)$ pm	207(8)	204(9)	203(7)	201(6)	199	198(8)	198(6)	196(6)	194(5)	192(7)	192(7)	189(6)	190(10)	187(8)	187(8)
$r_{COV} (Pykko)$ pm	180	163	176	174	173	172	168	1169	168	167	166	165	164	170	162
r_{ATOM} pm	284	282	286	284	283	280	280	277	276	275	273	272	271	277	270
r_{VDW} pm	298	288	292	295		290	287	283	279	287	281	283	279	280	274
r_{ION} pm	+3 116	+3 114.3 +4 97	+3 112.6 +4 96	+2 129 +3 110.9	+3 109.3	+2 127 +3 107.9	+2 125 +3 106.6	+3 105.3	+3 104.0 +4 88	+2 119 +3 102.7	+3 101.5	+3 100.4	+2 109 +3 99.4	+2 114 +3 98.5	+3 97.7
p.f. °C	918	798	931	1021	1042	1074	822	1313	1356	1412	1474	1529	1545	819	1663
p.e. °C	3464	3443	3520	3067	3000	1794	1525	3256	3230	2567	2700	2868	1907	1196	3402
ΔH_{ATOM} kJmol ⁻¹	430.95	422.58	355.64	327.61	308	206.69	175.31	397.48	388.69	290.37	300.83	317.15	232.21	152.09	427.61
ρ g·cm ⁻³	6.15	6.77	6.77	7.01	7.26	7.52	5.24	7.90	8.23	8.55	8.80	9.07	9.32	6.90	9.84
σ $\Omega^{-1}m^{-1}$	1.75·10 ⁶	1.37·10 ⁶	1.47·10 ⁶	1.56·10 ⁶		1.14·10 ⁶	1.11x10 ⁶	7.46x10 ⁵	8.77·10 ⁵	1.75·10 ⁶	1.15·10 ⁶	1.15·10 ⁶	1.27·10 ⁶	3.45·10 ⁶	1.27·10 ⁶
k Wm ⁻¹ K ⁻¹	13.4	11.3	12.5	16.5	17.9	13.3	13.9	10.6	11.1	10.7	16.2	14.3	16.8	34.9	16.4
E GPa	36.6	33.6	37.3	41.4	46.0	49.7	18.2	54.8	55.7	61.4	64.8	69.9	74	23.9	68.6

Tabla D13. An 5f. Propiedades atómicas y físicas de los actínidos

An	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Z	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Config. elec. [Rn]+	6d ¹ 7s ²	6d ² 7s ²	5f ² 6d ¹ 7s ²	5f ³ 6d ¹ 7s ²	5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	5f ⁶ 7s ²	5f ⁷ 7s ²	5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	5f ⁹ 7s ²	5f ¹⁰ 7s ²	5f ¹¹ 7s ²	5f ¹² 7s ²	5f ¹³ 7s ²	5f ¹⁴ 7s ²	5f ¹⁴ 7s ² 7p ¹
Término	² D _{3/2}	³ F ₂	⁴ K _{11/2}	⁵ L ₆	⁶ L _{11/2}	⁷ F ₀	⁸ S _{7/2}	⁹ D ₂	⁶ H _{15/2}	⁵ I ₈	⁴ I _{15/2}	³ H ₆	² F _{7/2}	¹ S ₀	² P _{1/2}
Nº Isótopos natural.	21.7 d	1.40x10 ¹⁰ a	3.27x10 ⁴ a	4.48x10 ⁹ a	2.14x10 ⁶ a	8.00x10 ⁷ a	7.37x10 ³ a	1.56x10 ⁷ a	1.38x10 ³ a	9.0x10 ² a	472 d	100.5 d	51.5 d	58 min	4 h
Peso atómico	227.03	232.04	231.04	238.03	237.05	244.06	243.06	247.07	247.07	251.08	252.08	257.09	258.1	259.10	262.11
ΔH _I kJ mol ⁻¹															
l ₁	519.1	608.5	568.3	597.6	604.5	581.4	576.4	578.1	598.0	606.1	614.4	627.2	634.9	639.3	478.6
l ₂	1134	1167	1148	1119	1110	1110	1129	1196	1148	1158	1177	1196	1196	1248	1403
l ₃	1682	1768	1795	1910	1901	2036	2094	1939	2084	2161	2190	2238	2345	2489	2103
l ₄	4323	2764	2981	3541	3261	3377	3551	3637	3473	3637	3744	3792	3859	4004	4207
l ₅	5307	5596	4274	4438	4631	4728	4824	4921	5403	5008	5220	5307	5220	5789	5403
l ₆	6465	6667	6947	5982	6272	7719	6551	6667	6764	7236	6850	7140	7333	7140	7719
l ₇	7622	7912	8211	8587	8877	9166	9166	9359	8684	8780	9359	8973	9263	9359	9263
l ₈	9542	9166	9542	9745	10324	10517	10613	10806	10999	10893	10893	11578	11105	11482	11675
ΔH _{AE} kJ mol ⁻¹	-47.374	-58.633	-37.05	-30.39	-30.2	-8.2	-7.3	-31.0	-2.99	-1.74	-0.19	>0	-16.3	>0	-44.9
χ _{Pauling}	1.1	1.3	1.5	1.38	1.36	1.28	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Γ _{MET} pm	187.8	179.8	164.2	154.2	150.3	152.3	173	174.3	170.4	169.4	186	198	194	197	171
Γ _{COV} (CSD) pm	215	206	200	196	190	187	180	169							
Γ _{COV} (Pyykko) pm	186	175	169	170	171	172	166	166	168	168	165	167	173	176	161
Γ _{ATOM} pm	293	289	285	283	280	278	276	264							
Γ _{VDW} pm	280	293	288	271	282	281	283	305	340	305	270				
Γ _{ION} pm	+3 111.9	+3 108	+3 105	+3 104.1	+3 101.7	+3 99.7	+3 98.2	+3 97.0	+3 94.9	+3 93.4	+3 92.8	+3 91.1	+3 89.6	+3 89.4	+3 88.1
NC: 6; 8		+4 97.2	+4 93.5	+4 91.8	+4 90.3	+4 88.7	+4 87.8	+4 87.1	+4 86.0	+4 85.1					
p.f. °C	1051	1750	1572	1135	644	640	1176	1345	1050	900	860	1527	827	827	1627
p.e. °C	3198	4788	4000	4160	4107	3228	1908	3110	2627	1470	996				
ΔH _{ATOM} kJmol ⁻¹	406	575.30	606.68	523.00	464.84	351.87	284.09	382	291	175	150	141	116	108	308
ρ g·cm ⁻³	10.07	11.78	15.37	19.06	20.45	19.84	11.7	13.51	14.78	15.1	8.84	9.7	10.3	9.9	15.6
σ Ω ⁻¹ m ⁻¹		6.7x10 ⁶	5.6x10 ⁶	3.6x10 ⁶	8.3x10 ⁵	8.2x10 ⁵	1.5x10 ⁶								
k Wm ⁻¹ K ⁻¹	11.5	54.0	46.6	27.5	6.3	6.7	10								
E GPa	25.0	78.3	76.0	177	68.0	87.5		10	10	10	10	10	10	10	10

