



Facultat  
de Química

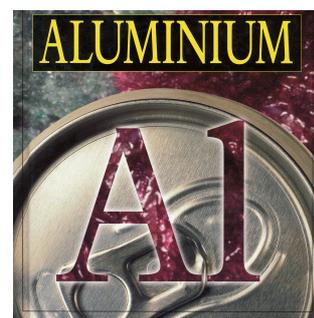
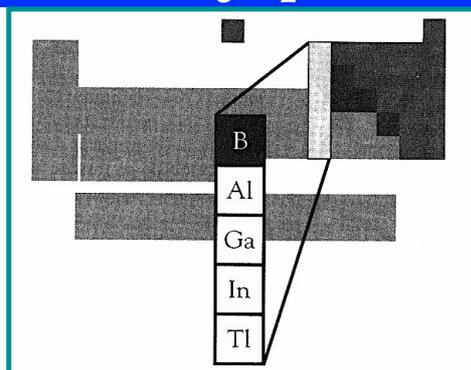
<https://www.youtube.com/watch?v=e53r7PRMMJI>

“La edad del aluminio”

(<https://vimeo.com/77853124>)

## Tema 4. Metales del Grupo 13: Al, Ga, In, Tl

(adaptada de: G. Rayner-Canham,  
*Química Inorgánica Descriptiva*,  
2ª ed, Pearson Educación, 2000)



Prof. Responsable: *José María Moratal Mascarell*. Catedrático de Química Inorgánica ([jose.m.moratal@uv.es](mailto:jose.m.moratal@uv.es))



Facultat  
de Química

## Tema 4. Metales del grupo 13

### Indice

- 1.- Descubrimiento de los elementos
- 2.- Tendencias grupales
- 3.- Al, Ga, In y Tl
  - Estado natural y aplicaciones
  - Química en disolución acuosa
- 4.- Propiedades y reactividad del Aluminio
- 5.- Obtención y aplicaciones del Aluminio
- 6.- Haluros de aluminio
- 7.- Oxidos e hidróxidos de Al
- 8.- Sulfato de aluminio y alumbres
- 9.- Toxicidad
- 10.- Complementos formativos

a) Boro (*recordatorio*)

- bórax conocido desde la antigüedad → utilizado en fabricación vidrios
- siglo XVIII, H. Davy, J.L. Gay Lussac, L.J. Thenard
  - obtienen muestras muy impuras de B
- 1892, H. Moissan
  - muestras de B pureza 95-98% → reducción de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con Mg

## b) Aluminio

- nombre deriva de Alumbre [KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12 H<sub>2</sub>O]
  - Alumbre → conocido en la antigua Grecia y Roma
    - utilizado como astringente
- Al → aislado por Wöhler 1827       $\text{AlCl}_3 (s) + 3 \text{K} (l) \rightarrow \text{Al} (s) + 3 \text{KCl} (s)$

c) Ga, In, Tl → *espectroscopía*

- Ga → 1875, P. E. Lecoq
- Indio → 1863, F. Reich, H.T. Richter
- Tl → 1861-62, W. Crookes, C. A. Lamy

3

- Mayor versatilidad que en los grupos 1 y 2
- Tendencias con irregularidades

TABLE 22.5 Some Properties of the Group 13 Metals

	Al	Ga	In	Tl
Atomic number	13	31	49	81
Atomic (metallic) radius, pm	143	122	163	170
Ionic (M <sup>3+</sup> ) radius, pm	53	62	79	88
Electronegativity A-R( $\chi$ )	1,61	1,76	1,66	1,79
First ionization energy, kJ mol <sup>-1</sup>	577.6	578.8	558.3	589.3
Electrode potential $E^\circ$ , V <sup>a</sup>	-1.676	-0.56	-0.34	+0.72(*)
Melting point, °C	660.37	29.78	156.17	303.55
Boiling point, °C	2467	2403	2080	1457
Density, g/cm <sup>3</sup> at 20 °C	2.698	5.907	7.310	11.85
Hardness <sup>b</sup>	2.75	1.5	1.2	1.25
Electrical conductivity <sup>b</sup>	59.7	9.1	19.0	8.82

<sup>a</sup> For the reduction  $\text{M}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{e}^- \longrightarrow \text{M}(\text{s})$ .

<sup>b</sup> See footnotes of Table 22.2.

(adaptada de: R.H.Petrucci, W.S. Harwood, G.E. Herring, *General Chemistry*, 8<sup>th</sup> ed, Prentice-Hall, 2002)

- (\*) *pero* ... Tl es reductor:  $E^\circ(\text{Tl}^+/\text{Tl}) = -0,34 \text{ V}$ ,  $E^\circ(\text{Tl}^{3+}/\text{Tl}^+) = +1,25 \text{ V}$

4

## 1. Propiedades atómicas

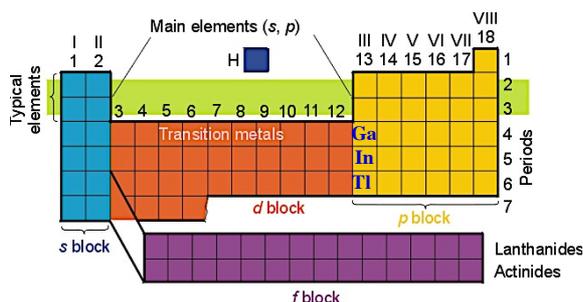
## 2. Tendencias Grupales

### 1.- nº atómicos impares (Z) → ¿isótopos estables?

- pocos isótopos estables

### 2.- Configuraciones electrónicas

- capa de valencia → ¿?
- ¿configuración electrónica interna?  
– ¿cómo afecta a las propiedades atómicas?



	Z (nº atómico)	nº isótopos naturales	configuración electrónica	abundancia relativa isótopos naturales
<b>B</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>[He] 2s<sup>2</sup> 2p<sup>1</sup></b>	<b><sup>10</sup>B 19,6%, <sup>11</sup>B 80,4%</b>
<b>Al</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>[Ne] 3s<sup>2</sup> 3p<sup>1</sup></b>	<b><sup>27</sup>Al 100%</b>
<b>Ga</b>	<b>31</b>	<b>2</b>	<b>[Ar] 3d<sup>10</sup> 4s<sup>2</sup> 4p<sup>1</sup></b>	<b><sup>69</sup>Ga 60,4%, <sup>70</sup>Ga 39,6%</b>
<b>In</b>	<b>49</b>	<b>2</b>	<b>[Kr] 4d<sup>10</sup> 5s<sup>2</sup> 5p<sup>1</sup></b>	<b><sup>113</sup>In 4,3%, <sup>115</sup>In 95,7%</b>
<b>Tl</b>	<b>81</b>	<b>2</b>	<b>[Xe] 4f<sup>14</sup> 5d<sup>10</sup> 6s<sup>2</sup> 6p<sup>1</sup></b>	<b><sup>203</sup>Tl 29,5%, <sup>205</sup>Tl 70,5%</b>

5

## 1. Propiedades atómicas

## 2. Tendencias Grupales

### 3.- Energías de Ionización, $\chi$ , radio covalente/metálico

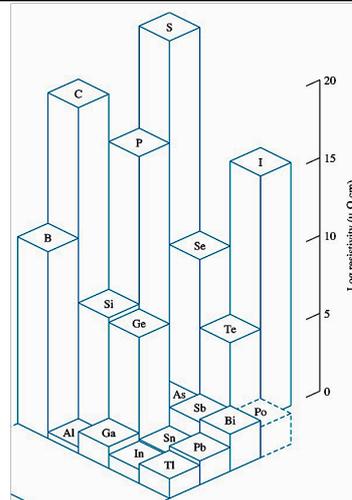
- ¿variación energías de Ionización y  $\chi$ ?  
– disminuyen con irregularidades (Ga, Tl) ¿por qué?
- gran diferencia EI<sub>4</sub>-EI<sub>3</sub> → en B y Al  
– menor en Ga, In, Tl ¿por qué?
- radio → “irregularidades” (Ga, Tl ¿?)

	<b>B</b>	<b>Al</b>	<b>Ga</b>	<b>In</b>	<b>Tl</b>
Energía de ionización (kJ·mol <sup>-1</sup> ):					
EI <sub>1</sub>	801	578	579	558	589
EI <sub>2</sub>	2427	1817	1979	1821	1971
EI <sub>3</sub>	3660	2745	2963	2704	2878
EI <sub>4</sub>	25030	11580	6200	5200	4900
Electronegatividad A-R( $\chi$ )	2,05	1,61	1,76	1,66	1,79
radio covalente	88	130	122	150	155
r metálico (pm)	---	143	135	167	170
densidad 20°C (g·cm <sup>-3</sup> )	2,35	2,698	5,907	7,31	11,85

6

## 2. *Carácter metálico*

- **Aumenta al descender en el grupo**
- **1.- Resistividad eléctrica**
  - **boro** → *elevada*
    - **no metal/semimetal**
  - **Al, Ga, In y Tl** ¿resistividad eléctrica? → *baja*
    - *metales*
- **2.- Criterio químico: carácter ácido/base de  $M(OH)_3$** 
  - **$B(OH)_3$**  → *ácido* ; **M = Al, Ga** → *hidróxidos anfóteros*;
  - **M = In** → *hidróxido básico*



(adaptadas de: G. L. Miessler, D. A. Tarr, *Inorganic Chemistry*, 4<sup>th</sup> ed, Pearson, 2010)

