

DESDE EL COSMOS HASTA NUESTROS SENTIDOS, LA CURIOSA HISTORIA DE UN ELEMENTO EXTRAÑO: EL BERILIO (Primera parte)

Posiblemente cualquier persona que admirase el rutilante aspecto de una esmeralda, o se endulzase, con la debida precaución, su boca, con un poco del único sulfato que así lo hace, pudiera relacionar ambos sucesos. Sin embargo, ambos lo produce un ión curiosísimo, de uno de los metales menos abundantes en el universo y en la tierra, que en el hombre puede producir la muerte; el berilio.

Vamos a tratar de seguirle la pista, analizando los factores que influyen en su viaje de 10 eones, hasta aquellos que permiten detectarlo a nuestros sentidos.

El berilio, es un núcleo ligero, con cuatro protones y cinco neutrones, y por lo tanto con relación nuclear impar, que debería producirse en los primeros momentos de la creación, a partir de la propia formación del helio, por nucleosíntesis, tal como la mayoría de los núcleos de los elementos químicos. Sin embargo es muy escaso en el universo, frente a sus posibles progenitores. A partir de él se formaría el oxígeno, que si, ya es abundante. ¿Por qué su escasez? Pues sencillamente, dado que no es un núcleo especialmente estable, frente al de helio (${}^4\text{He}_2$), a la temperatura en que se formó se desintegraría, para encargarse de construir otros más estables. Por este motivo, el berilio que llega a la tierra, es mucho más joven que los demás constituyentes. ¿Quiénes son los padres de este berilio que llegará a la Tierra?

Parece evidente que no puede producirse por nucleosíntesis normal o fusión, como los elementos que lo rodean; la energía desprendida en dichos procesos sería suficiente para volver a desintegrarlo. Por lo tanto es necesario buscarle otra vía; esto es la reacción nuclear ordinaria, de fisión. O sea, partiendo de núcleos mayores, de masa doble y algo mayor, más estables y abundante, encontrar un "martillo" capaz de romperlos en fragmentos más pequeños. Evidentemente, los más abundantes son el oxígeno, (${}^{16}\text{O}_8$), el nitrógeno (${}^{14}\text{N}_7$), y el carbono, (${}^{12}\text{C}_6$), y el martillo necesario, las partículas ligeras, como los protones integrados en rayos cósmicos primarios, y por lo tanto con la energía suficiente para fracturar por ejemplo, al nitrógeno.

La reacción sería: ${}^1\text{H}_1 + {}^{14}\text{N}_7 = {}^9\text{Be}_4 + {}^4\text{He}_2 + 2 ({}^1\text{H}_1)$.

Esta reacción ha sido recreada en aceleradores de partículas, consiguiéndose efectos similares; por otra parte lo atestigua la abundancia del berilio en los rayos cósmicos. La consecuencia es que el berilio aparecerá aproximadamente cinco mil millones de años después de la formación del universo a través de la explosión inicial.

El hecho anterior, y la constatación a partir de los análisis de las sondas espaciales próximas a Júpiter de la existencia de rayos cósmicos, compuestos por estos tipo de núcleos ligeros, hace posible que precisamente en la etapa de formación de la Tierra, hayan llegado como viajeros extraterrestres, introduciéndose en las redes de silicatos de aluminio, debido a su pequeñísimo tamaño. Sin embargo al ser un huésped, su abundancia es muy escasa; 5 partes por millón.

Evidentemente, el ion Be^{2+} , tiene un radio de 0,3D o 3nm, lo que le permite colarse en estructuras mucho más separadas, invadiendo huecos y distorsionando las fuerzas eléctricas que originan los enlaces. Su densidad de carga es enorme, y por lo tanto su poder polarizante (debemos recordarlo). Su capacidad para sustituir a otros iones metálicos, pese a la diferencia de tamaño, es la clave de su aparición en dos piedras preciosas de distinto color; la esmeralda y el agua marina o berilo. La primera verde y la segunda azulverdosa, ambas con una cierta fluorescencia, que las hacen más valiosas. Por ellas ha habido guerras y crímenes. Pues bien, el que veamos a la primera verde, y a la segunda azul verdosa; de ahí su nombre, es responsabilidad indirecta del berilio como elemento químico.