	Referencias
Config. electrónica	https://en.wikipedia.org/wiki/Electron_configurations_of_the_elements_(data_page) https://www.knowledgedoor.com/2/elements_handbook/electron_configuration.html
Término	https://en.wikipedia.org/wiki/Term_symbol
Isótopos naturales	https://en.wikipedia.org/wiki/Isotope https://www-nds.iaea.org/amdc/ame2020/mass_1.mas20.txt W.J. Huang et al., The AME 2020 atomic mass evaluation (I). Evaluation of input data, and adjustment procedures. Chinese Phys. 2021, C 45 030002, DOI 10.1088/1674-1137/abddb0
Peso atómico	Prohaska, T., et al., Standard atomic weights of the elements 2021 (IUPAC Technical Report). Pure Appl. Chem., 2022, 94, 573-600.
ΔH_i	http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/ionEnergy.html
ΔH_{AE}	Ning, C.; Lu, Y., Electron Affinities of Atoms and Structures of Atomic Negative Ions, J. Phys. Chem. Ref. Data 2022, 51, 021502, doi.org/10.1063/5.0080243. Andersen, T.; Haugen, H. K.; Hotop, H., Binding energies in atomic negative ions: III, J. Phys. Chem. Ref. Data 1989, 28, 1511-1533. Bratsch, S. G.; Lagowski, J. J., Predicted stabilities of monoatomic anions in water and liquid ammonia at 298.15 K. Polyhedron, 1986, 5, 1763-1770.
χ_{Pauling}	https://en.wikipedia.org/wiki/Electronegativity
r_{MET} (Trömel)	Trömel, M. Metallradien, Ionenradien und Wertigkeiten fester metallischer Elemente Metallic Radii, Ionic Radii, and Valences of Solid Metallic Elements. Z. Naturforsch. 2000, 55 b, 243-247.
r_{COV} (CSD)	Cordero, B.; Gómez, V.; Platero-Prats, A. E.; Echeverría, J.; Cremades, E.; Barragán, F.; Alvarez, S., Covalent radii revisited, Dalton Trans., 2008, 2832-2838.
r_{COV} (Pyykko)	Pyykko, P.; Atsumi, M. Molecular Single-Bond Covalent Radii for Elements 1–118. Chem. Eur. J. 2009, 15, 186-197. https://en.wikipedia.org/wiki/Covalent_radius
r_{ATOM}	Rahm, M.; Hoffmann, R.; Ashcroft, N. W., Atomic and Ionic Radii of Elements 1-96. Chem. Eur. J. 2016, 22, 14625-14632.
r_{VDW}	Vogt, J.; Alvarez, S., van der Waals Radii of Noble Gases. Inorg. Chem., 2014, 53, 9260-9266.
r_{ION} (Shannon)	Shannon, R. D., Revised Effective Ionic Radii and Systematic Studies of Interatomic Distances in Halides and Chalcogenides. Acta Cryst. 1976, A32, 751-767; http://abulafia.mt.ic.ac.uk/shannon/ptable.php
p.f.	Haynes W. M. (ed.) CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97 th ed., Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2017. Sect. 4. http://webbook.nist.gov/chemistry/form-ser/ ; https://www.knowledgedoor.com https://www.periodni.com/fr.html Yaws, C. L., The Yaws Handbook of Physical Properties for Hydrocarbons and Chemicals, 2 nd ed., Elsevier, Oxford, 2015, Chap 2, doi.org/10.1016/B978-0-12-800834-8.00002-5.
p.e.	Yaws, C. L., The Yaws Handbook of Physical Properties for Hydrocarbons and Chemicals, 2 nd ed., Elsevier, Oxford, 2015, Chap 2, doi.org/10.1016/B978-0-12-800834-8.00002-5.
ΔH_{ATOM}	Barin, I., Thermochemical Data of Pure Substances, VCH, Weinheim, 1995 https://www.periodni.com/index.html
ρ	Yaws, C. L., The Yaws Handbook of Physical Properties for Hydrocarbons and Chemicals, 2 nd ed., Elsevier, Oxford, 2015, Chap 2, doi.org/10.1016/B978-0-12-800834-8.00002-5.
σ	Haynes W. M. (ed.) CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97 th ed., Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2017. Sect. 12-42. https://www.knowledgedoor.com/2/elements_handbook/electrical_resistivity.html https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistivities_of_the_elements_%28data_page%29
k	Ho, C. Y.; Powell, R. W.; Liley, P. E., Thermal Conductivity of the Elements, J. Phys. Chem. Ref. Data, 1972, 1, 279-421. https://doi.org/10.1063/1.3253100
E (Young)	Carderalli, F., Materials Handbook. A Concise Desktop Reference, Springer-Verlag, London, 2000, pp 75-94.

Tabla E. Datos cristalográficos de los elementos

Z		ICSD	GE	S. P.	a Å	b	c	α °	β	γ	V Å ³	Z	T K	D _x g·cm ⁻³	M-M pm	Vat A ³ /at	T _{ff} °C
G1																	
1	D ₂	638170	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.605(1)		5.882(2)				66.2	2	4.2	0.101		16.550	
3	α -Li	44760	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.111(1)		5.093(9)				42.69	2	78	0.540	311.1	21.345	<-193
3	b-Li	642104	Im-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.47851(1)						42.09	2	20	0.548	301.3	21.045	
11	α -Na	44758	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.767(1)		6.154(1)				75.63	2	5	1.010	376.7	37.815	<-233
11	β -Na	644901	Im-3m (229) [bcc-W]	cl2	4.22140(2)						75.23	2	20	1.015	365.6	37.615	
19	K	641218	Im-3m (229) [bcc-W]	cl2	5.291(1)						148.12	2	228	0.896	458.2	74.060	
37	Rb	44755	Im-3m (229) [bcc-W]	cl2	5.605(1)						176.09	2	78	1.612	485.4	88.045	
55	Cs	626975	Im-3m (229) [bcc-W]	cl2	6.131(1)						230.46	2	228	1.915	531	115.230	
G2																	
4	α -Be	1425	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	2.2858(2)		3.5843(3)				16.22	2	293	1.845	222-228	8.110	<1270
4	β -Be	52708	Im-3m (229) [bcc-W]	cl2	2.5515						16.61	2	1527	1.802	221	8.305	
12	Mg	642651	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.20944		5.21076				46.48	2	298	1.737	320-321	23.240	
20	α -Ca	44727	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	5.612(12)						176.75	4	291	1.506	397	44.188	<443
20	β -Ca	44349	Im-3m (229) [bcc-W]	cl2	4.480(5)						89.92	2	740	1.480	388	44.960	
38	α -Sr	44721	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	6.076(5)						224.31	4	298	2.595	430	56.078	<547
38	β -Sr	198197	Im-3m (229) [bcc-W]	cl2	4.87(2)						115.5	2	903	2.519	416.5	57.750	
56	Ba	259551	Im-3m (229) [bcc-W]	cl3	5.026(3)						126.96	2	295	3.592	435	63.480	
88	Ra	42987	Im-3m (229) [bcc-W]	cl4	5.148(15)						136.43	2	293	5.502	446	68.215	
G13																	
5	α -B ₁₂	431643	R-3m (166) [B(hR12)]	hR12	4.6503(7)		11.971(3)				224.19	3	298	2.883	167-181	6.228	AAA_
5	β -B	291123	R-3m (166) [β -B]	hR105	10.93940(7)		23.8458(3)				2471.32	1	293	2.292	172-179	7.833	
13	Al	43492	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	4.05925(5)						66.89	4	293	2.679	287	16.723	
31	Ga	109032	Cmca (64) [Ga]	oS8	4.5219(2)	7.658(3)	4.526(2)				156.63	8	293	5.914	248-273	19.579	
49	In	639814	I4/mmm (139) [In]	tl2	3.2520(2)		4.9466(2)				52.31	2	294	7.290	325-338	26.155	
81	α -Tl	104200	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.463(1)		5.539(1)				57.53	2	293	11.799	341-346	28.765	
81	β -Tl	43414	Im-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.871(2)						58.01	2	523	11.701	335.2	29.005	>230
G14																	
6	C diam (HP)	136212	Fd-3m (227) [Cdiam]	cF8	3.567286(4)						45.4	8	293	3.515	154.5	5.675	
6	C graf	230104	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP4	2.46223(2)		6.7141(7)				35.25	4	293	2.263	142.2	8.813	
14	Si	51688	Fd-3m (227) [Cdiam]	cF8	5.43053(7)						160.15	8	293	2.330	235.1	20.019	
32	Ge	121532	Fd-3m (227) [Cdiam]	cF8	5.65735(8)						181.07	8	293	5.329	245	22.634	
50	α -Sn	40039	Fd-3m (227) [Cdiam]	cF8	6.4892(1)						273.3	8	293	5.770	281	34.163	<13
50	β -Sn	106072	I41/amd (141) [β -Sn]	tl4	5.8308(2)		3.1810(2)				108.15	4	296	7.291	302.2, 218.1	27.038	
82	Pb	96501	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	4.950(1)						121.29	4	293	11.347	350	30.323	