**TABLE 8.5** Properties of the Group 13 (IIIA) Elements

Element	Ionization Energy (kJ mol <sup>-1</sup> )	Electron Affinity (kJ mol <sup>-1</sup> )	Melting Point (°C)	Boiling Point (°C)	Electro-negativity
B	801	27	2180	3650 <sup>a</sup>	2.051
Al	578	43	660	2467	1.613
Ga	579	30 <sup>a</sup>	29.8	2403	1.756
In	558	30 <sup>a</sup>	157	2080	1.656
Tl	589	20 <sup>a</sup>	304	1457	1.789

7

## 2. *Carácter metálico*

## 2. *Tendencias Grupales*

- **3.- Temperatura de fusión, t<sup>a</sup> de ebullición y  $\Delta H_{at}^{\circ}$** 
  - **Al, Ga, In, Tl**
    - **p. f. 's** → **no muestran un patrón simple**
      - » **presentan diferentes estructuras**
      - » **en estos casos la  $\Delta H_{at}^{\circ}$  proporciona una estimación más precisa de la fuerza de las interacciones en el estado sólido**
    - **puntos de ebullición** → **disminuyen al aumentar la masa atómica**
      - » **sólo cuando se han destruido las estructuras cristalinas, se observa el debilitamiento de los enlaces metálicos al descender en el grupo**

	p. f. (°C)	p. e. (°C)	$\Delta H_{at}^{\circ}$ 298 K, (kJ·mol <sup>-1</sup> )	estructura del sólido
<b>B</b>	<b>2180</b>	<b>3650</b>	<b>582</b>	red covalente con unidades B <sub>12</sub>
<b>Al</b>	<b>660</b>	<b>2467</b>	<b>330</b>	red metálica cúbica compacta
<b>Ga</b>	<b>29,8</b>	<b>2403</b>	<b>277</b>	red distorsionada, interacción entre dímeros
<b>In</b>	<b>157</b>	<b>2080</b>	<b>243</b>	red metálica cúbica compacta distorsionada
<b>Tl</b>	<b>304</b>	<b>1457</b>	<b>182</b>	red metálica hexagonal compacta

8

### 3. Estados de oxidación

### 2. Tendencias Grupales

- E.O. característico del grupo  $\rightarrow +3$  (único para B y Al)
- ¿qué ocurre al descender en el grupo?
  - se inestabiliza E.O. +3 vs. +1  $\rightarrow$  efecto del *par inerte*
  - el par de electrones  $ns^2$  se comporta como *interno*
- Ga, In y Tl  $\rightarrow$  E.O.'s +3 y +1
  - Ga, In  $\rightarrow$  predomina E.O. +3
  - Tl  $\rightarrow$  predomina E.O. +1
- las apariencias engañan  $\rightarrow$  ¿cuál es el E.O. en  $\text{GaCl}_2$ ?
  - contiene Ga en dos EO's  $\rightarrow [\text{Ga}^+][\text{GaCl}_4^-]$
- ¿cuál es el origen del efecto del *par inerte*?  $\rightarrow$  factores termoquímicos



(kJ·mol <sup>-1</sup> )	B	Al	Ga	In	Tl
EI <sub>2</sub> + EI <sub>3</sub>	6087	4562	4942	4525	4849
E(M-Cl)	440	425	360	328	260
E(M-H)	373	287	260	225	---

9

### 2. Tendencias Grupales

¿Cuál es el origen del efecto del *par inerte*?

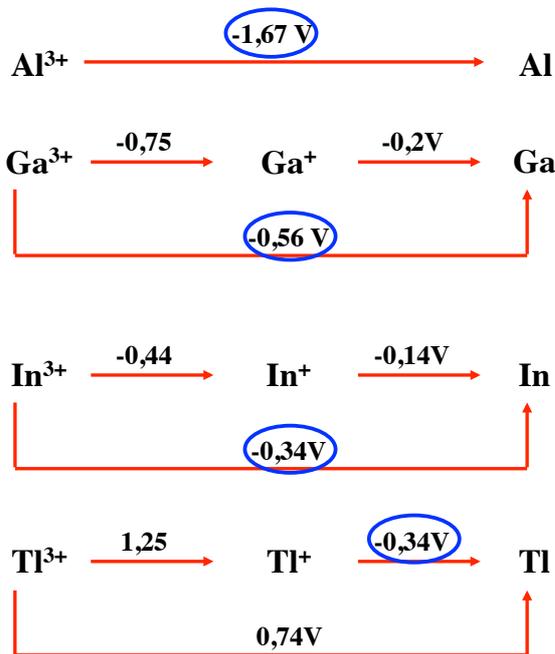
- factores termoquímicos
$$\text{MX (s)} + \text{X}_2 \text{ (g)} \rightarrow \text{MX}_3 \text{ (s)}$$
- 1) supuesto compuestos esencialmente iónicos
  - mayor EI<sub>2</sub>+EI<sub>3</sub> en el Tl que en el Al
    - mayor dificultad de ionizar los electrones  $6s^2$  en el Tl
  - la  $U_0$  disminuye al descender en el grupo
  - en Tl, estos factores conducen a desestabilizar el EO +3 frente a EO +1
- 2) supuesto compuestos esencialmente con enlace covalente
  - las energías de enlace M-X disminuyen acentuadamente de Al  $\rightarrow$  Tl
  - la formación de dos enlaces adicionales Tl-X no compensa la energía necesaria para disociar  $\text{X}_2$  y la promoción electrónica del Tl para formar 3 enlaces (de  $6s^2 6p^1 \rightarrow 6s^1 6p^2$ )
  - observar que en la formación de TlX no se requiere promoción electrónica

10

### 3. Estados de oxidación

### 2. Tendencias Grupales

- potenciales redox en medio ácido (pH = 0)
  - reflejan la estabilidad relativa de los EO's +3/+1



- ¿qué información nos dan respecto a ...
  - ¿poder reductor de los metales?  
¿deberían ser atacados por los ácidos minerales?
  - ¿estabilidad relativa de los EO's +3/+1?
  - Ga<sup>+</sup> e In<sup>+</sup> ¿son estables?
  - ¿Tl<sup>+</sup> es estable en medio ácido?

11

### 4. Tipo de enlace en sus compuestos

### 2. Tendencias Grupales

- compuestos de boro (*recordatorio*) → con enlace esencialmente covalente
  - moleculares (mayoría) o redes covalentes polarizadas
  - radio pequeño, elevadas EI's, χ parecida a C e H
- compuestos de Al, Ga → mayor carácter iónico
- pero ..., la covalencia es también frecuente entre los compuestos del grupo

	B	Al	Ga	In	Tl
radio covalente	88	130	122	150	155
metálico (pm)	---	143	135	167	170
radio iónico M <sup>3+</sup> (pm)	--	54	62	80	89
densidad de carga iones M <sup>3+</sup> (C·mm <sup>-3</sup> )	1664	364(*)	261	138	105
(Na <sup>+</sup> = 24, Mg <sup>2+</sup> = 120)					

- (\*) para coordinación 6 ; (para n. c. = 4, ρ<sub>+</sub> = 770)

12

## 4. Tipo de enlace en sus compuestos

- pero..., la covalencia es también frecuente entre los compuestos de los metales del grupo

p. f. (°C) de trihaluros del grupo 13				
	F	Cl	Br	I
$BX_3$	-127	-107	-46	+50
$AlX_3$	+1290	+180( <i>sbl</i> )*	+98	+189
$GaX_3$	+950	+78	+122	+212
$InX_3$	+1170	+586*	+420*	+207

- ¿ $BX_3$ ?  $\Delta\chi_{BF} \approx 2,0$  pero ....
- ¿ $AlX_3$ ?
  - $Al_2Br_6$ ,  $Al_2I_6$  → dímeros moleculares en cualquier fase (s, l, v)
  - ¿ $Ga^{III}$  más polarizante que aluminio a pesar de su menor densidad de carga?
  - $In^{III}$  vs.  $Ga^{III}$  ¿más/menos polarizante?

- (\*)  $AlCl_3(s)$  ¿estructura?: en capas (enlace “covalente-polarizado”)

13

## 5. Reactividad

- Boro (*recordatorio*) → inerte en condiciones ambientales
  - no es atacado ni por los ácidos ni los álcalis
  - a temperaturas elevadas reacciona con mayoría de metales y no metales
- Al, Ga, In y Tl → bastante reactivos
- Aluminio
  - oxidado rápidamente por el aire → *pero...* capa protectora superficial
  - atacado por ácidos minerales diluïdos y por las bases con  $H_2\uparrow$ ,
    - pero es pasivado por ácidos oxidantes como  $HNO_3$
  - reacciona con los halógenos a TPAE, y en caliente con  $N_2$  ( $AlN$ , p. f. > 2200 °C)
    - estructura  $AlN$ : tipo wurtzita ¿tipo de sólido?
- Ga, In y Tl
  - reaccionan con los ácidos minerales → dando sales e  $H_2\uparrow$
  - pero con álcalis sólo el Ga libera  $H_2$
  - reaccionan con los halógenos → dando  $MX_3$ 
    - excepto Tl con  $Br_2$  o  $I_2$  → forma  $Tl[TlBr_4]$ ,  $TlI$ ,  $TlI_3$

