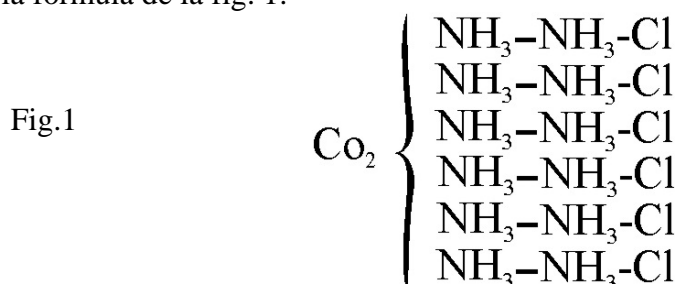


Simbología química 8: Nomenclatura inorgánica moderna.

La formulación Stock

La nomenclatura inorgánica tradicional de la escuela francesa encabezada por Lavoisier, no resultaba operativa, al descubrirse nuevos compuestos, pues los sufijos oso e ico, o ito y ato (sales), para diferenciar los compuestos no era suficiente. Cuando se trataba de nombrar compuestos complejos, presentaba enormes dificultades.

Los compuestos de cobalto con valencia 2, en medio amoniacal, de diferentes colores, llamaron la atención de los químicos de la segunda mitad del siglo XIX. Fremy ideó en 1852, una manera de nombrarlos según el color. Así se conocía el cloruro de lúteo cobalto (amarillo), el de práseo cobalto (verde), el roseocobaltico(rosa) etc. Se creían que todos tenían la fórmula Co_2Cl_6 , con cierta interacción con el disolvente(amoniaco), hay que tener en cuenta que en aquella época solo se conocía el método de la densidad de vapor para determinar los pesos moleculares. Hasta 1890, no se introdujo el término **hexamino**, para identificar al compuesto¹. Una vez identificado que se trataba de una amina de cobalto la fórmula del cloruro de lúteocobalto se comienza a escribir como $\text{Co}_2\text{Cl}_6.12\text{NH}_3$, dando Blomstrand la fórmula de la fig. 1:



Los trabajos de Jorgensen y Peterson en Copenhague entre 1890 y 1892, comprueban que no se trata de un dímero y lo formulan como $\text{CoCl}_3.6\text{NH}_3$. Pero había que explicar como se producía la unión con el NH_3 . Esto lo va a hacer el químico alemán Alfred Werner, profesor en el politécnico de Zurich, como el mismo dijo en una noche de inspiración², proponiendo las valencias secundarias³, con las que el disolvente se coordinaría con el metal; había nacido en 1892, la química de la coordinación. Por ello le dieron el Nobel de química de 1913.

Pero había que nombrar los nuevos compuestos, lo cual no era posible empleando la nomenclatura de Lavoisier.

A principios del siglo XX, hubo varios intentos de modificar la nomenclatura, empleando prefijos numéricos o letras para las valencias o los átomos de los elementos en determinados compuestos.

En 1902, Bohuslav Brauner, propone un sistema en el cual la valencia del elemento, se indicaría con un sufijo específico, como los que se indican en la tabla I

Tabla 1

valencia	sufijo
1	a
2	o
3	i
4	e
5	an
6	on
7	in
8	en

¹ Es la primera especie inorgánica con prefijo numérico, junto con la que se empleaba para el $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$, (hexaciano) conocido desde hace mucho tiempo.

² En unas charlas con su colega Paul Pfeiffer le dijo "Una madrugada, me desperté a las 2, se había hecho la luz en mi cerebro, me puse a trabajar y a las cinco de la tarde la teoría de la coordinación estaba resuelta".

³ Realmente Werner no las llamó valencias secundarias, sino "Nebenvalenzformel", algo así como fórmulas de valencia auxiliar.

De esa forma el $KAg(CN)_2$, se denominaría dicianoargentate de potasio, mientras que el $Na_2S_2O_3$, se llamaría tiotrioxosulfonato de sodio y el K_2PtCl_6 , hexacloroplatenato de potasio. Como se aprecia el sistema Brauner, es el primero en emplear prefijos numéricos y sufijos específicos, para indicar hasta 8 valencias, lo cual abarcaba mucho más que el sistema clásico de Lavoisier.