Z		ICSD	GE	S. P.	a Å	b	c	α °	β	γ	V Å ³	Z	T K	D _x g·cm ⁻³	M-M pm	Vat Å ³ /at	T _{ff} °C
G15																	
7	α -N ₂	(1)	Pa-3 (205) [N2]	cP8	5.65596(15)						180.94	4	6	1.028	105.6	22.618	<-237.54
7	β -N ₂	43429	P6 ₃ /mmc (194)	hP4	4.036(1)		6.630(2)				93.53	2	50	0.995		23.383	<-210
15	P negro	23836	Cmca [P(negro)]	oS8	3.3136(5)	10.478(1)	4.3763(5)				151.94	8	293	2.708	222, 224	18.993	
15	β -P ₄ blanco	68326	P-1 (2)	aP24	11.450(2)	5.503(1)	11.261(4)	71.84(2)	90.37(2)	71.56(1)	635.23	6	158	1.943	216-218	26.468	<-77
33	As	16516	R-3m (166) [As]	hR2	3.7597(1)		10.4412(2)				127.82	6	78	5.840	251.7	21.303	
51	Sb	64696	R-3m (166) [As]	hR2	4.3012(2)		11.2320(6)				179.96	6	78	6.741	290.3	29.993	
83	Bi	64704	R-3m (166) [As]	hR2	4.535(2)		11.814(6)				210.42	6	78	9.895	306.4	35.070	
G16																	
8	α -O ₂	18311	C2/m (12) [O ₂ (mS4)]	mS4	5.403(5)	3.429(3)	5.086(5)		132.53(4)		69.44	2	23	1.530	115	17.360	<-249.35
8	β -O ₂	173934	R-3m (166) [O ₂ (hR2)]	hR2	3.289		11.281				105.68	3	30	1.508	122.5	17.613	<-229.35
8	γ -O ₂	21107	Pm-3n [N ₂ (cP16)]	cP16	6.78(2)						311.67	8	46	1.364	102-124	19.479	<-218.79
16	α -S ₈	200455	Fddd (70) [S8(Fddd)]	oS128	10.385(1)	12.755(2)	24.410(1)				3233.31	16	100	2.108	204-206	25.260	
16	β -S ₈	870	P2 ₁ /c (14) [S8(P2 ₁ /c)]	mP48	10.926(2)	10.855(2)	10.790(3)		95.92(2)		1272.89	6	293	2.008	204.0	26.519	>95.4
34	Se	40018	P 3 ₁ 2 (152) [g-Se]	hP3	4.368(3)		4.958(4)				81.92	3	293	4.802	237.5	27.307	
52	Te	65692	P 3 ₁ 2 (152) [g-Se]	hP3	4.456(1)		5.921(2)				101.82	3	293	6.243	283.5	33.940	
84	Po	43211	Pm-3m (221) [a-Po]	cP1	3.359(1)						37.9	1	293	9.156	335.9	37.900	
G17																	
9	α -F ₂	(2)	C2/c (15)	mS8	5.4780(12)	3.2701(7)	7.2651(17)		102.09(2)		127.26	4	10	1.983	140.4	15.908	<-227.60
9	β -F ₂	(2)	Pm-3n [F2]	cP16	6.5314(15)						278.62	8	48	1.812	139-140	17.414	<-219.67
17	Cl ₂	201696	Cmca (64) [I2]	oS8	6.1453(2)	4.3954(1)	8.1537(2)				220.24	4	22	2.138	199.4	27.530	
35	Br ₂	201693	Cmca (64) [I2]	oS8	6.5982(3)	4.4933(2)	8.7014(5)				257.98	4	80	4.115	229.5	32.248	
53	I ₂	194468	Cmca (64) [I2]	oS8	7.15890(10)	4.69150(10)	9.80140(10)				329.18	4	100	5.121	271.8	41.148	
G18																	
2	α -He	44396	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.531 (6)		5.693 (10)				61.47	2	1.15	0.433	353.1	30.735	<-269.2
10	Ne	43427	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	4.4622(10)						88.85	4	4.2	1.509	313.2	22.213	<-228.59
18	Ar	24788	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	5.256(10)						145.2	4	4.2	1.828	371.7	36.300	<-189.2
36	Kr	43726	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	5.638(5)						179.22	4	20	3.106	398.7	44.805	<-157.39
54	Xe	43428	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	6.1317 (5)						230.54	4	5-75	3.783	433.6	57.635	<-111.76
86	Rn	426970	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	7.10327						358.41	4		4.114	502.3	89.603	

Z		ICSD	GE	S. P.	a Å	b	c	α °	β	γ	V Å ³	Z	T K	D _x g·cm ⁻³	M-M pm	Vat Å ³ /at	T _{ff} °C
1ST																	
21	α -Sc	52411	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.3088(2)		5.2680(3)				49.95	2	298	2.989	325.4, 330.9	24.975	<1337
21	β -Sc	164096	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.752(2)						52.82	2	1623	2.827	324.9	26.410	
22	α -Ti	253841	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	2.9508(2)		4.6855(3)				35.33	2	301	4.500	289.5, 295.1	17.665	<882
22	β -Ti	5475	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.3065						36.15	2	1173	4.398	286.3	18.075	
23	V	653395	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.0309						27.84	2	300	6.077	262.5	13.920	
24	Cr	44731	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	2.88494(7)						24.01	2	293	7.192	249.8	12.005	
25	α -Mn	42743	I4-3m (217) [MnCl ₅]	cl58	8.911(2)						707.59	58	293	7.478	225-293	12.200	<727
25	β -Mn	41775	P4 ₁ 32 (213) [b-Mn]	cP20	6.315(2)						251.84	20	298	7.245	236-268	12.592	<1100
25	γ -Mn	242038	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	3.855						57.29	4		6.370	273.1	14.323	<1138
25	δ -Mn	5393	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.093						29.59	2	1513	6.166	267.9	14.795	
26	α -Fe	631734	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	2.86623(2)						23.55	2	298	7.876	248.2	11.775	<912
26	γ -Fe	631733	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	3.6599						49.02	4	1349	7.567	272.9	12.255	<1394
26	δ -Fe	53452	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	2.9315						25.19	2	1663	7.363	253.9	12.595	
27	ϵ -Co	44990	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	cl2	2.5054		4.0893				22.23	2	291	8.805	250.5	11.115	<422
27	α -Co	196589	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	3.568(3)						45.42	4	776	8.618	252.3	11.355	
28	Ni	37502	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	3.57787						45.8	4	293	8.512	253	11.450	
29	Cu	136042	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	3.6199(3)						47.43	4	291	8.899	255.6	11.858	
30	Zn	653501	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	2.66469(2)		4.94616(4)				30.42	2	295	7.138	266.5	15.210	