$E^\circ[M(OH)_4^-/M]$ (V)	
Al	- 2,33
Ga	- 1,22
$H_2O/H_2$	- 0,8

14

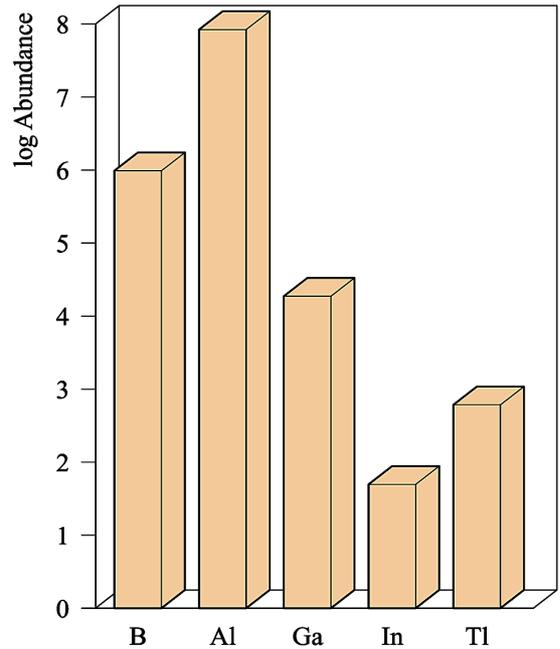
## Estado natural

- Al → el más abundante del grupo
- Al → 3er elemento más abundante (8,3%)
  - sólo superado por O y Si
- Ga, In y Tl → a niveles de ppm,
  - como sulfuros en diferentes minerales

## ¿Cómo se encuentra el Al?

- aluminosilicatos
  - arcillas, micas, feldspatos
- *bauxita* (óxidos hidratados)
- otros minerales menos abundantes:
  - criolita ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ), espinela ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ )
  - granate [ $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ ],
  - berilo, turquesa [ $\text{Al}_2(\text{OH})_3(\text{PO}_4)\text{H}_2\text{O}/\text{Cu}$ ]
  - corindón ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (alúmina cristalizada, *zafiro blanco*)

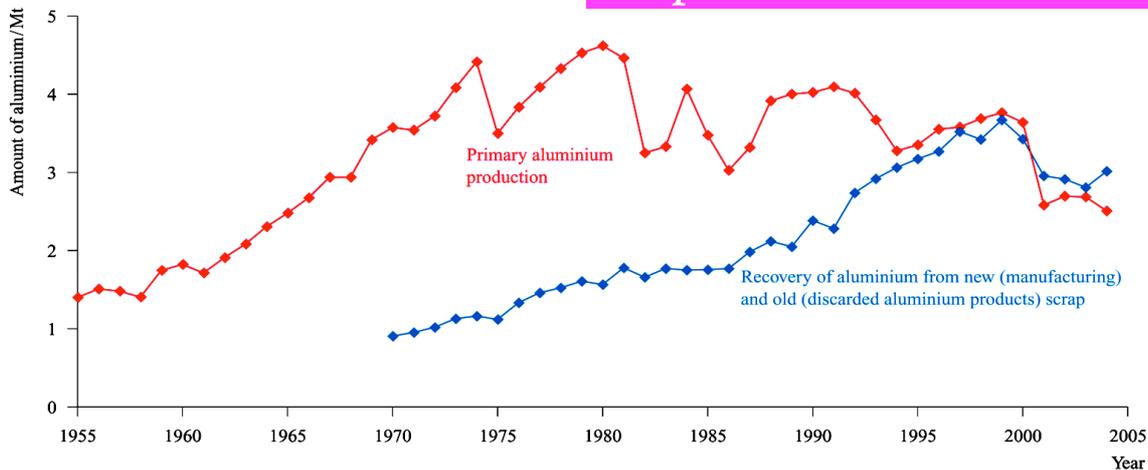
## 3. Al, Ga, In y Tl



Abundancia relativa de los elementos del grupo 13 en la corteza terrestre (escala logarítmica). Las unidades de abundancia son partes por mil millones ( $10^9 \equiv \text{mg/T}$ ). (adaptada de: C. E. Housecroft, A. G. Sharpe. *Inorganic Chemistry*, ed. Pearson Prentice-Hall, 3rd ed, 2008.)

15

## 3. Aplicaciones de los metales del grupo 13



Production of aluminium in the US between 1955 and 2004. The contribution that recycled aluminium has made to the market became increasingly important in the latter part of the twentieth century and has now overtaken primary production. [Data: US Geological Survey.]

(adaptada de: C. E. Housecroft, A. G. Sharpe. *Inorganic Chemistry*, ed. Pearson Prentice-Hall, 3rd ed, 2008.)

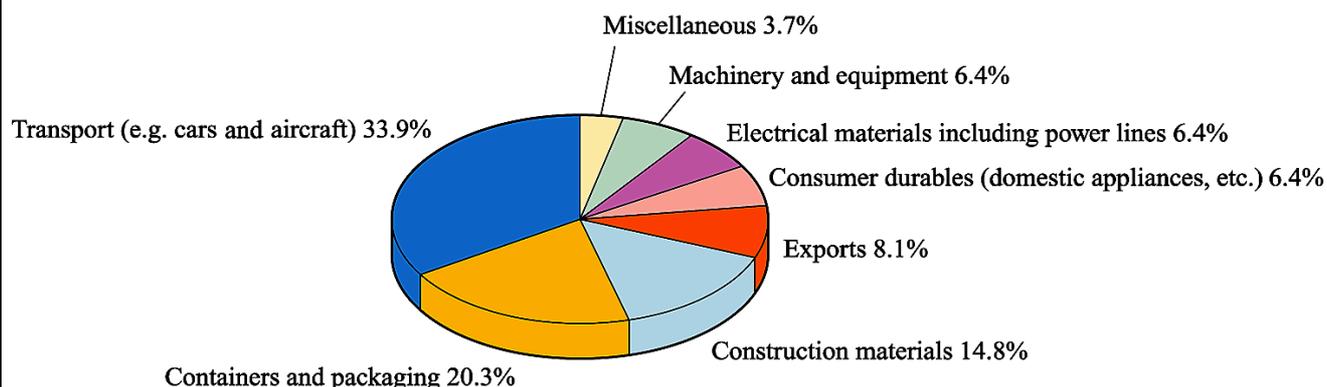
- la extracción de Al consume mucha energía y origina problemas ambientales → reciclaje necesario por motivos ecológicos y económicos
  - cantidad de Al reciclado supera a su producción primaria (USA)



- Al puede ser reciclado muchas veces

▪ coste mucho menor que el que supone su obtención. 16

### 3. Aplicaciones de los metales del grupo 13



(a) Uses of aluminium in the US in 2004; China, Russia, Canada and the US are the world's largest producers of the metal. [Data: US Geological Survey.]

(adaptada de: C. E. Housecroft, A. G. Sharpe. *Inorganic Chemistry*, ed. Pearson Prentice-Hall, 3rd ed, 2008.)

- del grupo 13, Al es el de mayor importancia comercial
- excepto Fe, las aplicaciones del Al superan a las de cualquier otro metal

17

### Química en disolución acuosa

### 3. Los elementos Al, Ga, In y Tl

- disoluciones acuosas de sales de  $M^{III}$  → extensamente hidrolizadas
  - procesos de hidrólisis → complejos
- ¿por qué las sales de  $M^{III}$  cuyo anión procede de ácido débil HA (si HA, gas poco soluble) no pueden existir en medio acuoso?

- (p. ej. cianuros o carbonatos)

#### 1.- Acidez de los acuoiiones

- acuoiiones  $M(H_2O)_6^{3+}$  → ácidos de Brönsted



- ¿qué factores determinan la acidez de los acuoiiones?

– acidez aumenta, (cuanto más se polarice el enlace O-H del agua coordinada)

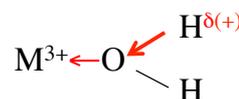
» con el poder polarizante del ión metálico (determinante cuando  $\chi$  es baja)

» y su electronegatividad (contribuye si  $\chi > 1,5$ )

pK <sub>a</sub> acuoiiones $M(H_2O)_6^{3+}$			
Al	Ga	In	Tl
~ 5	3	~ 4	1

Electronegatividad de A-R( $\chi$ )

Al	Ga	In	Tl
1,61	1,76	1,66	1,79



18

• 2.- Disoluciones de sales de Al<sup>III</sup>

▪ disoluciones de Al(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub><sup>3+</sup> → las más estudiadas

▪ hidrólisis de Al(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub><sup>3+</sup> es compleja; equilibrios iniciales:

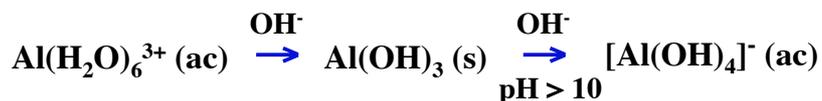


▪ si se aumenta gradualmente el pH → especies polinucleares

– de gran complejidad y nuclearidad → Al<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub><sup>4+</sup> (ac), Al<sub>7</sub>(OH)<sub>16</sub><sup>5+</sup> (ac)

▪ aumento a pH = 4-5 → precipitado blanco gelatinoso Al(OH)<sub>3</sub> (s)

– que se redisuelve en exceso de OH<sup>-</sup>



(\*) [Al(H<sub>2</sub>O)<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub>]<sup>+</sup> : catión tetraacuodihidroxoaluminio(III)

• 2.- Disoluciones de sales de Al<sup>III</sup>

▪ ¿a que pH's Al<sup>III</sup> es soluble?