Rosenheim y Kopper, en 1909, hacen un primer intento de formulación sistemática, indicando el número de átomos de cada elemento que entran en una fórmula, así el óxido férrico Fe_2O_3 , será:

3-óxido de 2-hierro

Este sistema fue muy criticado por Stock y Jordis. Stock, químico alemán, que había trabajado en la universidad de Berlín con Fischer, y posteriormente con Moissan en París, se dedicaba al estudio de los hidruros de boro, compuestos que no se podían formular a través del sistema tradicional, debido a la capacidad del boro a unirse consigo mismo, tal como los hidrocarburos e hidrosiluros.

En 1920, Werner publica la nueva nomenclatura para los complejos inorgánicos⁴.

Primero se nombra el anión y luego el catión como en la nomenclatura tradicional, pero los grupos coordinados, que Stock en 1916, llamó ligandos, antecederán al metal, con el siguiente orden:

1) grupos negativos (con el sufijo o) : bromo, cloro, fluoro, nitro (NO_2^-), ciano (CN^-) oxo (O_2^-), peroxo (O_2^{2-}) hidroxio (OH^-) etc.

2) Agua, empleando el término aquo

3) Derivados del amoniaco, empleando directamente los nombres de las aminas

4) Amoniaco, empleando el nombre ammina

Si hubiera varios ligandos, irían precedido del prefijo numérico correspondiente: di, tri, tetra etc.

Al metal que aparece en el catión, también se le agrega un sufijo para indicar su estado de oxidación, según la tabla 2, similar al sistema Brauner :

Tabla 2

n° oxidación	sufijo
1	a
2	o
3	i
4	e

En complejos polinucleares, el ligando que actúa como puente vendrá precedido de la letra griega : .

Este sistema fue adoptado por Stock en 1920, y Delepine publica en 1926, la reforma de la nomenclatura inorgánica, resumen de los acuerdos de la Comisión de la Unión Internacional de Química (I.U.C), donde se introducen el número de oxidación del metal con números romanos. La comisión otra vez con el nombre de IUPAC (Unión internacional de Química pura y aplicada) realiza algunas modificaciones sobre la nomenclatura Werner-Stock, refrendándolas en 1940.

Así, se pueden observar las modificaciones que sufrió el $CoCl_3 \cdot 6NH_3$ en la tabla 3

Tabla 3

Jorgensen, 1892	Cloro amina de cobalto
Werner, 1920	Cloruro de hexammincobáltico
Delepine, 1926	Cloruro de hexammin-cobalto (III)
IUPAC, 1940	Cloruro de hexammincobalto(III)

Stock, aplica la nomenclatura de complejos, a los compuestos inorgánicos binarios, ternarios y cuaternarios, considerando que el oxígeno, actúa como un grupo oxo, con número de oxidación 2- (ver tabla 4)

Tabla 4

	Compuesto	Nombre Stock
1	FeO	Óxido de hierro(II)
2	Fe_2O_3	Óxido de hierro(III)
3	Fe_3O_4	Óxido doble de hierro(II) y (III)
4	CrO_3	Óxido de cromo(VI)
5	PbO_2	Óxido de plomo(IV)
6	Pb_3O_4	Óxido doble de plomo(II) dímero y (IV)
7	ClO_2	Óxido de cloro(IV)
8	Cl_2O_6	Óxido de dímero de cloro(VI)
9	NO_2	Óxido de nitrógeno(IV)
10	N_2O_4	Óxido de dímero de nitrógeno(IV)

⁴ La publicación "Contribución a la constitución de las combinaciones inorgánicas" se hace después de muerto Werner que fallece en 1919. Previamente había realizado otra sobre nomenclatura, en 1916.

Naturalmente el problema surge para distinguir los peróxidos, u óxido peróxidos, así el Na_2O_2 , no se puede nombrar como óxido de sodio(II), sino como peróxido de sodio. Si hubiera sobre un mismo metal, varios grupos oxo y peroxo, se nombrarían alfabéticamente precedidos del prefijo numérico que lo indique.

El sistema Werner-Stock, era un sistema de la escuela alemana. Stock que era el presidente de la comisión alemana para la nomenclatura química, tenía graves problemas de salud, por un envenenamiento con mercurio, producido por respirar durante muchos años los vapores de mercurio, al trabajar con los hidruros de boro a baja presión. La guerra destruye su laboratorio y sus posesiones, y hace que se retire a Aken, en la orilla del Elba, donde moriría el 12 de agosto de 1946⁵.