Z		ICSD	GE	S. P.	a Å	b	c	α °	β	γ	V Å ³	Z	T K	D _x g·cm ⁻³	M-M pm	Vat A ³ /at	T _{ff} °C
2ST																	
39	α -Y	52539	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.6474(7)		5.7306(8)				66.02	2	293	4.472	355.6, 364.7	33.010	<1478
39	β -Y		I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	4.07						67.42	2		4.380	352.5	33.710	
40	α -Zr	164572	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.2332(4)		5.1466(10)				46.59	2	293	6.503	317.9, 323.3	23.295	<863
40	β -Zr	76168	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.616(2)						47.29	2	1252	6.407	313.1	23.645	
41	Nb	645065	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.3007						35.96	2	300	8.581	285.8	17.980	
42	Mo	173131	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.1468(1)						31.16	2	293	10.227	272.5	15.580	
43	Tc	653014	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	2.7407(1)		4.3980(1)				28.61	2	298	11.249	270.9, 274.1	14.305	
44	Ru	54236	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	2.696(1)		4.269(2)				27.87	2	298	12.044	264.2, 269.6	13.935	
45	Rh	650218	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	3.8034						55.02	4	303	12.424	253.9	13.755	
46	Pd	76148	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	3.8898						58.85	4	298	12.011	275.1	14.713	
47	Ag	52545	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	4.0861						68.22	4	298	10.503	288.9	17.055	
48	Cd	619639	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	2.976(4)		5.620(5)				43.07	2	289	8.668	297.7	21.535	
3ST																	
57	α -La	102655	P6 ₃ /mmc (194) [La]	hP4	3.770(2)		12.159(1)				149.66	4	293	6.165	373.9, 377.0	37.415	<310
57	β -La	43574	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	5.303						149.13	4	871	6.187	375	37.283	<865
57	γ -La	43568	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	4.26						77.31	2	1160	5.967		38.655	
72	α -Hf	76142	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.193(3)		5.052(3)				44.61	2	293	13.288	312.7	22.305	<1743
72	β -Hf	53023	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.615						47.24	2	2073	12.549	313.1	23.620	
73	Ta	652902	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.30256(5)						36.02	2	299	16.684	286	18.010	
74	W	43667	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.16522(9)						31.71	2	298	19.255	274.1	15.855	
75	Re	109248	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	2.7609(4)		4.476(4)				29.55	2	298	20.928	274.8	14.775	
76	Os	647701	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	2.7338		4.3195				27.96	2	289	22.596	265.5	13.980	
77	Ir	640729	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	3.839						56.58	4	303	22.566	271.5	14.145	
78	Pt	76153	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	3.9231						60.38	4	298	21.460	277.4	15.095	
79	Au	52700	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	4.07894(5)						67.86	4	298	19.280	288.4	16.965	
80	Hg	104296	R-3mh (166) [Hg LT]	hR1	3.458		6.684				69.22	1	83	14.436	299.3	23.073	

Z		ICSD	GE	S. P.	a Å	b	c	α °	β	γ	V Å ³	Z	T K	D _x g·cm ⁻³	M-M pm	Vat Å ³ /at	T _{ff} °C
Ln																	
58	α -Ce	102656	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	5.1612(5)						137.48	4	300	6.770	364.9	34.370	<-177
58	β -Ce	43381	P6 ₃ /mmc (194) [La]	hP4	3.673(1)		11.802(5)				137.89	4	293	6.750	363.4, 367.3	34.473	<61
58	γ -Ce	43382	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	5.1233(5)						134.48	4	293	6.921	362.3	33.620	<726
58	δ -Ce	43569	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	4.12						69.93	2	1030	6.655	356.8	34.965	
59	α -Pr	649183	P6 ₃ /mmc (194) [La]	hP4	3.6721(3)		11.8326(6)				138.18	4	293	6.774	363.9	34.545	<795
59	β -Pr	43570	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	4.13						70.44	2	1094	6.644	357.7	35.220	
60	α -Nd	645577	P6 ₃ /mmc (194) [La]	hP4	3.6582(3)		11.7966(6)				136.72	4	293	7.008	362.7	34.180	<863
60	β -Nd	76593	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	4.13						70.44	2	1156	6.801	357.7	35.220	
61	α -Pm	(3)	P6 ₃ /mmc (194) [La]	hP4	3.65(1)		11.65(9)				134.41	4	293	7.161	359.5, 365.0	33.603	<890
61	β -Pm		I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	4.1						68.92	2		6.983	355.1	34.460	
62	α -Sm	652630	R-3m (166)	hR3	3.6281(2)		26.233(1)				299.05	9	295	7.514	358.8	33.228	<734
62	β -Sm	652640	P6 ₃ /mmc (194) [La]		3.644(5)		5.876(5)				67.57	2	980	7.390	361.4, 364.4	33.785	<922
62	γ -Sm	(4)	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	4.1						68.92	2		7.246	355.1	34.460	
63	Eu	53422	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	4.5824(3)						96.22	2	293	5.245	396.8	48.110	
64	α -Gd	184250	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.623(2)		5.822(5)				66.18	2	293	7.891	358.5, 362.3	33.090	<1235
64	β -Gd	104045	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	4.05(2)						66.43	2	293	7.862	350.7	33.215	
65	α' -Tb	(5)	Cmcm	oC4	3.58820(8)	6.25408(14)	5.70885(13)				128.07	4	100	8.243	353.0-360.8	32.018	<-53
65	α -Tb	104192	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.6092		5.6966				64.26	2	300	8.214	352.9, 360.9	32.130	<1289
65	β -Tb	104193	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	4.02(2)						64.96	2	293	8.125	348.1	32.480	
66	α' -Dy	(6)	Cmcm	oC4	3.595	6.184	5.678				126.27	4	86	8.548	354.8-359.5	31.568	<-187
66	α -Dy	95172	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.588(2)		5.646(3)				62.95	2	293	8.573	350.2, 358.8	31.475	<1381
66	β -Dy	53358	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.98(2)						63.04	2	293	8.561	344.7	31.520	
67	α -Ho	56226	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.5773(1)		5.6158(2)				62.24	2	293	8.801	348.6, 357.7	31.120	<1461
67	β -Ho	56227	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.96(2)						62.1	2	293	8.821	342.9	31.050	
68	Er	247674	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.593(1)		5.681(1)				63.51	2	293	8.747	351.7, 359.3	31.755	
69	Tm	52527	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.534(5)		5.573(8)				60.28	2	293	9.307	345.4, 353.4	30.140	
70	α -Yb	653478	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.8799(2)		6.3859(2)				83.25	2	296	6.904	388.0, 390.0	41.625	<-3
70	β -Yb	653477	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	5.4847(2)						164.99	4	296	6.967	387.8	41.248	<795
70	β -Yb	52542	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	4.44						87.53	2	1047	6.566	384.5	43.765	
71	Lu	168439	P6 ₃ /mmc (194) [hcp-Mg]	hP2	3.5110(4)		5.5719(3)				59.48	2	293	9.770	350.1	29.740	