▪ química acuosa Ga<sup>III</sup> se parece a Al<sup>III</sup>

– adición de base a disolución de



– Ga(OH)<sub>3</sub> es anfótero

» se redisuelve en exceso de OH<sup>-</sup>



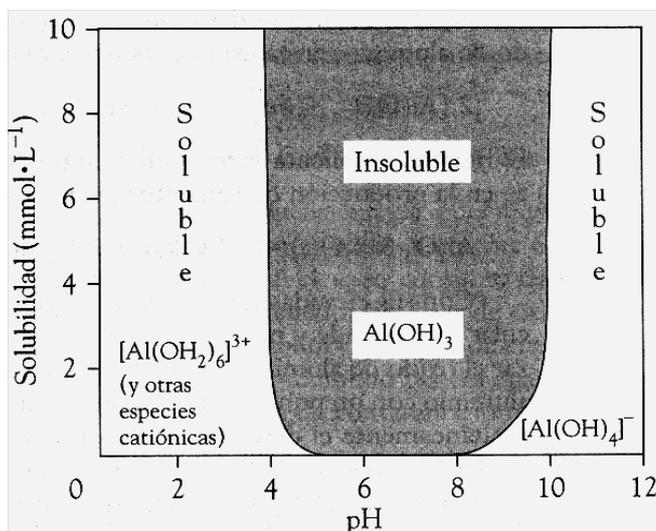
▪ In(OH)<sub>3</sub> → básico

▪ Tl<sup>III</sup> → no forma un hidróxido simple

– en medio ácido Tl<sup>III</sup> → oxidante

» suele existir como Tl<sup>I</sup>, mucho más estable

– Tl(OH) → base fuerte, soluble; O<sub>2</sub> lo oxida a Tl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O↓↓ (E° = -0,05V)



(adaptada de: G. Rayner-Canham, *Química Inorgánica Descriptiva*, 2ª ed, Pearson Educación, 2000)

(\*) Tl(OH) es oxidado fácilmente por el O<sub>2</sub> : E°(O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O) ≈ 0,4 V

Deliberación acerca del material con el cual construir la nave para alcanzar la Luna

<http://www.eaa.net/material/history.asp>

"Debemos emplear un metal diferente del hierro."

"¿Cobre?" preguntó Morgan.

"No! Sería demasiado pesado. Tengo otro mejor que ofrecerles."

"¿Cuál entonces?" preguntó el mayor

"Aluminio!" replicó Barbicane.

"¿Aluminio?" gritaron a coro sus tres colegas.



"Incuestionablemente amigos míos. Este valioso metal posee el *brillo de la plata*, la *indestructibilidad del oro*, la *tenacidad del hierro*, la *fusibilidad del cobre* y la *ligereza del vidrio*. Es fácilmente *maleable*, muy *abundante* al formar parte de la mayor parte de las rocas, es tres veces más *ligero* que el hierro y parece haber sido creado para el expreso propósito de proporcionarnos el material ideal para construir nuestro proyectil"

El aluminio fue el metal del siglo XX  
como el Fe lo fue del s. XIX

## 1. Propiedades y reactividad del Al

- 1.- Propiedades del Al
  - metal de apariencia brillante
  - *metal blando* (como Cu y Sn) → fácilmente moldeable
    - pero ... , algunas de sus aleaciones → más resistentes que acero
  - 3er elemento más común en el planeta **O Si Al**
    - de los elementos metálicos → el más abundante
    - constituye el 8% de la corteza
  - no existe en estado metálico en la naturaleza
    - muy disperso en forma de arcillas (silicatos)
    - se extrae de la mena de bauxita
  - *baja densidad* del Al → metal *muy ligero*
    - especial atractivo del Al → construcción de *estructuras*
    - alcalinos son más ligeros → pero muy reactivos

## 1. Propiedades y reactividad del Al

## 4. Aluminio

### • 1.- Propiedades del Al

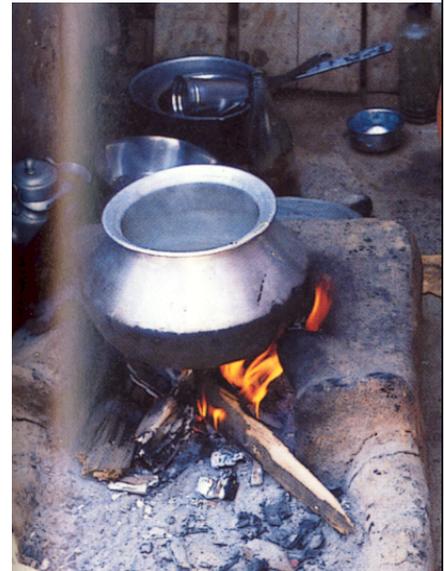
- **baja densidad del Al** → metal muy ligero

	densidad (g·cm <sup>-3</sup> )	Comentario
Mg	1,7	en estado masivo no es muy reactivo
Al	2,7	ligero y poco reactivo (pasivado)
Fe	7,9	pesado y se oxida con facilidad
Cu	8,9	pesado, poco reactivo
Au	19,3	inerte, pero muy pesado

- **buen conductor del calor**

– **mejor conductor del calor que el acero**

- » pero la mitad que el cobre
- » especialmente apto para utensilios de ~~cocina~~ ¿toxicidad?
- » los recipientes de ~~cocina~~ de mayor costo suelen llevar el fondo recubierto de cobre para ~~conseguir~~ una distribución del calor más uniforme



23

## 1. Propiedades y reactividad del Al

## 4. Aluminio

### • 1.- Propiedades del Al

- **buen conductor del calor**

– por su *conductividad calorífica* y su *ligereza* se emplea para *disipación de calor en circuitos integrados*



- **buen conductor de la electricidad**

– 2/3 de la conductividad del Cu y con las siguientes ventajas ...

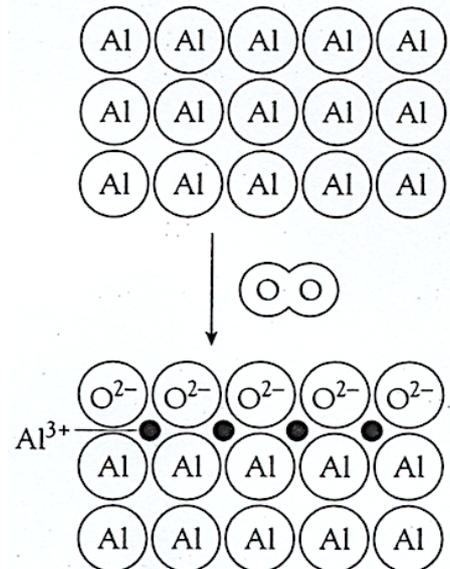
- » **economía** → actualmente más barato que Cu
- » **ligereza** → ideal para los *tendidos de alta tensión aéreos*
- *no se recomienda para los cableados domésticos*
  - » en contacto con Cu y ambiente húmedo se forma una celda electroquímica donde se oxida el Al.



24

## 2. Propiedades y Reactividad del Al

- 2.- Reactividad del Al
  - $E^\circ(\text{Al}^{3+}/\text{Al}) = -1,67 \text{ V}$
  - ¿por qué se puede usar el Al como un metal corriente?
    - superficie de Al expuesta reacciona rápidamente con el dióxígeno  $\rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$
    - se forma una capa impermeable de óxido (espesor =  $10^{-4}$ - $10^{-6}$  mm) que protege a las capas de aluminio subyacentes.
    - Al se *pasiva* por formación superficial de  $\text{Al}_2\text{O}_3$
  - radio del ión  $\text{O}^{2-}$  (1,40 Å) semejante al radio metálico del Al (1,43 Å)
  - prácticamente no se modifica la estructura cristalina de la superficie



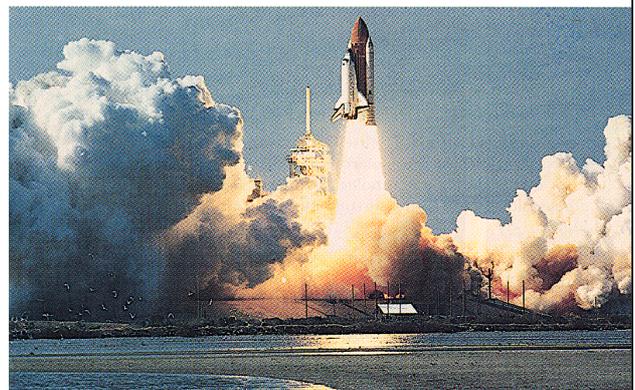
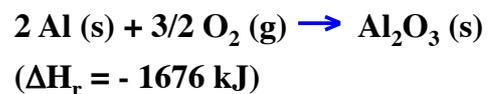
Formación de una capa individual de óxido sobre la superficie del aluminio metálico. Los círculos negros corresponden a cationes  $\text{Al}^{3+}$

(adaptada de: G. Rayner-Canham, *Química Inorgánica Descriptiva*, 2ª ed, Pearson Educación, 2000)

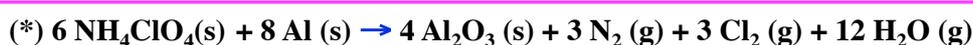
25

## 2. Propiedades y Reactividad del Al

- 2.- Reactividad del Al
  - Al metálico no arde en presencia de  $\text{O}_2$ ,
    - el carácter inoxidable del Al masivo se debe a motivos cinéticos
  - Al finamente dividido arde con llama
    - como otros metales pulverizados (p.ej Mg)
    - se forma nube blanca de  $\text{Al}_2\text{O}_3$
    - Al en explosivos  $\rightarrow$  *Amonal*
  - apto como combustible en cohetes (\*)
    - Aluminio  $\rightarrow$  combustible
    - perclorato amónico ( $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ )
      - » oxidante
    - $\text{Fe}_2\text{O}_3$   $\rightarrow$  catalizador



Clouds of white aluminum oxide form in the exhaust from the booster rockets that help lift the space shuttle *Discovery* from its launch pad at Cape Canaveral, Florida.