Tanto una como otra, eran conocidas desde la antigüedad. El nombre de esmeralda, como el de la mayoría de las piedras preciosas no ha variado en el transcurso de miles de años, conservándose los mismos usados por persas, hindúes y semitas, mientras que el berilo, berilos de los griegos, será por sus características el padre del término brillar.

En la Biblia se habla de él¹ y es signo de riqueza, opulencia y de dignidad, por eso aparecen en las vestiduras de los Sumo Sacerdotes. A través de la esmeralda, smeragda de griegos y árabes, desempeñó un papel histórico, en función de su valor, estimulando la codicia de guerreros y gobernantes, causando muchas veces su desgracia. Hernán Cortés la descubrió en Méjico, y cuando las expuso en España, fue el principio de su declive. Hasta la reina quiso quedarse con ellas.

Los primeros análisis químicos de esmeraldas y agua marinas que realiza el sueco Tobarn Bergmann en la segunda mitad del siglo XVIII, indican una composición similar, pese al diferente color. En los análisis, siempre surgía en mayor o menor proporción, la sílice, la alúmina y la cal. El profesor berlinés Achard en 1779, repitió por seis veces el análisis, dando una composición parecida, aunque el 5% de la materia desaparecía durante las operaciones. Por otra parte, años después, lo analiza Bidheim, corroborando lo anterior aunque con una pequeña proporción de óxidos de hierro, mientras que Klaproth, hace lo propio con una esmeralda peruana, en la que no encuentra cal, y una menor proporción de óxidos de hierro, por lo cual todo el mundo considerará ambas piedras, de naturaleza diferente. Sin embargo el mineralogista Haiüy que había observado que las propiedades ópticas del **BERILO** y de la esmeralda eran iguales², incita a Vauquelin a repetir los análisis con varios **BERILOS**. La comparación la damos en el cuadro:

Científico	Sílice	Alúmina	Óxidos de Fe	Cal	Glucinia
Berilo Achard (1779)	60%	22%	5%	8%	
Berilo Bindheim (1785)	64%	27%	2%	8%	
Esmeralda peruana Klaproth(1791)	66%	31%	0,5%		
Berilo Vauquelin (1798)	65%	14%	Óxido de Cr 4%	2,6%	13%

De esta forma, Vauquelin, dando estos resultados, comunicará el 14 de febrero de 1798, en la Academia de Ciencias francesa, bajo el título "Sobre el agua marina o berilo, y sobre el descubrimiento de una tierra nueva en este mineral", el descubrimiento de una nueva sustancia (un óxido) cuyas sales tenían un cierto sabor dulce, por lo que la llamó **GLUCINIA** derivado del griego **GLYCOS** (γλυχός, dulce).

¹ Surge, en las profecías de Ezequiel 28,13, cuando habla de las riquezas del paraíso. En ella diferencia el beryllus de la smaragdus. También aparece en la Apocalipsis de San Juan, 21. En la referencia a las doce piedras que adornaban los muros de la ciudad celestial; la cuarta era la smeragdus, mientras que la octava era el beryllus.

² Plinio ya deja constancia del parecido entre el berilo y la esmeralda en su historia natural, libro 37, pero será Fourcroy, gran amigo del mineralogista Haiüy y protector y maestro de Vauquelin, el que explique su contribución al descubrimiento: "Es a la geometría a la que debemos, la causa del descubrimiento...ya que después del análisis que hizo M.Klaproth de la esmeralda y M.Bindheim del berilo, no habría que pensar en la posibilidad de que esta tarea comenzara otra vez, de no haber sido por las grandes analogías o hasta la casi completa identidad, que el ciudadano Haiüy encontró en las propiedades geométricas es estos dos fósiles pétreos".

Por eso, el elemento que la formaba, sería el **GLUCINIUM** y su primer símbolo G, pasando a ser en los primeros sistemas periódicos Gl, que es como se conoció en todos los textos de Química del siglo XIX. Es realmente curioso que sea único elemento cuyo símbolo haya durado 100 años en los textos químicos, para ser posteriormente cambiado. Así apareció en el primer sistema periódico de Mendeleev, de 1867. Ese mismo año, Gmelín también encuentra dicho metal en unos berilos rusos, extraídos de las minas de Nerchinsk.