Z		ICSD	GE	S. P.	a Å	b	c	α °	β	γ	V Å ³	Z	T K	D _x g·cm ⁻³	M-M pm	Vat Å ³ /at	T _{ff} °C
An																	
89	Ac	43491	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	5.311(10)						149.81	4	293	10.066	375.5	37.453	
90	α -Th	653236	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	5.0838(3)						131.39	4	293	11.731	359.5	32.848	<1377
90	β -Th	76038	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	4.11(1)						69.43	2	1723	11.100	355.9	34.715	
91	α -Pa	648332	I4/mmm (139)	tl2	3.921(1)		3.235(1)				49.74	2	293	15.427	321.0, 323.5	24.870	<1170
91	β -Pa	(7)	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.739						52.25	2		14.686	323.8	26.125	
92	α -U	653368	Cmcm (63) [U]	oS4	2.8539(1)	5.8678(1)	4.9554(1)				82.98	4	298	19.054	275.2-334.5	20.745	<668
92	β -U	9140	P4 ₂ nm (102) [β -U]	tP30	10.759(1)		5.656(1)				654.72	30	993	18.112	303.8-333.2	21.824	<776
92	γ -U	52536	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.5335(1)						44.12	2	1060	17.918	306	22.060	
93	α -Np	105489	Pnma (62) [α -Np]	oP4	6.663(3)	4.723(1)	4.887(2)				153.79	8	293	20.477	260.0-335.7	19.224	<280
93	β -Np	44379	P 4/nmm (129) [β -Np]	tP4	4.897(2)		3.388(2)				81.25	4	586	19.379	275.9-338.8	20.313	<577
93	γ -Np	76262	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.52						43.61	2	873	18.053	304.8	21.805	
94	α -Pu	94242	P2 ₁ /m (11) [Pu(mP16)]	mP16	6.1859(3)	4.8260(2)	10.9719(6)		101.787(5)		320.64	16	295	20.224	246.9-363.2	20.040	<126
94	β -Pu	43336	I2/m (12) [Pu(mS34)]	mS64	9.284(2)	10.463(2)	7.859(2)		92.13(2)		762.88	34	463	18.063	260.0-355.9	22.438	<215
94	γ -Pu	44866	Fddd (70) [Pu(oF8)]	oF8	3.1587(4)	5.7682(4)	10.162(2)				185.15	8	508	17.511	302.6-328.8	23.144	<323
94	d-Pu	43708	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	4.631(1)						99.32	4	693	16.322	325.7	24.830	<468
94	δ -Pu	44769	I4/mmm (139) [In]	tl2	3.339(3)		4.446(7)				49.57	2	750	16.352	324.3, 333.9	24.785	<486
94	ϵ -Pu	649893	I m-3m (229) [bcc-W]	cl2	3.6361(4)						48.07	2	763	16.862	314.9	24.035	
95	α -Am	43354	P6 ₃ /mmc (194) [La]	hP4	3.4681(8)		11.241(3)				117.09	4	293	13.788	345.1, 346.8	29.273	<769
95	β -Am	43499	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	4.894(5)						117.22	4	293	13.773	346.1	29.305	<1077
96	α -Cm	52923	P6 ₃ /mmc (194) [La]	hP4	3.502(5)		11.32(2)				120.23	4	293	13.650	347.8, 350.2	30.058	<1296
96	β -Cm	622375	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	4.933(4)						120.04	4	q 293	13.671	348.8	30.010	
97	α -Bk	617264	P6 ₃ /mmc (194) [La]	hP4	3.412(3)		11.060(6)				111.51	4	293	14.717	339.5, 341.2	27.878	<977
97	β -Bk	42622	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	4.997(4)						124.78	4	293	13.152	353.3	31.195	
98	α -Cf	52917	P6 ₃ /mmc (194) [La]	hP4	3.380(2)		11.025(3)				109.08	4	293	15.289	337.7, 338.0	27.270	<600
98	β -Cf	52914	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	4.78						109.22	4	293	15.270	338	27.305	
99	Es	(8)	F m-3m (225) [fcc-Cu]	cF4	5.746(5)						189.71	4		8.826	406.3	47.428	

(1) 19827 2007945 (CSD)

(2) 10.1002/chem.201805298

(3) doi.org/10.1016/0022-5088(71)90101-9

(4) doi.org/10.1016/S0168-1273(86)08004-2

(5) doi:10.1021/jacs.3c04931

(6) doi.org/10.1063/1.1729497

(7) doi.org/10.1107/S0365110X65001871

(8) 10.1051/jphyscol:1979431

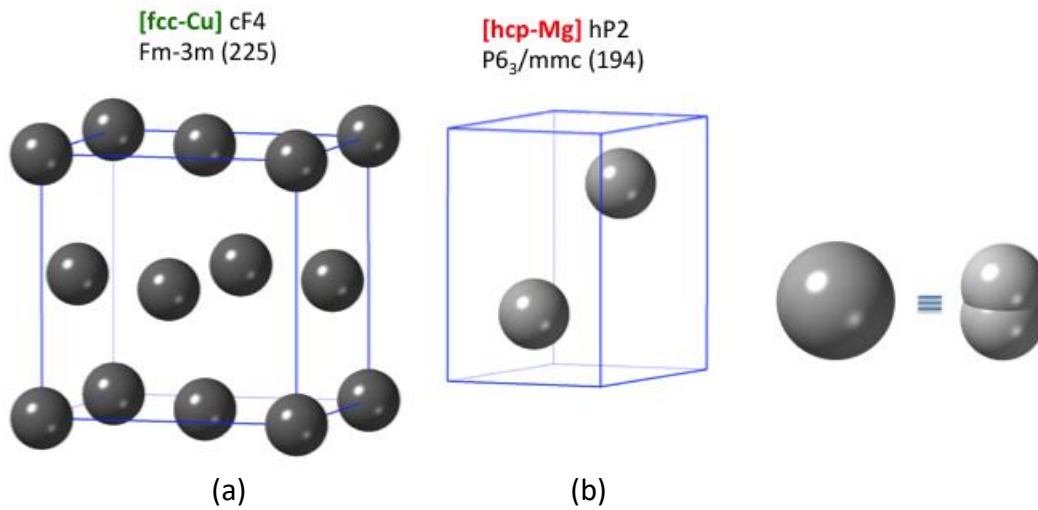


Figura E.1. Celdas (a) cúbica y (b) hexagonal para el D₂.

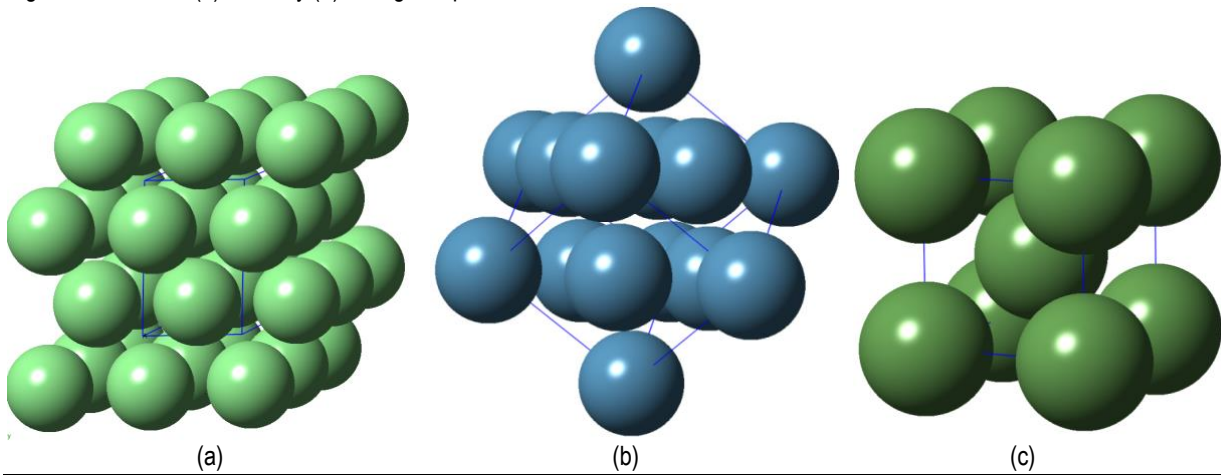


Figura E.2. Celdas unidad de (a) LI, Na, Be y Mg; (b) Ca y Sr (c) K, Rb, Cs, Ba y Ra

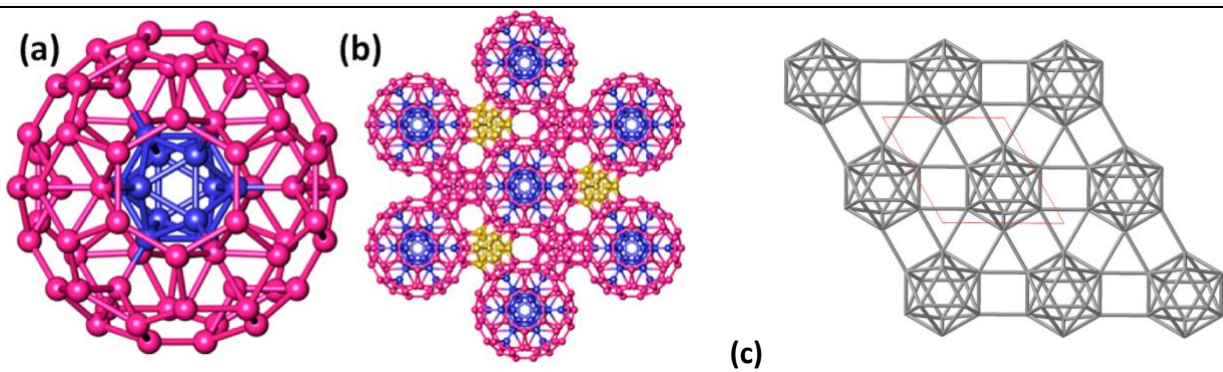


Figura E.3. Estructuras cristalinas del boro: β -B romboédrico: (a) Unidad B₈₄ (b) Conexiones entre las unidades B₈₄ a través de grupos B₁₀. (c) α -B conexiones entre las unidades B₁₂ icosaédricas en la capa paralela al plano xy.