26

## 2. Propiedades y Reactividad del Al

### • 2.- Reactividad del Al

- reacciona con los halógenos muy exotérmicamente



- reducción de óxidos metálicos → reacción *termita*

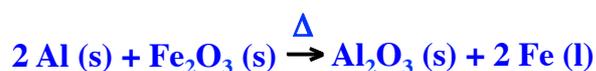
– Al es tan reactivo que es capaz de reducir a los metales de sus óxidos

– se puede utilizar para soldar *in situ* objetos metálicos grandes

» p. ej. raíles de ferrocarril

» se consiguen temperaturas del orden de 3000°C

» para iniciar la reacción hay que calentar a temperatura elevada

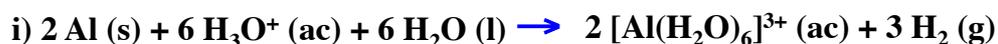


## 2. Propiedades y Reactividad del Al

### • 2.- Reactividad del Al

- con ácidos oxidantes (HNO<sub>3</sub>) se pasiva

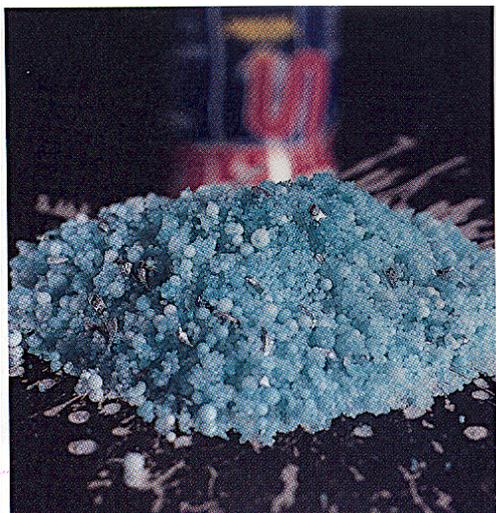
- reacciona con ácidos y bases ¿“metal anfótero”? → **denominación errónea (redox)**



– reacción (ii) de interés para desatascar tuberías

$$E^\circ[\text{Al}(\text{OH})_4^-/\text{Al}] = -2,33 \text{ V}$$

$$E^\circ[\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2] \cong -0,8 \text{ V}$$



In this closeup photo of the drain cleaner Drano, we see tiny bits of aluminum metal surrounded by crystals of sodium hydroxide that are colored slightly blue with a dye. In action, the aluminum bits react with the dissolved NaOH, forming bubbles of H<sub>2</sub> that cause a stirring effect in the clogged drain.

## 1. Etapas en la obtención del Al

### • Aluminio hasta finales s. XIX

- considerado metal semiprecioso (\*)
- extremadamente caro → 1200 \$/kg de Al (1852)
- año 1888 → 11,5 \$/kg de Al

### • ¿por qué cayó el precio a finales s. XIX?

- a) disponibilidad de energía eléctrica barata
- b) desarrollo de la electrolisis de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en criolita fundida ( $p.f. = 1013\text{ }^\circ\text{C}$ )
  - independientemente por dos jóvenes químicos (1886)
    - » Charles Martin Hall (23 años, EEUU)
    - » Paul Héroult (23 años, Francia).

### • etapas de la producción industrial de Al:

- extracción del mineral bauxita
- purificación de la alúmina → proceso Bayer
- electrolisis: proceso Hall-Héroult (1886)

## 5. Obtención del Aluminio

precio en \$/kg de Al:

1852	1888	1900	1982
1200	11,5	0,73	0,93



(\*) aislado por Wöhler 1827:  $\text{AlCl}_3(\text{s}) + 3\text{K}(\text{l}) \xrightarrow{\Delta} \text{Al}(\text{s}) + 3\text{KCl}(\text{s})$

29

## 2. Obtención de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ puro

## 5. Obtención del Aluminio

### • El mineral bauxita además de $\text{Al}_2\text{O}_3$ contiene $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , sílice, ...

### • ¿cómo se extrae el $\text{Al}_2\text{O}_3$ puro? → proceso Bayer (ver Tema 1)

- 1) digestión en medio básico, caliente y a presión
  - bauxita finamente pulverizada reacciona con NaOH en caliente
  - $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) + 2\text{OH}^-(\text{ac}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2[\text{Al}(\text{OH})_4]^-(\text{ac})$
- 2) materiales insolubles, especialmente  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  → se eliminan por filtración
  - en forma de lodos rojos
  - altamente contaminantes por su elevada basicidad
- 3) se enfría la disolución y se pasa corriente de  $\text{CO}_2$  [sin que llegue a  $\downarrow\downarrow\text{Al}(\text{OH})_3$ ]
  - inducir cristalización del óxido trihidratado con cristales de gibbsita (\*)
  - impurezas solubles quedan en disolución
  - $2[\text{Al}(\text{OH})_4]^-(\text{ac}) \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}(\text{s}) + 2\text{OH}^-(\text{ac})$
- 4) obtención del óxido anhidro  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 
  - calcinar óxido hidratado en horno rotatorio ( $1250^\circ\text{C}$ ; menor  $t^a \rightarrow \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3(**)$ )
  - $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{g})$

(\*) gibbsita:  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

(\*\*)  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  → tiende a absorber agua

30

### 3. Electrolisis de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ : proceso Hall-Hérault (1886)

### 5. Obtención del ...

- 1) el electrolito
  - p. f. del  $\text{Al}_2\text{O}_3$  extremadamente elevado ( $2030^\circ\text{C}$ )
    - »  $\Delta\chi_{\text{AlO}} \sim 1,9$
    - »  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (l) conduce mal la electricidad ¿enlace y tipo de compuesto?
    - » ¿electrolisis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en estado fundido? → no viable
  - ¿electrolito? → alúmina disuelta (15%) en criolita\* ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) a  $950^\circ\text{C}$ 
    - » 10%  $\text{CaF}_2$  (fundente\*\*)
  - el fundido conduce la electricidad
    - » paso clave encontrado por Hall y Hérault (ambos b. 1863 - d. 1914)
- 2) célula electrolítica:
  - cátodo: recubrimiento de C (grafito) de la cuba de acero
    - » ¿quién se reduce:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ?
  - ánodo de grafito (se consume)
    - » ¿quién se oxidará? ¿óxido o fluoruro?
- 3) reacciones → aún no se conoce la química del proceso con detalle

(\*) criolita:  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  p.f. =  $1013^\circ\text{C}$

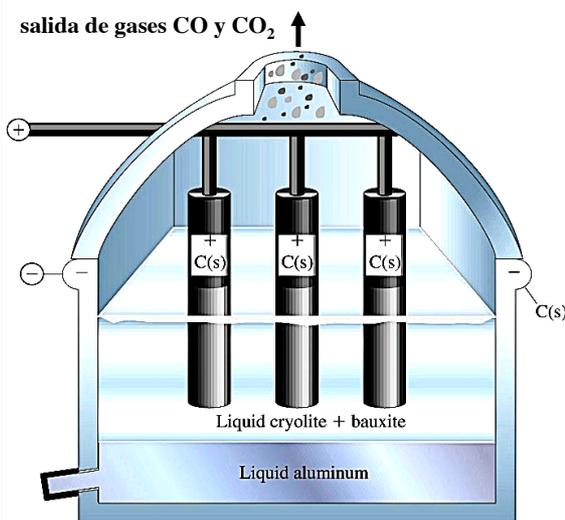
(\*\*) fundente → facilita la fusión (diccionario RAE)

31

### 3. Electrolisis de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$

### 5. Obtención del Aluminio

- 3) reacciones
  - aún no se conoce la química del proceso con detalle
    - » en el cátodo →  $\text{Al} (l)$
    - » oxígeno formado en ánodo oxida carbono a CO (y algo de  $\text{CO}_2$ ) ( $t^\circ 950^\circ\text{C}$ )



- Aluminio (l) más denso que electrolito
  - » se recoge en el fondo de la cuba
- 4) ¿qué ocurriría si hubiera algo de  $\text{H}_2\text{O}$ ?
- 5) costes

- proceso consume mucha energía
  - » requiere  $3,5 \times 10^4 \text{A}$  (a 6 V)
  - » ~ 25% del costo del aluminio se debe al consumo eléctrico

(adaptada de: R.H.Petrucci, W.S. Harwood, G.E. Herring, *General Chemistry*, 8<sup>th</sup> ed, Prentice-Hall, 2002)

(\*)  $\text{O}_2$  naciente formado en el ánodo oxida al C grafito a CO (y algo de  $\text{CO}_2$ )

32

## 5. Aplicaciones (ver Anexo)

## 5. Obtención del Aluminio

- **Multitud de aplicaciones**
  - como tal aluminio o en forma de aleaciones
- **vehículos de transporte: automóviles, aviones, barcos, trenes**
- **construcción de edificios**
- **cables de transporte eléctrico**
- **contenedores de productos**