Klaproth que estaba por aquellas fechas, enemistado con Vauquelin, y puesto que no solamente era patrimonio de dicho elemento el sabor dulce, que también aparecía en algunos otros compuestos, como el acetato de plomo (azúcar de plomo) y las sales de la Ytria, lo rebautiza con el nombre de **BERILIUM** procedente de la **TIERRA DE LA BERILIA**, nombre que se impondrá y que modificará su símbolo hasta Be³.

Ahora que ya conocemos la composición de esmeraldas y berilos ¿Dónde están los centros de color, y en qué radican las propiedades ópticas que los hacen tan valiosos, y apreciados así por nuestros sentidos?

El problema de la esmeralda y del aguamarina, la primera verde y la segunda azulverdosa, con estructuras geométricas similares, y composición casi idéntica; son silicatos de aluminio y berilio, pero de diferente color, lo cual las hacía piedras diferentes, se debe a la diferente proporción de cromo y hierro. El elemento responsable directo del color en la esmeralda es el cromo, en forma de ión Cr³⁺, mientras que en el berilo o agua marina, es el Fe³⁺.

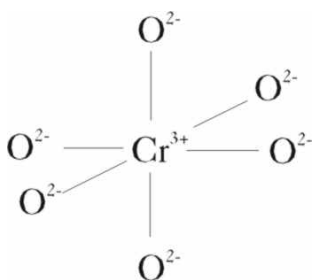


Fig.1

El ión cromo 3⁺, tiene una estructura electrónica externa 3d³, con los electrones desaparejados en los orbitales 5d, que en una coordinación octaédrica con 6 O²⁻ (fig.1), desdobra muy poco sus niveles energéticos, en el campo débil del ión oxígeno de tal forma que absorben en el visible, como se explicó al hablar del cromo. En este caso trataremos de justificarlo en la teoría espectroscópica de un campo cristalino, ya que no se trata de iones en disolución, sino de iones inmersos en una determinada estructura cristalina.

La distancia de enlace Cr-O, es de 1,9D, y su carácter iónico es del 63%. Esto es importante para justificar hasta que punto los pares electrónicos están más próximos o no al metal o al oxígeno.

El estado fundamental del cromo 3⁺, con los 3 electrones desaparejados en los orbitales d, siguiendo las leyes de Hund, presenta una multiplicidad (2S+1), siendo S la suma de los espines $2 \cdot (3 \cdot 1/2) + 1 = 4$, (fig.2) y puesto que la suma de los números cuánticos m o sea L es 3, el nivel base de menor energía será el 4F, y el estado fundamental 4A_{2g}, los estados excitados, con energías que entran en el espectro visible son el 2E, 4T₁ y 4T₂.

Si tomamos los diagramas energéticos propuestos para dicho estado por los japoneses Tanabe y Sugano, adaptados al caso de este ión, observaremos que las energías de tránsito para dichos estados 4T₁ y 4T₂, varían notablemente por la acción del campo eléctrico (en abscisas) de los iones vecinos.

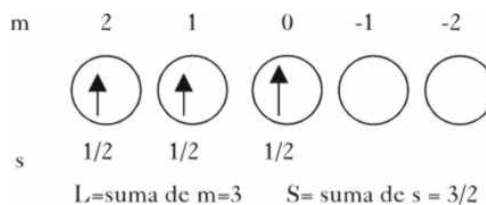


Fig.2

³ En la mayoría de los textos aparece Wöhler, como el bautizador del elemento, 30 años después. Debe recordarse que los elementos toman el nombre de la tierra de la que fueron extraídos, y al determinar Klaproth el de berilia, implícitamente se lo daban al elemento aunque no lo hubieran aislado puro.