Al terminar la guerra mundial, con Alemania ocupada, sus químicos dispersos, y los que habían quedado en su país impedidos de realizar investigaciones, los vencedores dictan las normas. No es de extrañar que en 1949, los químicos ingleses Ewens y Basset, quisieran transformar el sistema Stock, empleando en vez de números romanos, los arábigos seguidos del signo de la carga, así en la tabla 5, se pueden ver ejemplos de dicha transformación:

Tabla 5

	Compuesto	Stock-Werner	Ewens-Basset
1	FeO	Óxido de hierro(II)	Óxido de hierro(2+)
2	Fe ₂ O ₃	Óxido de hierro(III)	Óxido de hierro(3+)
3	Fe ₃ O ₄	Óxido doble de hierro(II) y (III)	Óxido doble de hierro(2+) y (3+)
4	CrO ₃	Óxido de cromo(VI)	Óxido de cromo(6+)
5	PbO ₂	Óxido de plomo(IV)	Óxido de plomo(4+)
6	ClO ₂	Óxido de cloro(IV)	Óxido de cloro(4+)
7	NO ₂	Óxido de nitrógeno(IV)	Óxido de nitrógeno(4+)

El sistema Ewens-Basset no prevaleció⁶, aunque su expresión del número de carga iónica se emplea todavía en muchos compuestos.

En 1953, la IUPAC, edita las “Tentatives Rules”, un intento de generalizar el sistema Stock-Werner, introduciendo algunas modificaciones importantes, que no fueron refrendadas hasta la conferencia de París de 1957. Las reglas del 57, desaconsejaban el uso de los sufijos oso e ico, para indicar los estados de oxidación inferior y superior de los elementos, recomendando el sistema Stock, para indicar el estado de oxidación con numeración romana, o incluso con el arábigo de Ewens-Basset. Introducen nombres específicos para los diferentes hidruros de los no metales (silano, fosfina, arsina, estibina etc), y suprimen los anhídridos y óxidos del nitrógeno con todos sus sufijos. También prohíben el prefijo bi, para sales ácidas, que deberán llevar el término “hidrógeno” antepuesto al nombre del anión, para indicar el hidrógeno sustituible presente⁷. En el caso de existir varios se indicaría con un prefijo numérico unido al término hidrógeno. Al año siguiente se edita la primera edición del libro rojo, donde estas reglas se reafirman.

Posteriormente la IUPAC, edita en el 1965, la revisión de las reglas anteriores introduciendo algunas nuevas realmente importantes, que no sólo afectaban a la formulación⁸. En la formulación tradicional se revisa y simplifica la nomenclatura de sales dobles y triples, introduciendo el orden alfabético tanto en aniones por los que se inicia, como en los cationes.

⁵ Es curioso el paralelismo entre Werner y Stock, ambos Alfred. El primero nació en una zona francesa, la Alsacia, que luego sería alemana. El segundo en una zona alemana (Prusia), que posteriormente sería polaca (Gdansk)

⁶ Sin embargo actualmente se emplea en bastantes ocasiones

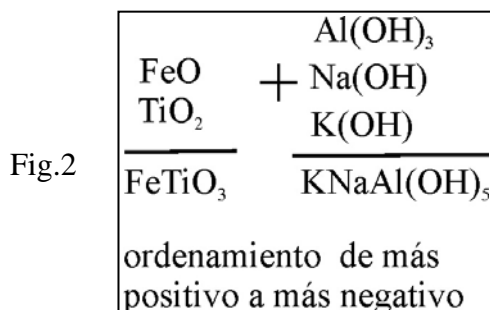
⁷ Al no indicar nada más, se tomó de muy diversas formas según los países, unos „, lo mas, lo unieron al anión, otros como la Chemical Society inglesa, lo separaron del mismo

⁸ En las normas del 65, se cambian los términos lantánidos y actínidos, por lantanoides y actinoides, para los elementos 4f y 5f. Se suprime el término “metaloide”, considerando los elementos en metales, no metales y semimetales. Define el número de oxidación, con un número seguido del signo de la carga y no al revés. Define las posiciones del número másico A y el número atómico Z, como superíndices y subíndices a la izquierda del símbolo del elemento y recomienda el uso de prefijos, para indicar las formas alotrópicas de un elemento, así O₂ será dióxígeno y O₃ el trióxígeno (lo cual motivará gran controversia, al descartar el nombre de ozono, teniendo en cuenta que en química orgánica se usaba, en los ozónidos y en la ozonólisis).