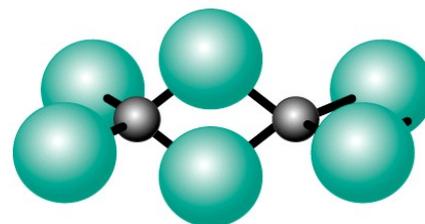


33

## Compuestos $AlX_3$

## 6. Haluros de Aluminio

- **1.- Estructura y enlace**
    - $Al^{3+} \rightarrow$  gran densidad de carga ( $364 \text{ C} \cdot \text{mm}^{-3}$ )
- | p. f. ( $^{\circ}\text{C}$ ) de trihaluros Aluminio |       |           |       |      |
|---|-------|-----------|-------|------|
|   | F     | Cl        | Br    | I    |
| $AlX_3$   | +1290 | +180(sbl) | +97,5 | +190 |
- $AlF_3$  p.f. elevado  $\rightarrow$  ¿tipo de compuesto?
  - bromuro y Ioduro p. f.'s bajos  $\rightarrow$  ¿tipo de compuesto?
    - existen en forma de dímeros,  $Al_2Br_6$ ,  $Al_2I_6$
    - con 2 átomos de halógeno puente
  - $AlCl_3$  sublima a  $180^{\circ}\text{C}$   $\rightarrow$  ¿tipo de compuesto?
    - sólido estructura en capas ¿enlace?  $\rightarrow$  covalente polarizado
    - fase fundida<sup>(\*)</sup> y vapor  $\rightarrow$  dímero molecular  $Al_2Cl_6$ ,
    - $AlCl_3$  disuelto en disolvente poco polar  $\rightarrow$  dímero



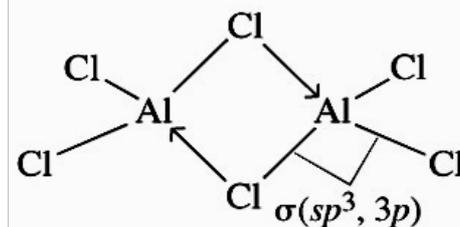
(\*) un aumento de presión favorece la fase fundida vs. la fase gas

## Compuestos $AlX_3$

## 6. Haluros de Aluminio

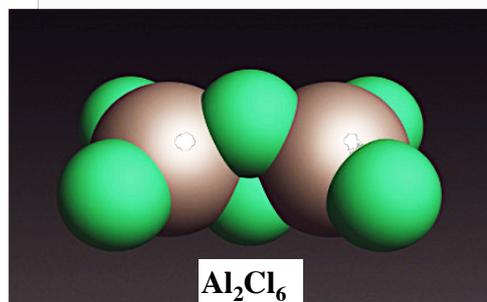
### 1.- Estructura y enlace

- AlCl<sub>3</sub> sublima a 180°C
  - fase líquida y vapor → dímero Al<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>,
  - AlCl<sub>3</sub> disuelto en disolvente poco polar
    - dímero



### 2.- Reacciones del AlCl<sub>3</sub>

- AlCl<sub>3</sub> anhidro → enlace covalente-polarizado
  - reacciones → típicas de cloruro molecular
  - reacción con “poca” H<sub>2</sub>O (o humedad ambiental)
    - muy exotérmica
- $$AlCl_3(s) + 3 H_2O(l) \rightarrow Al(OH)_3(s) + 3 HCl(g) (*)$$
- todos los AlX<sub>3</sub> → ácidos de Lewis muy reactivos
    - aceptores de pares electrónicos → aductos
  - AlCl<sub>3</sub> → catalizador
    - reacciones de sustitución anillo aromático (Friedel-Crafts)



Space-filling model

(adaptada de: R.H.Petrucci, W.S. Harwood, G.E. Herring, *General Chemistry*, 8<sup>th</sup> ed, Prentice-Hall, 2002)

(\*) ¿qué ocurrirá si disuelvo AlCl<sub>3</sub> en agua?

(solubilidad AlCl<sub>3</sub>: 4,51 g/100 g de H<sub>2</sub>O)

35

## 1. Óxido Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Alúmina)

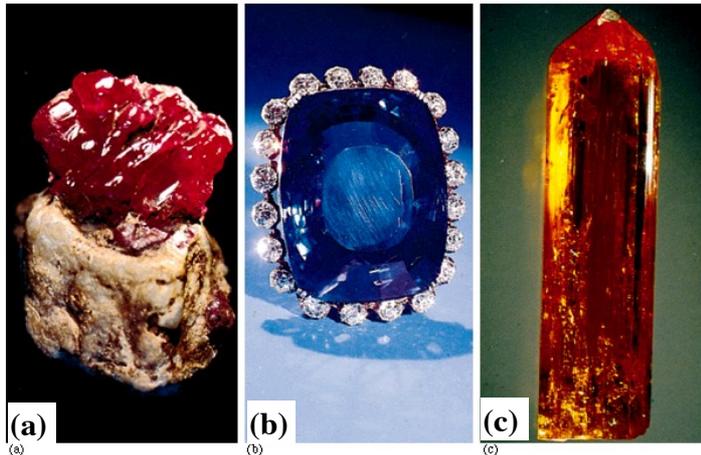
## 7. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Al(OH)<sub>3</sub>

- estructura ¿iónica? → ¿cationes Al<sup>3+</sup> y aniones O<sup>2-</sup>?
  - enlace fuerte, p. f. elevado → 2020 °C (en fase fundida → mal conductor)
  - ¿tipo enlace? ¿iónico-polarizado? → componente covalente del enlace elevada
  - material muy duro y refractario, utilizado ...
    - como abrasivo
    - recubrimiento en hornos y calderas
    - soporte de catalizadores en procesos industriales
  - óxido anfótero, bastante inerte químicamente
- 2 formas principales
  - α-alúmina (corindón, aniones óxido → hcp)
  - γ-alúmina (alúmina activada, aniones óxido → ccp)
- estructura corindón (alúmina cristalina): (Al<sup>3+</sup> ocupa huecos octaédricos)\*
  - distribución de aniones hcp → ¿cuántos huecos octaédricos ocupan los iones Al<sup>3+</sup>? 2/3
  - corindón es una piedra preciosa ⇔ zafiro blanco.

(\*) ¿huecos octaédricos por cada ión óxido? UNO

36

- corindón y las piedras preciosas
  - inclusiones de otros metales dan lugar a otras piedras preciosas:
    - (a) Rubí → con pequeña cantidad de  $Cr^{III}$  sustituyendo a  $Al^{III}$
    - (b) Zafiro → con pequeñas cantidades de  $Fe^{III}$  y  $Ti^{IV}$
    - (c) Topacio → con pequeñas cantidades de  $Fe^{III}$



(adaptada de: P. Atkins, L. Jones, *Chemistry: Molecules, Matter and Change*, 3rd ed, W. H. Freeman and Co, 1997)

- ¿para qué se *anodiza* el aluminio? → para aumentar su resistencia a la corrosión
  - *objeto de Al* → se dispone como ánodo en una celda electroquímica
    - oxidación electroquímica (*forzada*) de la superficie de aluminio para formar una capa “gruesa” (0,01 mm de espesor) protectora de óxido de aluminio
- *oxidación anódica*:
  - se utiliza corriente eléctrica para producir, de forma controlada, una capa de óxido  $Al_2O_3$  sobre el objeto anódico
  - *objetivo*: proteger la superficie del objeto de posteriores oxidaciones
    - *ánodo* objeto de Al a anodizar
    - *cátodo* de grafito:  $(H_2 \uparrow)$
    - *electrolito*: un baño de  $H_2SO_4$  (15%)
  - semirreacción anódica global:
    - *Anodo* (oxidación):
      - $H_2O \rightarrow \frac{1}{2} O_2 + 2 H^+ + 2 e^-$  (\*)
    - *Cátodo* (reducción,  $H_2 \uparrow$ ):
      - $2 H^+ + 2 e^- \rightarrow H_2 (g)$
- Aluminio *anodizado* tiene una capa de óxido de 0,01 mm de espesor
  - éste *grueso* recubrimiento absorbe colorantes y pigmentos

(\*)  $O_2$  *naciente* generado en el ánodo oxida al objeto de aluminio anódico

## 2. Aluminio "anodizado"

## 7. $Al_2O_3$ y $Al(OH)_3$

- capa de óxido adicional mejora propiedades del Al:
  - protección contra la oxidación,
  - *coloreable* manteniendo las propiedades metálicas
  - mejores cualidades mecánicas
- Al *anodizado* se puede utilizar para fabricar utensilios de cocina de alta calidad
  - utensilios de Al *normal* → demasiado blandos para uso profesional intensivo
  - $Al_2O_3$  más duro que el acero y más resistente a los golpes
- durante el proceso de *anodizado* se puede añadir color a la superficie,
  - el color forma parte de la estructura de la superficie
  - por tanto no se ve alterado por golpes o rayado



(adaptada de: R.H.Petrucci, W.S. Harwood, G.E. Herring, *General Chemistry*, 8<sup>th</sup> ed, Prentice-Hall, 2002)



39

## 3. Hidróxido de Aluminio

## 7. $Al_2O_3$ y $Al(OH)_3$

- hidróxido anfótero (gelatinoso):  
 $Al(OH)_3 (s) + 3 H_3O^+ (ac) \rightarrow [Al(OH_2)_6]^{3+} (ac)$   
– utilizado como antiácido ¿peligroso? ¿y  $Mg(OH)_2$ ?  
 $Al(OH)_3 (s) + OH^- (ac) \rightarrow [Al(OH)_4]^- (ac)$
  - $Al(OH)_3$  tiene la propiedad de fijar los colorantes (gran superficie específica)
    - se utiliza para teñir los tejidos naturales: algodón, lana, etc  
– sin esta fijación el color se perdería con rapidez
    - como *mordiente*\* se utiliza el sulfato de aluminio  
– hidrólisis de  $Al^{III}$  en medio amoniacal → hidróxido
- $$Al_2(SO_4)_3 (ac) + 6 NH_3 (ac) + 6 H_2O (l) \rightarrow 2 Al(OH)_3 (s) + 3 (NH_4)_2SO_4 (ac)$$
- *procedimiento*: los tejidos se sumergen en
    - una disolución de sulfato de aluminio y después en otra de amoníaco  
– el hidróxido de aluminio precipita entre las fibras del tejido  
– las finas partículas del hidróxido fijan el colorante



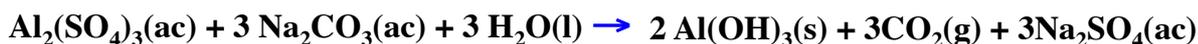
(\* ) *mordiente*: sustancia empleada en tintorería para fijar los colores en productos textiles → favorece fijación del colorante.