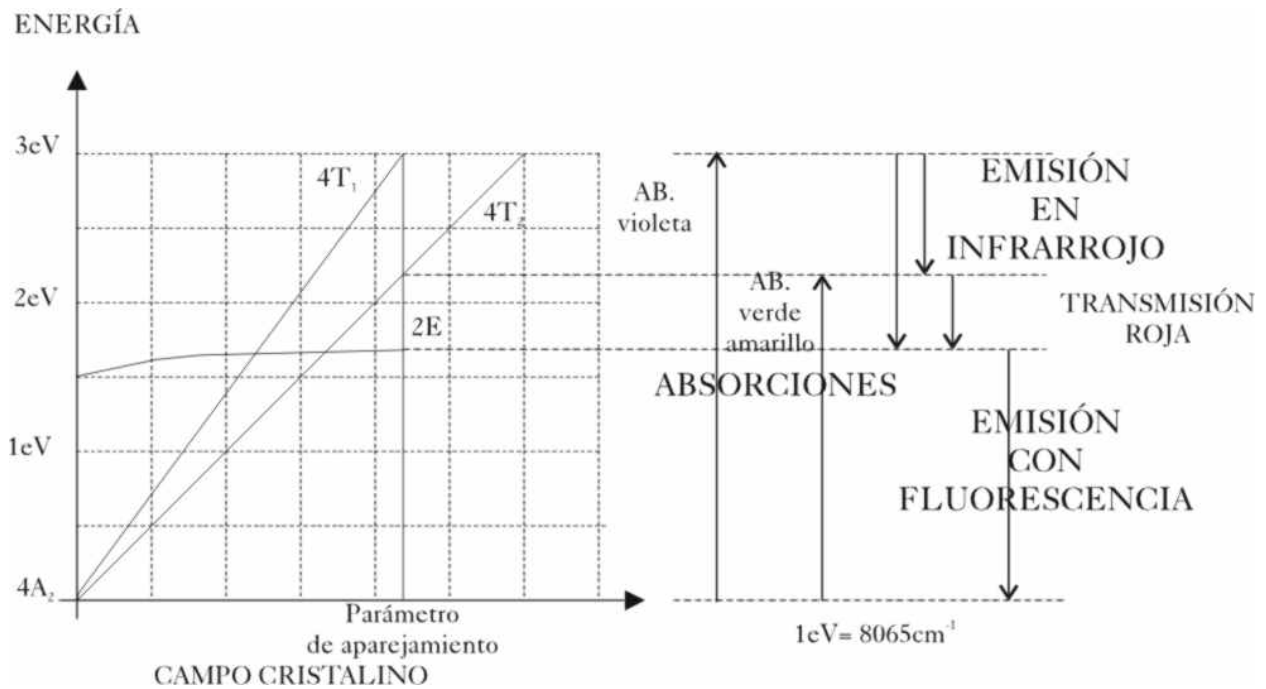


Fig.3

Hemos dicho que el oxígeno O^{2-} , produce un campo débil porque debido a su gran electronegatividad, no tiende a dar o ceder sus electrones, lo que produce un complejo de alto espín (electrones lo más desapareados). Si observamos la gráfica, veremos que los tránsitos implicarían una absorción de energía, si se produce desde el nivel fundamental hasta el $4T_1$, en el violeta, mientras que si ocurre al $4T_2$, sería en el verde y amarillo. Si a la luz blanca se le priva de la componente violeta, verde y amarilla, aparece con un color rojizo. Por eso si sólo fuera cuestión del CrO^{3+} y del oxígeno O^{2-} , el cristal tendría ese color, característico por ejemplo del rubí (fig.3).