Los compuestos dobles o triples se nombrarían alfabéticamente, primero los aniones que hubiera y luego los cationes. Los ejemplos se ven en la tabla 6

Tabla 6

	Nombre	Fórmula
1	Óxido doble de hierro (II) y titanio(IV)	FeTiO ₃
2	Hidróxido triple de aluminio, potasio y sodio	KNaAl(OH) ₅
3	Cloruro difluoruro de sodio	Na ₃ ClF ₂
4	Nitrato de sodio y talio(I)	NaTl(NO ₃) ₂
5	Cloruro hidróxido de magnesio ⁹	Mg(OH)Cl



Estos compuestos se formularían, sumando matemáticamente las formas individuales, e introduciendo los subíndices necesarios, partiendo de la neutralidad eléctrica como se indica en la figura 2. Solo se indicará la valencia del catión en caso de necesidad, por ser polivalente el elemento en cuestión. Ahora bien mientras se nombra alfabéticamente, se escribe en función de su electronegatividad aproximada, de menos a mas.

En esta revisión saldrá reforzada la formulación Stock-Werner que se adaptará a todo tipo de compuestos.

El sistema Stock-Werner se extendió a los compuestos ternarios y cuaternarios, considerando a los oxígenos como ligandos oxo¹⁰ del metal correspondiente, con el sufijo ato, para los aniones, en cualquier estado de oxidación en el que se encuentre, indicando con un prefijo numérico el número de grupos oxo, que lo rodean. En el caso de que hubiera diferentes ligandos que afecten al anión, se nombrarán alfabéticamente sin tener en cuenta el prefijo numérico (tal como en la nomenclatura orgánica). El catión o los cationes se nombrarán alfabéticamente precedidos de la preposición de y seguidos del estado de oxidación, si fuera necesario, y sin tener en cuenta los prefijos numéricos que hubiera. Como prefijos multiplicativos, los griegos latinizados¹¹ que indican el 2,3,4,5 y 6, y no se indica el 1.

Por ese motivo esta nomenclatura introduce el principio de construcción molecular, que más tarde se desarrollará. Veamos ejemplos en la tabla 7:

Tabla 7

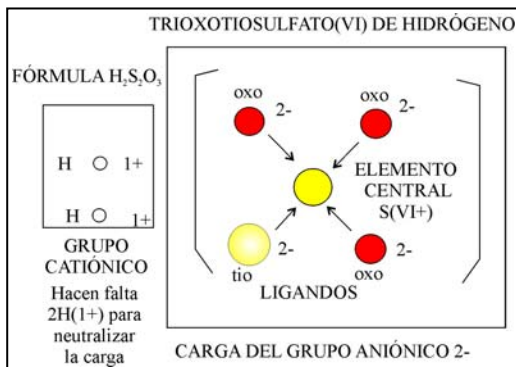
	Compuesto	Nombre Stock-Werner
1	K ₂ CuO ₂	Dioxocuprato(II) de potasio
2	Na Al(OH) ₄	Tetrahidroaluminato(III) de sodio
3	K ₂ CrO ₄	Tetraoxocromato(VI) de potasio
4	K ₂ Cr ₂ O ₇	Heptaoxidocromato(VI) de potasio
5	KMnO ₄	Tetraoxomanganato(VII) de potasio
6	K ₅ IO ₆	Hexaoyodato(VII) de potasio
7	H ₂ SO ₃ (O ₂)	Trioxoperoxosulfato(VI) de hidrógeno
8	H ₂ S ₂ O ₃	Trioxotiosulfato(VI) de hidrógeno
9	K ₃ AsOS ₃	Oxotritioarseniato(V) de potasio ¹²
10	Fe ₂ (SO ₃) ₃	Trioxosulfato(IV) de hierro(III)
11	Fe ₂ (SO ₄) ₃	Trioxosulfato(VI) de hierro(III)
12	Pb ₃ (PO ₄) ₄	Tetraoxofosfato(V) de plomo (IV)
13	Ca(ClO ₄) ₂	Tetraoxoclorato(VII) de calcio
14	Al(NO ₂) ₃	Dioxonitrato de aluminio
15	Ca(HCO ₃) ₂	Hidrógenotrioxocarbonato(IV) de calcio

⁹ Este compuesto también se podría formular como una sal básica, según las reglas de la IUPAC, nombrándose como hidroxiclорuro de magnesio

¹⁰ En inglés se emplea el óxido en vez del oxo.