(\* )  $Al_2(SO_4)_3 \rightarrow$  precursor del  $Al(OH)_3$

40

## 1. Sulfato de Aluminio

- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 
  - compuesto de Al comercialmente más importante
  - obtención USA → más de un millón de T/año
- uso mayoritario (además de como mordiente)
  - tratamiento de aguas como agente floculante (coagulante)
    - partículas coloidales muy difíciles de filtrar
    - precipita el  $\text{Al}(\text{OH})_3$  que absorbe las partículas coloidales suspendidas en el agua
- uso como agente espumante (extinción incendios)
  - reacción entre  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{ac})$  y  $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{ac})$ :
    - $\text{Al}(\text{OH})_3$  gelatinoso y  $\text{CO}_2$  que no puede escapar fácilmente
    - las burbujas forman la espuma que aísla el material del oxígeno.



## 8. Sulfato de Al y Alumbres



41

## 2. Alumbres

- 1.- Alumbre →  $[\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}]$ 
  - único mineral de aluminio común soluble en agua
  - importante función en la industria del tinte
    - para fijar los colores
    - la tela se remoja primero en disolución de alumbre ...
  - gran estabilidad
    - aniones sulfato empaquetados entre cationes  $\text{K}^+$  y  $[\text{Al}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$  alternados
- 2.- Alumbres
  - familia extensa de sales dobles
  - fórmula general  $\text{M}^{(\text{I})}\text{M}^{(\text{III})}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 
    - $\text{M}^{(\text{I})}$  = catión monovalente excepto  $\text{Li}^+$
    - $\text{M}^{(\text{III})}$  = catión trivalente Al, Ga, In, Fe, ...
  - forman unos cristales transparentes preciosos



(adaptada de: R.H.Petrucci, W.S. Harwood, G.E. Herring, *General Chemistry*, 8<sup>th</sup> ed, Prentice-Hall, 2002)

42

- ¿por qué los compuestos de  $Tl^+$  son muy venenosos?
  - si se ingiere una sal de  $Tl^+$ , interfiere en las funciones del  $K^+$
  - radio del  $Tl^+$  semejante al  $K^+$  →  $Tl^+$  puede sustituir al  $K^+$

## 2. Toxicidad del Aluminio

- sin función biológica esencial
- aunque abundante no parece desempeñar ningún papel esencial en los organismos vivos
  - al contrario, parece que tiene efectos tóxicos
- las plantas lo absorben (especialmente la planta del te)
- se acumula fácilmente en las grasas
- lagos acidificados → concentración de  $Al^{3+}$  suele ser elevada (\*)
  - consecuencia del uso en tratamiento de aguas
  - está demostrado que es causa de elevada mortandad de peces
- se ha propuesto cierta relación entre  $Al$  y *síndrome de Alzheimer* (1981)
  - no está demostrado científicamente, pero... (¡¡ Ver/escuchar el video !!)

(\*) aguas ácidas extraen  $Al^{3+}$  de los lechos

43

## 2. Toxicidad del Aluminio

- $Al$  puede afectar a personas que requieren diálisis (problemas de riñón)
  - se puede presentar la denominada *demencia de la diálisis*
    - síntomas
      - » desorden verbal, pérdida de memoria, convulsiones
      - » muerte en 1 año
- $Al$  es una potencial neurotoxina
  - parte de la ingesta en la dieta proviene del uso de antiácidos, y ...
  - cocinado alimentos con recipientes de aluminio; ¿papel de aluminio?
- mezcla que contienen los *antitranspirantes*
  - conocida como *hidrato de aluminio*,
  - es una mezcla de sales de cloruro de los dos cationes hidroxilados
  - la especie que constriñe los poros de la superficie de la piel es el ión aluminio
  - se aconseja no inhalar el vapor de los antitranspirantes
    - ión metálico se absorbe con facilidad por fosas nasales y va al torrente sanguíneo.

44

- el té contiene una elevada concentración de  $Al^{III}$ 
  - adición de limón o leche permite formación de complejos que lo *inactivan*
- *Aluminio y los suelos*
  - ión metálico más común en los suelos
    - preocupante en suelos ácidos donde se libera como ión
    - suelos ácidos representan 30-40% del terreno cultivable
    - en cultivos como maíz
      - » 2º factor responsable disminución producción agrícola
      - » 1º es la sequía
      - » el ión entra a las células de las raíces e inhibe metabolismo celular
    - añadir caliza para inmovilizar el aluminio como hidróxido insoluble
  - ciertas plantas presentan resistencia natural al aluminio (\*)
    - sus raíces excretan ácido cítrico o málico en suelo circundante
    - complejan el aluminio e impiden su absorción por las raíces

(\*) mecanismo de defensa

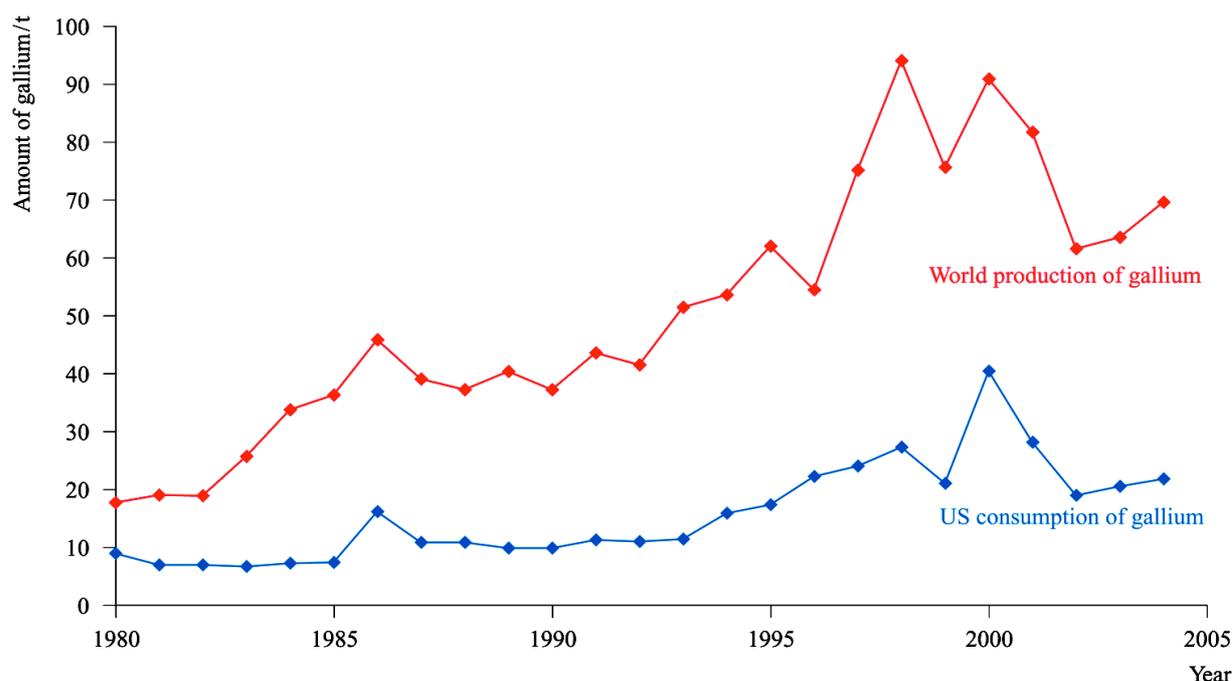
45



Facultat  
de Química



## 10. Complementos formativos



World production (estimated) and US consumption of gallium between 1980 and 2004. [Data: US Geological Survey.]