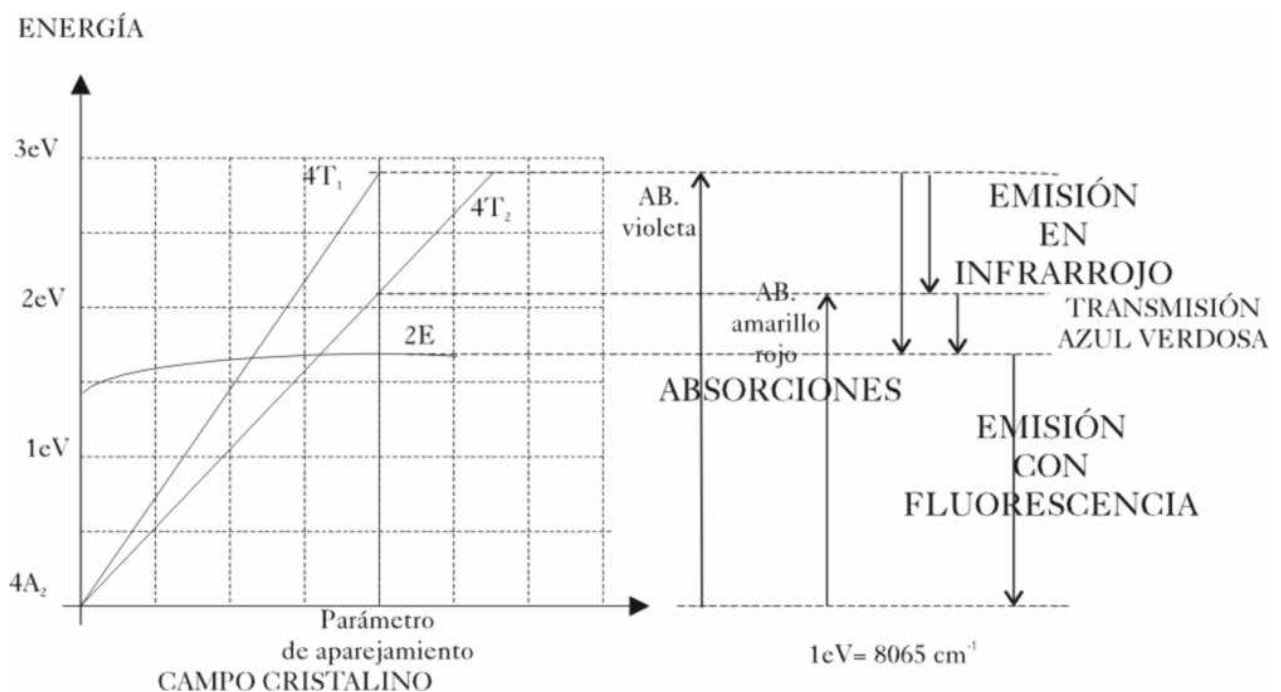
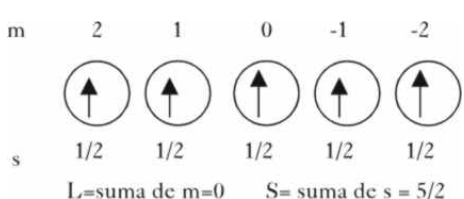