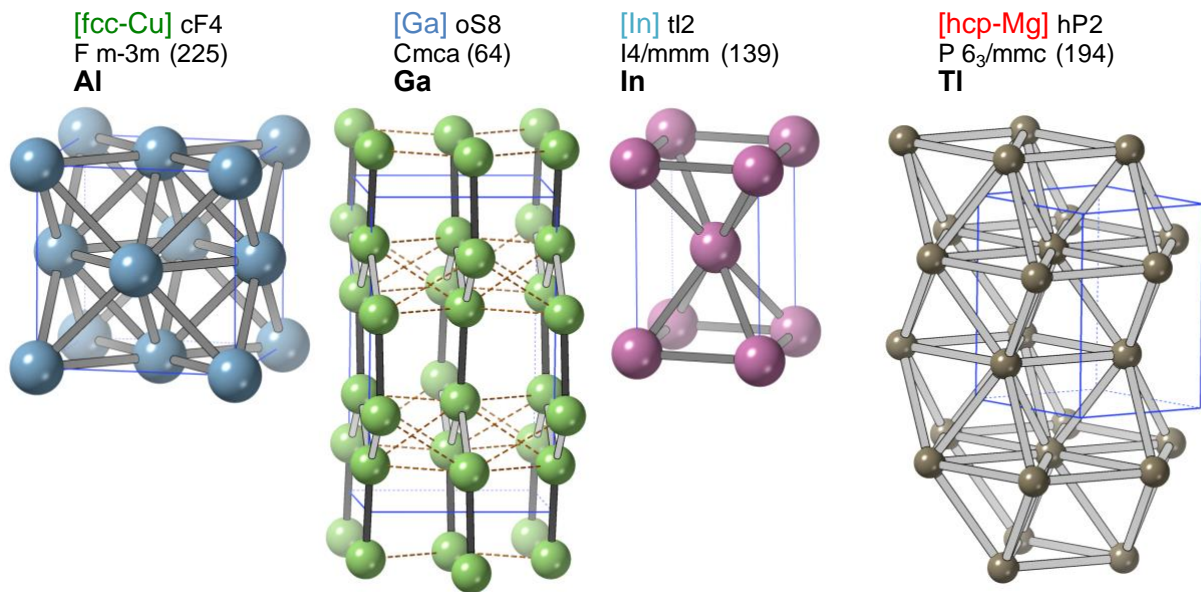


Figura E.4. Estructuras cristalinas de aluminio, galio, indio y talio.