(adaptada de: C. E. Housecroft, A. G. Sharpe. *Inorganic Chemistry*, ed. Pearson Prentice-Hall, 3rd ed, 2008)

### Aplicaciones del Ga e In:

- **fosfuros, arseniuros y antimoniuros de Ga e In** → importantes aplicaciones en la *industria de semiconductores*.
  - como materiales para transistores y en diodos emisores de luz (LED)
    - p.e. en calculadoras de bolsillo.
- **mayor aplicación del In** → recubrimiento de lámina delgada
  - p.e. visualizadores de cristal líquido y lámparas electroluminiscentes

### Producción y Aplicaciones del Talio:

- **producción mundial de Tl (15 T en 2001)** → mucho menor que Ga o In.
- **se utiliza en,**
  - materiales *semiconductores* (rectificadores de selenio),
  - en cristales de NaI y NaCl activados con Tl para *detectores de radiación γ* y en *detección de radiación IR* y equipos de transmisión.
- **isótopo radiactivo  $^{201}\text{Tl}$  ( $t_{1/2} = 12,2$  días) se usa en imagen cardiovascular.**

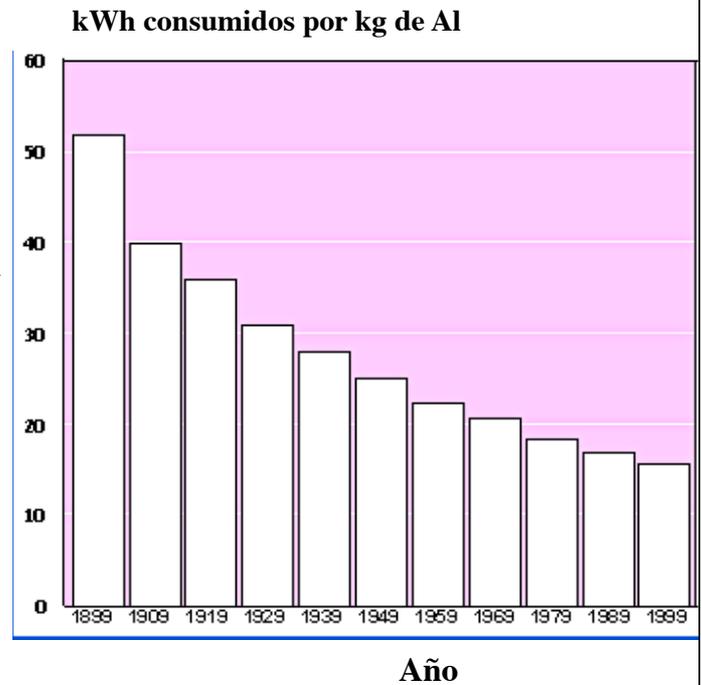
## 5. Obtención del Aluminio

### 3. Electrolisis de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$

- 5) costes
  - 1 kg de Al requiere
    - » 2 kg de óxido y 0,1 kg de criolita
    - » 0,6 kg de grafito anódico (bastante aceptable; es difícil encontrar materiales inertes adecuados como ánodo en estas condiciones)
    - » gran consumo de electricidad (16 kWh) (aunque ha disminuído de forma acusada)

- producción de Al

- » se concentra en productores energía hidroeléctrica (p. e. Canadá o Noruega)



### 4. Sostenibilidad del proceso

- producción Al genera *productos secundarios* que originan problemas *medioambientales*

49

### 4. Sostenibilidad del proceso

## 5. Obtención del Aluminio

- producción de Al genera 4 productos secundarios problemáticos
  - originan problemas medioambientales (ver Rayner-Canham)
    - lodos rojos (con alto contenido  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
      - » en la purificación de la bauxita → fuertemente básico
    - fluoruro de hidrógeno
      - » reacción de criolita con restos de humedad de alúmina
    - óxidos de carbono → en el ánodo
    - fluorocarbonos → por reacción del flúor con el ánodo de carbono
- ¿por qué es necesario reciclar el aluminio?
  - extracción de Al consume mucha energía
  - genera problemas ecológicos no resueltos totalmente
- Al puede ser reciclado muchas veces
  - coste mucho menor que el que supone su obtención.
    - energía necesaria reciclado de Al ~ 5% energía a partir de bauxita
  - USA → 50% de Al se produce por reciclado



50

### 5. Aplicaciones del Aluminio en forma de aleaciones

- en muchas de sus aplicaciones el Al está formando aleaciones
- las aleaciones de Al se clasifican según unos códigos
  - **Serie 1000: Al puro**
    - presenta las excelentes propiedades del Al
    - pero tiene resistencia mecánica limitada
      - » reflectores, intercambiadores de calor, recubrimiento de edificios,...
  - **Serie 2000: Cu(5%)** → buena tenacidad y maleabilidad
    - utilizada para ciertas partes de aviones
  - **Serie 3000: Mn(1,2%)** → moderada resistencia pero alta maleabilidad
    - utensilios cocina, tanques almacenamiento, muebles, señales tráfico...
  - **Serie 4000: Si(<12%)** → bajo p. f. y bajo coeficiente de expansión térmica
    - material de relleno como aislante, fácilmente anodizable

### 5. Aplicaciones del Aluminio en forma de aleaciones

- las aleaciones de Al se clasifican según unos códigos
  - **Serie 5000: Mg(0,3-0,5%)** → buena resistencia
    - excelente resistencia a la corrosión en atmósferas marinas
      - » farolas, barcos, recipientes criogénicos, armas
  - **Serie 6000: Mg/Si** → buena maleabilidad y alta resistencia a la corrosión
    - fabricación de puentes, raíles, estructuras de edificios
  - **Serie 7000: Zn(3-8%)** → cuando se calienta presenta elevada resistencia
    - estructuras de aviones, ... y bicicletas de alto rendimiento

# COMMON COMPONENTS OF VACCINES

As well as the active components, vaccines contain a number of other substances. This graphic examines these and the reasons for their inclusion.

## ACTIVE COMPONENTS



A form of the virus, bacteria or toxin that causes the disease is used as the antigen. This antigen is modified from the original form so it no longer causes disease, but still elicits an immune response from the body. To modify the disease-causing agent, it can be treated with specific chemicals, so it cannot replicate. It can also be treated so it does not cause serious disease, or only parts of the disease-causing agent that do not cause serious symptoms can be used.



## ADJUVANTS



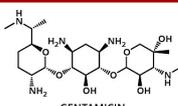
ALUMINIUM HYDROXIDE



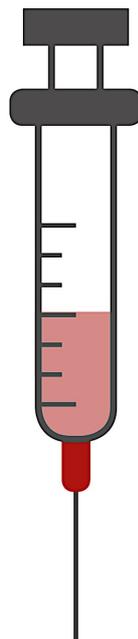
ALUMINIUM PHOSPHATE

Added to enhance the body's immune response to the vaccine. How they work isn't entirely understood, but it's thought they help keep antigens near the site of injection. This means they can be easily accessed by the immune system cells. There is no evidence of any serious adverse effects from adjuvants, though they can cause some minor reaction near the injection site.

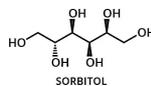
## ANTIBIOTICS



Antibiotics are used in the manufacturing process of the vaccine to prevent bacterial contamination. They are later removed, and only residual quantities remain in the vaccine after the production process.



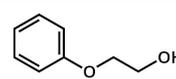
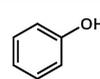
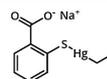
## STABILISERS



MAGNESIUM SULFATE

Vaccines need to be storable, so stabilisers are added to ensure the various components remain stable and effective. A variety of different stabilisers are used; either inorganic magnesium salts such as magnesium sulfate or magnesium chloride, or mixtures of lactose, sorbitol and gelatin. Monosodium glutamate and glycine are also used in some cases.

## PRESERVATIVES



Preservatives help prevent contamination of vaccines. They are used particularly in multi-dose vaccines. Thiomersal is a common preservative, though its use declined in the late 1990s when vaccines were falsely linked to child autism. This link was later shown to be an elaborate medical hoax, and there is no link between thiomersal and autism.

## TRACE COMPONENTS



These are left-over from the vaccine production process. Though they are purposefully removed, residual amounts remain. Formaldehyde is one such agent, used to deactivate viruses and detoxify bacteria, but amount remaining is several hundred times lower than the smallest amount known to cause harm in humans.



© COMPOUND INTEREST 2015 - WWW.COMPOUNDCHEM.COM | Twitter: @compoundchem | Facebook: www.facebook.com/compoundchem  
This graphic is shared under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives licence.



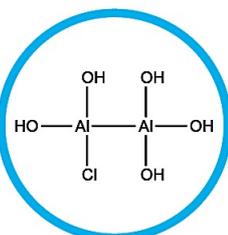
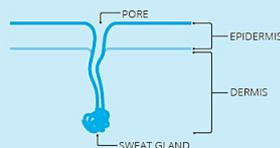
# EVERYDAY COMPOUNDS: ALUMINIUM CHLOROHYDRATE

ALUMINIUM CHLOROHYDRATE IS AN INORGANIC POLYMER, WITH THE GENERAL FORMULA  $\text{Al}_n\text{Cl}_{3n-m}(\text{OH})_m$ . IT IS SYNTHETICALLY PRODUCED FROM OTHER ALUMINIUM COMPOUNDS

## AS AN ANTI-PERSPIRANT

Average concentration: 10-25%

Aluminium chlorohydrate is the active ingredient in many anti-perspirants. Aluminium ions pass into cells in the top layer of the skin which lines the eccrine gland sweat ducts, and water passes in with them. This causes the cells to swell, squeezing the ducts closed so that the sweat cannot get out.



**ALUMINIUM CHLOROHYDRATE**  
Poly Aluminium Chloride  
White powder  
 $\text{Al}_2\text{Cl}(\text{OH})_5$



## LINKS WITH BREAST CANCER

There is no scientific evidence that aluminium compounds found in anti-perspirants, including aluminium chlorohydrate, can cause cancer, despite claims to the contrary.

Research has shown that only 0.012% of the aluminium contained in anti-perspirants is absorbed through the skin. This is less than would be expected to be absorbed from food during the same time.

Prior to a mammogram, it is advised not to use anti-perspirant, but this is due to the fact that aluminium could show up in the mammogram and give a false positive.

## AS A COAGULANT

Aluminium chlorohydrate is used in water and waste management processes to remove dissolved organic matter and small particles of impurities, causing them to come together so they can be removed.



## SYNTHESIS

Aluminium chlorohydrate is prepared industrially by the reaction of aluminium with hydrochloric acid. Aluminium hydroxide is the main aluminium-containing compound usually used.