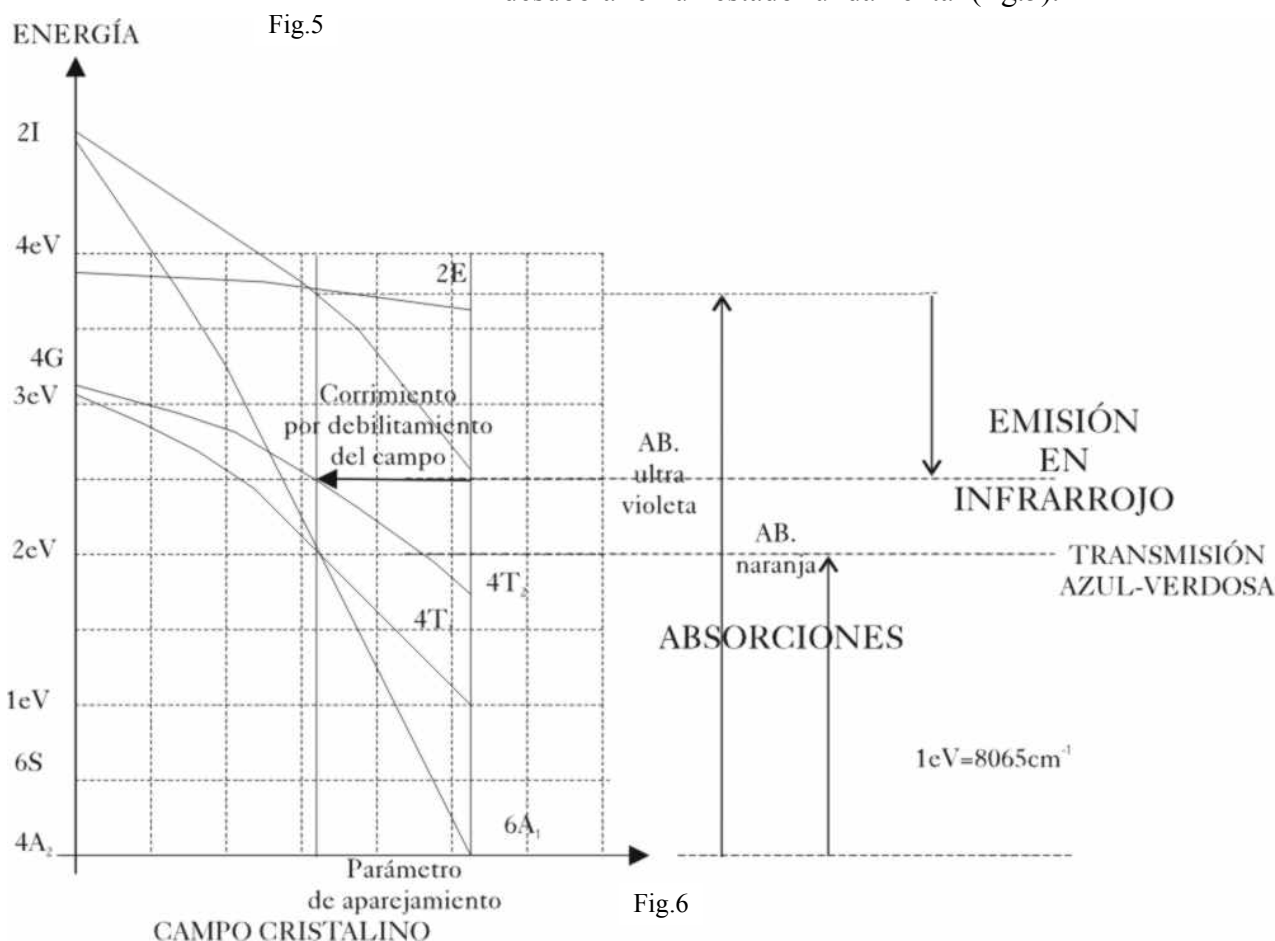
Fig.4

Sin embargo, la esmeralda es verde ¿Por qué? Aquí entra en acción, nuestro berilio. Este elemento debido a su electronegatividad, modifica el % de carácter iónico del enlace, con lo que debilita todavía más el campo eléctrico, variando la pendiente de la gráfica energía/intensidad del campo, de tal forma que ahora, al disminuir ésta, las energías de absorción son menores, pasando en el tránsito de al nivel $4T_2$, del verde amarillento hasta el rojo. Por eso la transición entre el nivel fundamental del cromo $4A_2$, al estado activado $4T_2$, implica la absorción de menor energía, anulando la componente roja, y reflejando en el verde. Además la reemisión energética, al hacerse a través del nivel intermedio $2E$, pues las reglas de selección prohíben el tránsito directo, aparece retardada, lo cual da lugar a una especie de fluorescencia (fig.4). Esta fluorescencia rojiza se debe únicamente a la transición del estado $2E$ al fundamental, ya que el tránsito del $4T$ al $2E$, produce un salto muy pequeño, con emisión en el infrarrojo.



En el agua marina, la impureza de Fe^{3+} , y el ión Be^{2+} son los responsables del color.

El ión Fe^{3+} , en un campo de bajo espín debido como siempre al papel del O^{2-} , tiene sus cinco electrones $3d^5$, dispuestos en los cinco orbitales d, prácticamente sin desdoblar en un estado fundamental (fig.5).



La multiplicidad $2S+1$, será $2.5(1/2) + 1 = 6$, y como la suma de m, o sea $L = 0$, el término básico será $6S$, y el estado de menor energía o base en diagrama de Tanabe Sugano será $6A_1$. La variación energética decrece con el campo (pendiente negativa) (fig.6) hasta que llegue a la energía de apareamiento, y en este caso si no hubiera acción del berilio, el compuesto sería incoloro. Sin embargo la acción del berilio, es la que modificando el campo hace que con su debilitamiento, la pendiente aumente, el desdoblamiento de sus niveles sea mayor, absorbiendo en el amarillo-anaranjado, y por lo tanto emitiendo en el azulverdoso.

Hemos visto que debido a la acción del berilio, la emisión energética de la esmeralda o del agua marina, produce unos fotones con una frecuencia tal que captada por nuestros ojos, hacen que nuestro cerebro lo interprete como verde o azul. ¿Cuál es el camino seguido por la emisión energética, para que nuestro cerebro lo traduzca así?