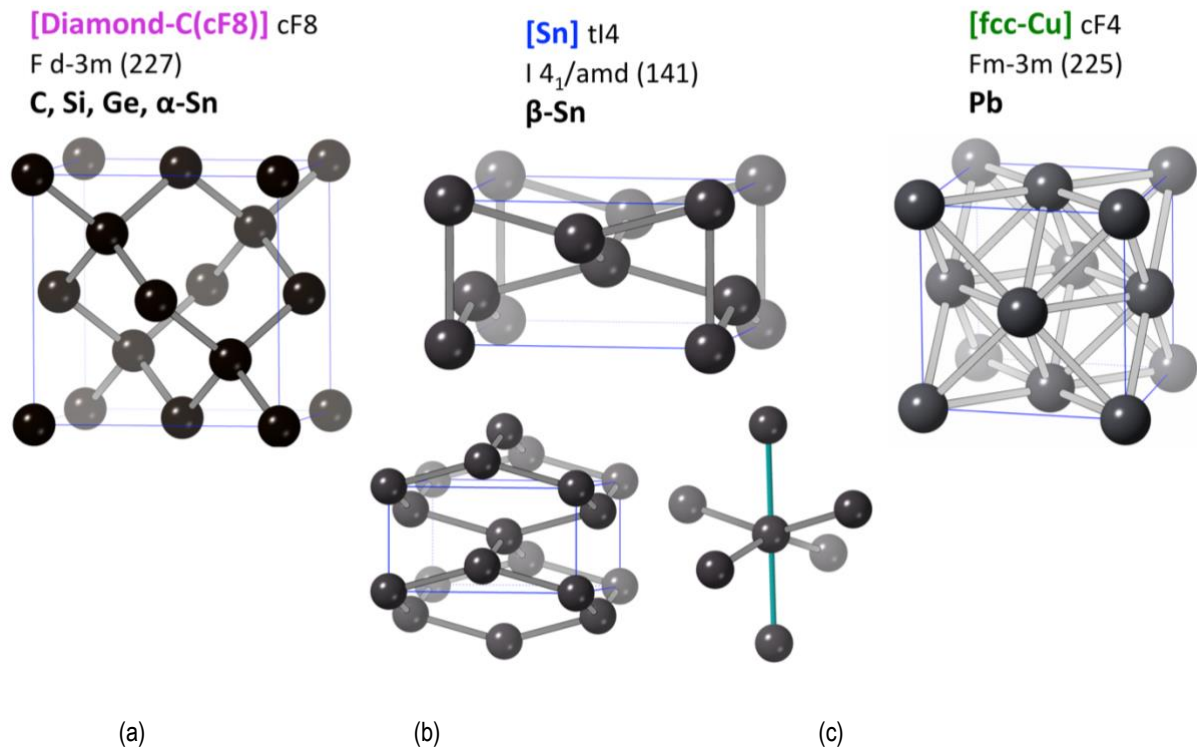
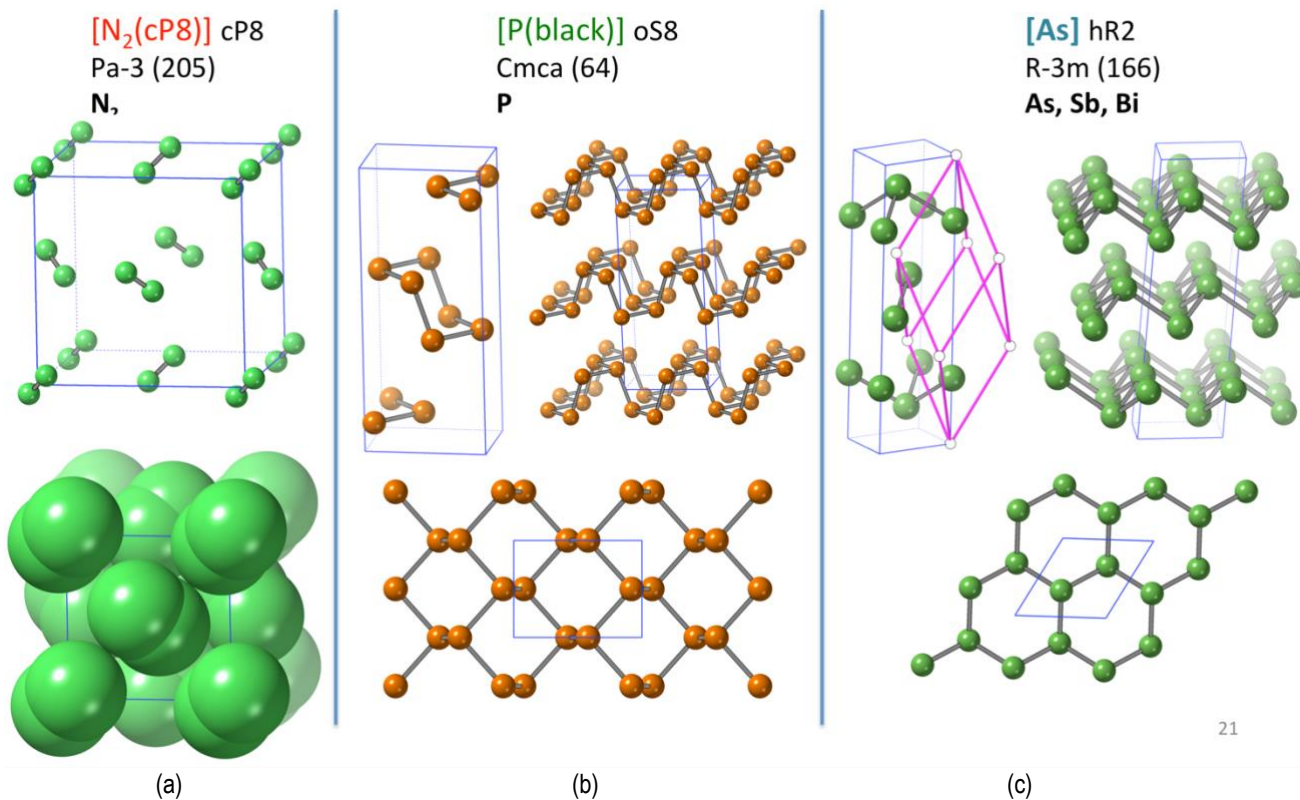
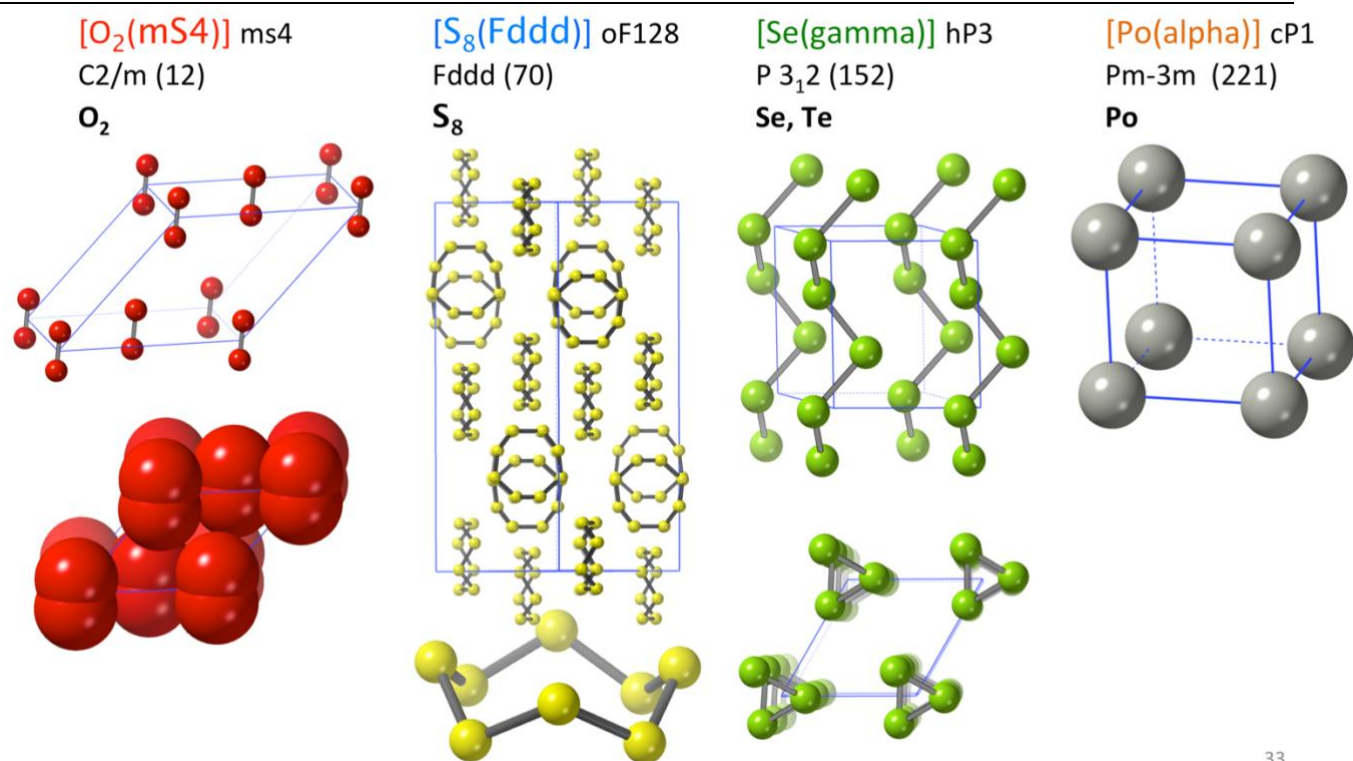


Figura E.5. Estructuras tipo de los elementos del grupo 14: (a) carbono, silicio, germanio y α-estaño; (b) β-estaño; (c) plomo.



21

Figura E.6. Estructuras cristalinas de (a) nitrógeno, (b) fósforo negro, (c) arsénico, antimonio o bismuto



33

Figura E.7. Estructura tipo de los elementos del grupo 16.

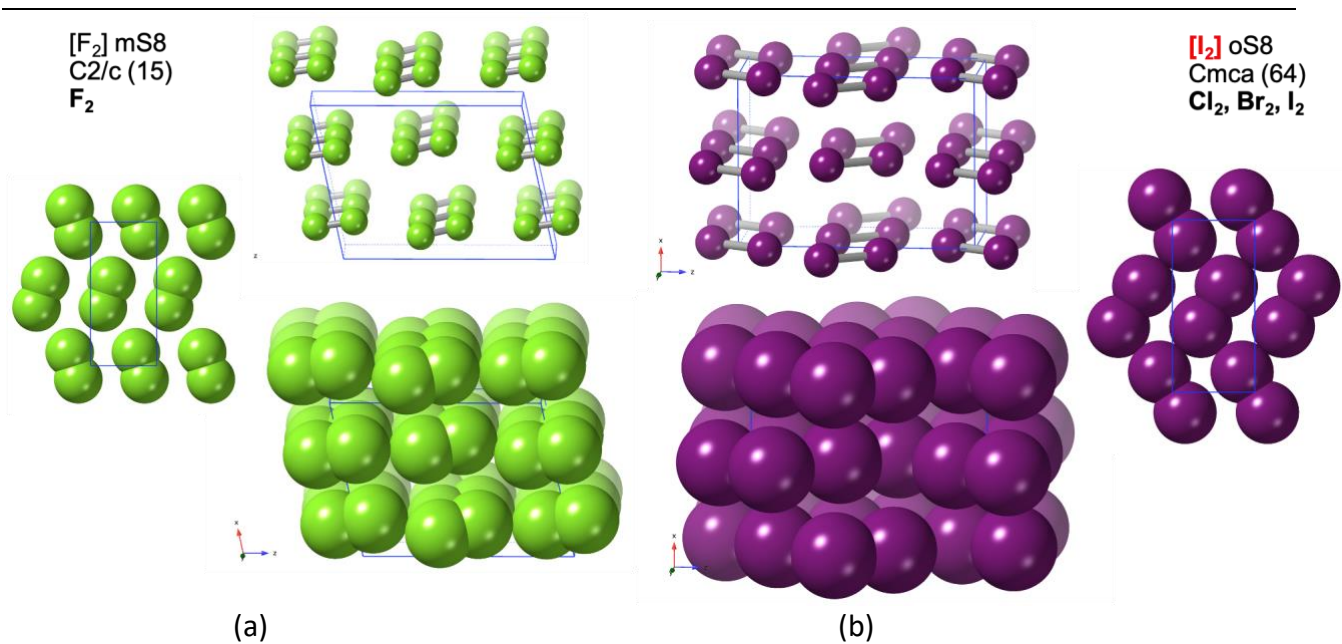


Figura E.8. (a) Estructura cristalinas flúor. (b) Cloro, bromo y yodo. *ball&stick* (arriba), *space-filling* (abajo)