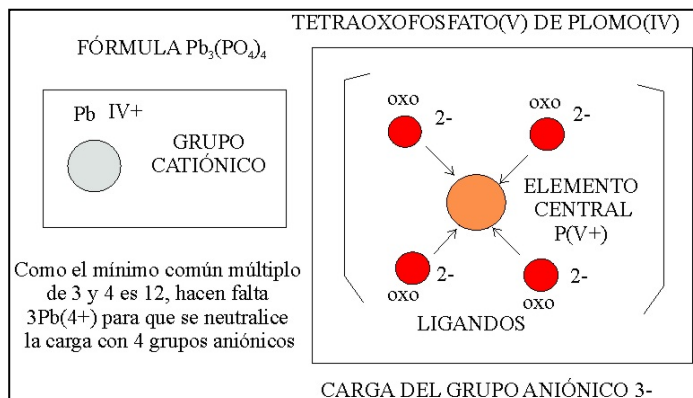
¹¹ También generó polémica, dado que el término valencia era latino y el tri y tetra eran griegos.

¹² El número de oxidación (en romano), se puede calcular fácilmente, teniendo en cuenta las reglas de Werner publicadas en 1920, dado que la suma de las cargas deberá ser 0, así por en el ejemplo 9, K(1+), As(x), O(2-) S(2-). Por lo tanto si consideramos x la carga del As, tendremos: 3(+1)+x+(-2)+3(-2)=0; x=+5



Realmente el mecanismo de formulación Stock-Werner es muy fácil. Vamos a aplicarlo al ejemplo 8 de la tabla anterior (fig. 3) el trioxotiosulfato(VI) de hidrógeno (no hace falta indicar dihidrógeno, ya que el principio de electroneutralidad, así lo exige)¹³.

Fig.3



En el caso de una sal se operaría del mismo modo. Así en el ejemplo 12. Como se aprecia, en la fig.4 siguiendo el principio de neutralización de las cargas, en el supuesto que el grupo oxo, actúa como 2-, se establece la carga del anión que deberá ser neutralizada por la del catión, lo cual implica un intercambio de los superíndices al pasar a subíndices.

Fig.4

La generalización de la nomenclatura Stock, motivo una derivación de los nombres de los ácidos, que según lo dicho se formulaban como sales, tal como los complejos, o sea terminados en el sufijo ato, pero se podría recuperar el sufijo ico, para la función ácido de esa forma los oxoácidos más comunes se formularían por el sistema Stock de la siguiente forma (tabla 8):

Tabla 8

	Compuesto	Nombre Stock-Werner funcional
1	HClO	Ácido óxoclorico(I)
2	HClO ₂	Ácido dioxoclorico(III)
3	HClO ₃	Ácido trioxoclorico(V)
4	HClO ₄	Ácido tetraoxoclorico(VII)
5	H ₂ SO ₃	Ácido trioxosulfúrico(IV)
6	H ₂ SO ₄	Ácido tetraoxosulfúrico(VI)
7	H ₂ CrO ₄	Ácido tetraoxocromico(VI)
8	H ₂ Cr ₂ O ₇	Ácido heptaoxidocromico(VI)
9	HMnO ₄	Ácido tetraoxomangánico(VII)
10	H ₅ IO ₆	Ácido hexaoxoyódico(VII)
11	H ₂ SO ₃ (O ₂)	Ácido trioxoperoxosulfúrico (VI)
12	H ₂ SO ₂ (O ₂)	Ácido trioxoperoxosulfúrico (IV)
13	H ₂ S ₂ O ₃	Ácido trioxotiosulfúrico (VI)
14	H ₃ AsO ₄	Ácido tetraoxoarsénico(V)
15	H ₃ AsS ₂ O ₂	Ácido dioxoditioarsénico (V)

Paralelamente al sistema Stock, la IUPAC elaboró otro sistema simplificador, indicando el número de átomos o grupos que intervienen en una fórmula, este sistema se denominó composicional o estequiométrico, porque indicaba directamente las relaciones interatómicas.