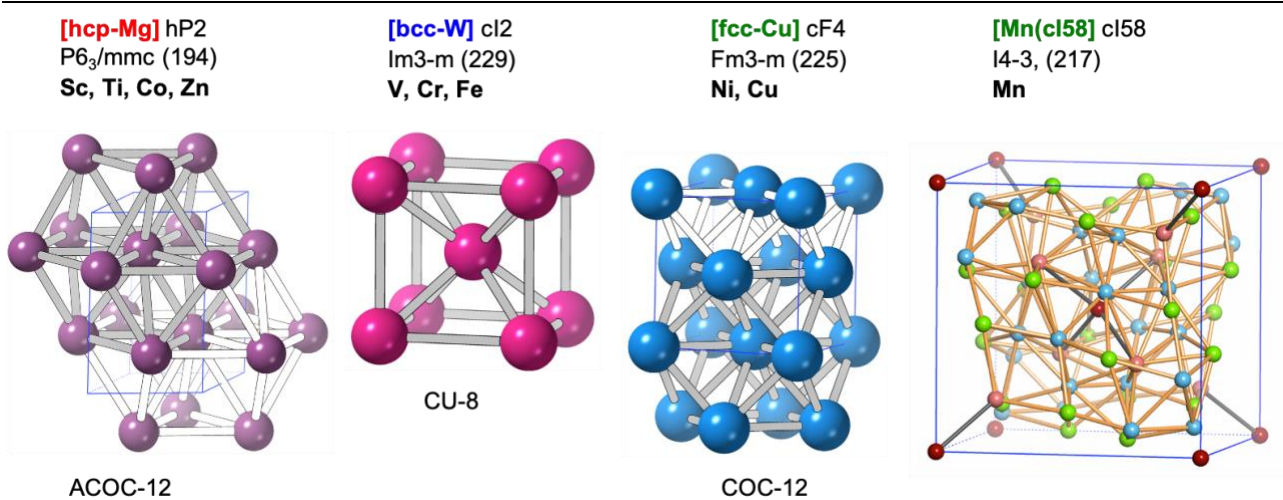


Figura E.9. Estructuras cristalinas tipo de los elementos de la 1ª serie de transición.

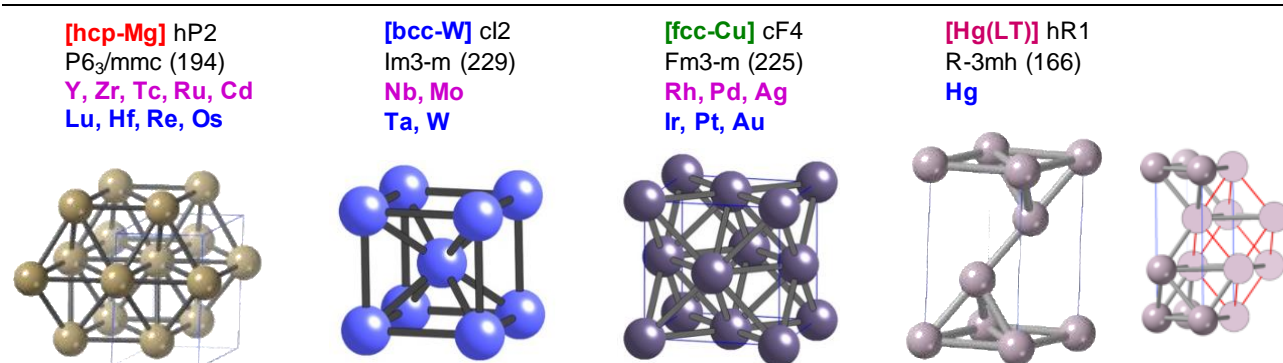
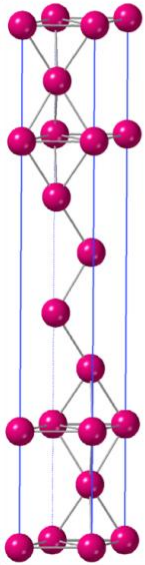
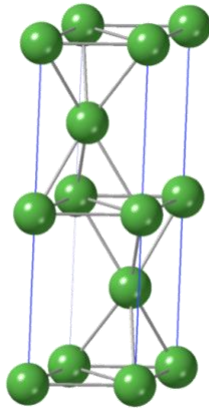


Figura E.10. Estructuras cristalinas tipo de los elementos de la 2ª y 3ª series de transición.

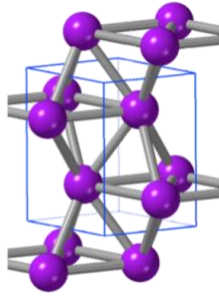
[Sm] hR3
R-3m (166)
Sm



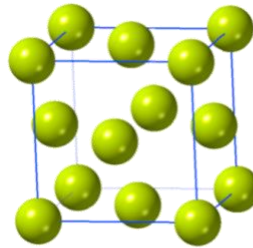
[La] hP4
P6₃/mmc (194)
La, Pr, Nd, Pm



[hcp-Mg] hP2
P6₃/mmc (194)
Gd, Tb, Dy, Ho,
Er, Tm, Lu



[fcc-Cu] cF4
Fm-3m (225)
Ce, Yb



[bcc-W] cI2
Im-3m (229)
Eu

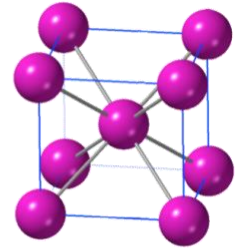
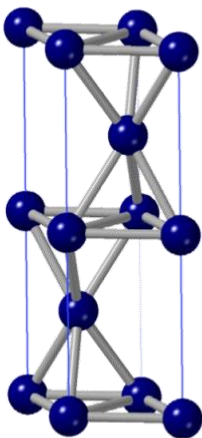
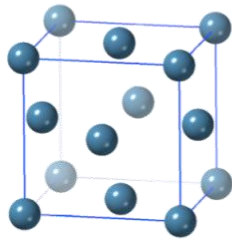


Figura E.11. Estructuras cristalinas tipo de los lantánidos.

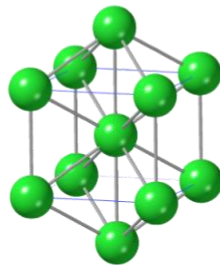
[La] hP4
P6₃/mmc (194)
Am, Cm, Bk, Cf



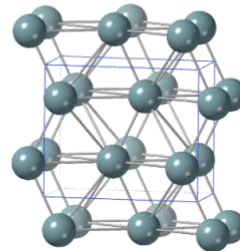
[fcc-Cu] cF4
Fm-3m (225)
Ac, Th



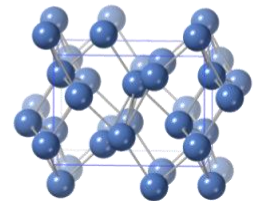
[Pa] tI2
I₄/mmm (139)
Pa



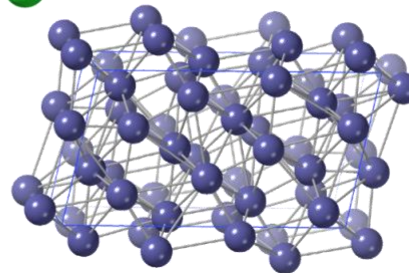
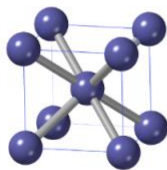
[U] oS4
Cmcm (63)
U



[FeB] oP8
Pnma (62)
Np



[bcc-W] cI2
Im-3m (229)
ε-Pu



[Pu] mP16
P2₁/m (11)
α-Pu

Figura E.12. Estructuras cristalinas tipo de los actínidos.