Comenzó a fraguarse al sustituir el término dímero empleado por Stock, por el prefijo di, para indicar dos, de esta forma algunos compuestos que tenían verdadera dificultad para nombrarse como los ejemplos 6 y 10 de la tabla 4 (véase la tabla 9)

Tabla 9

	Compuesto	Nombre Stock	Modificación
6	Pb ₃ O ₄	Óxido doble de plomo(II) dímero y (IV)	Óxido doble de diplomo(II) y plomo(4)
10	N ₂ O ₄	Óxido de dímero de nitrógeno(IV)	Óxido de dinitrógeno(IV)

¹³ Obsérvese que se sigue escrupulosamente el orden alfabético sin tener en cuenta los prefijos numéricos.

La modificación introdujo ciertos problemas de interpretación a la hora de traducirla a los diferentes lenguajes, por lo que se precisaron prefijos multiplicativos para vincular a los átomos y otros prefijos para vincular a los grupos. Se usaron los términos griegos, más o menos latinizados (excepto el 9, en griego enea). Así

Tabla 10

	De átomo	De grupo
2	di	bis
3	tri	tris
4	tetra	tetraquis
5	penta	pentaquis
6	hexa	hexaquis
7	hepta	heptaquis
8	octa	octaquis
9	nona	nonaquis
10	deca	decaquis

El prefijo mono, indicando 1, suele omitirse. Este sistema tiene el inconveniente de no indicar ni la estructura ni el estado de oxidación del elemento, se deberá escribir como se nombra, aunque de izquierda a derecha.

La introducción de los prefijos para grupos permitió completar la nomenclatura de los compuestos dobles o triples dentro de la nomenclatura tradicional, así

Tabla 11

	Nombre tradicional	Fórmula
1	Cloruro-fluoruro-bis(sulfato) de sodio ¹⁴	Na ₆ ClF(SO ₄) ₂
2	Cloruro-tris(nitrato) de calcio	Ca ₂ Cl(NO ₃) ₃
3	Dicloruro-tetraquis(hidrógeno sulfato) de magnesio	Mg ₃ Cl ₂ (HSO ₄) ₄

Pero también crear la llamada nomenclatura estequiométrica o composicional, que aplicada a los compuestos de la tabla 6 y 7, se nombrarían conforme se indica en la 12

Tabla 12

	Compuesto	Nomenclatura estequiométrica
5.1	FeO	Óxido de hierro
5.2	Fe ₂ O ₃	Trióxido de dihierro
5.3	Fe ₃ O ₄	Tetraóxido de trihierro
5.4	CrO ₃	Trióxido de cromo
5.5	PbO ₂	Dióxido de plomo
5.6	ClO ₂	Dióxido de cloro
5.7	NO ₂	Dióxido de nitrógeno
6.1	K ₂ CuO ₂	Dioxocuprato de dipotasio
6.2	Na Al(OH) ₄	Tetrahidroxaluminato de sodio
6.3	K ₂ CrO ₄	Tetraoxocromato de dipotasio
6.4	K ₂ Cr ₂ O ₇	Heptaoxidicromato de dipotasio
6.5	KMnO ₄	Tetraoxomanganato de potasio
6.6	K ₃ IO ₆	Hexaoxoyoadato de pentapotasio
6.7	H ₂ SO ₃ (O ₂)	Trioxoperoxosulfato de dihidrógeno
6.8	H ₂ S ₂ O ₃	Trioxotiosulfato de dihidrógeno
6.9	K ₃ AsOS ₃	Oxotritioarseniato de tripotasio
6.10	Fe ₂ (SO ₃) ₃	Tris-Trioxosulfato de dihierro
6.11	Fe ₂ (SO ₄) ₃	Tris-Tetraoxosulfato de dihierro
6.12	Pb ₃ (PO ₄) ₄	Tetraquis-Tetraoxofosfato de triplomo
6.13	Ca(ClO ₄) ₂	Bis-Tetraoxoclorato de calcio
6.14	Al(NO ₂) ₃	Tris-Dioxonitrato de aluminio
6.15	Ca(HCO ₃) ₂	Bis-Hidrógenotrioxocarbonato de calcio

¹⁴ En una nomenclatura alternativa, se podrían indicar el número de cationes intervinientes, con lo cual se convertiría en una nomenclatura estequiométrica : cloruro-fluoruro-bis(nitrato) de hexasodio

