



Molybdenum, a versatile and vital element

# EL MOLIBDENO, UN ELEMENTO TAN VERSÁTIL COMO VITAL

Juan M. Gutiérrez-Zorrilla\*

*El molibdeno es un elemento descubierto en el siglo XVIII que, en el Perú, se obtiene asociado a la minería del cobre. Se usa en aleaciones de acero así como en pigmentos y tiene un relevante rol en la vida pues está presente en enzimas importantes.*

*Palabras Clave: Molibdeno, superaleaciones, extracción*

El descubrimiento de los elementos naturales del grupo 6 (Cr, Mo y W) tuvo lugar a finales del siglo XVIII. Así, el molibdeno no se reconoció como elemento hasta 1778, cuando Carl Wilhelm Scheele hizo reaccionar el mineral molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ) con ácido nítrico y obtuvo el óxido del mismo elemento ( $\text{MoO}_3$ ), con propiedades ácidas, y al que llamó "acidum molibdenae", confirmando que el mineral molibdenita no era ni grafito ni galena como se creía hasta entonces. Habría que esperar hasta 1781 para el aislamiento del elemento, cuando Peter Jacob Hjelm consiguió aislarlo calentando el óxido con carbón vegetal en aceite de linaza, si bien, lo obtuvo impurificado con carburo de molibdeno, los resultados no se publicaron hasta 1788.<sup>1</sup> El mérito de obtener Mo en estado puro se debe a Jons Jacob Berzelius en 1817, al reducir con hidrógeno el trióxido. El nombre se deriva de la palabra griega para plomo ("molybdos"), debido a la antigua confusión entre cualquier mineral negro suave que podría usarse para escribir.

\* Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad del País Vasco. JSPS Fellow en el Tokyo Institute of Technology, Yokohama (Japón) en 1992. Actualmente es Catedrático de Química Inorgánica en la Facultad de Ciencia y Tecnología de la UPV/EHU. Su principal área de investigación es la Química de Polioxometalatos. e-mail: [juanma.zorrilla@ehu.es](mailto:juanma.zorrilla@ehu.es)

*Molybdenum, produced in Peru as a byproduct of the copper mining industry, was discovered in the XVIII<sup>th</sup> century. It is usually added to steel alloys, is amply used in different pigments and its presence in enzymes makes it a relevant element in life.*

*Keywords: Molybdenum, super alloys, extraction*

El molibdeno está presente en la corteza terrestre con una abundancia de 1.2 ppm siendo el mineral más importante la molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ); otros minerales de menor importancia son wulfenita ( $\text{PbMoO}_4$ ), powellita [ $\text{Ca}(\text{Mo,W})\text{O}_4$ ] y la ferrimolibdita ( $\text{Fe}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), también se recupera como un subproducto o co-producto de la minería de cobre. Los principales productores de molibdeno en 2018 fueron China, Estados Unidos, Chile, Perú y México.<sup>2</sup> El contenido de Mo en los cuerpos minerales viables oscila entre 0.01 y 0.25%. La producción de molibdeno en 2018 en Perú, sitúa a la región de Arequipa a la cabeza con el 44.8%, seguida de Ancash 16.5%, Tacna, 14.8% y Moquegua, 11.1%. Anualmente, se producen algo más de veintiocho mil toneladas de este metal en el Perú, que se obtiene, principalmente, como subproducto de la minería del cobre.

El molibdeno es un sólido blanco plateado brillante con propiedades típicamente metálicas. La estructura crist-

1. A. Luque, Z=42, molibdeno, Mo. Un elemento bioesencial y de uso industrial. *An. Quím.* **2019**, *115*, 104. (☐)
2. D. E. Polyak, Molybdenum, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, February 2019. (☐)

lina se basa en una celda cúbica centrada en el cuerpo, ( $a = 314.72$  pm). Es relativamente denso, y posee puntos de fusión y ebullición elevados.

El molibdeno mantiene su lustre metálico indefinidamente en aire. Se pasiva por oxidación, especialmente la oxidación electrolítica le convierte en inerte. Arde en oxígeno a 500-600 °C. Se oxida lentamente en vapor de agua, es atacado por el flúor en frío y por cloro y bromo en caliente. No se ve afectado por el HCl tanto diluido como concentrado, pero se disuelve en ácido nítrico moderadamente concentrado, ya que el  $\text{HNO}_3$  (conc) lo pasiva. No se ve afectado tanto por disoluciones alcalinas como los hidróxidos alcalinos fundidos. Sin embargo, las sales oxidantes, como los peróxidos, nitratos, percloratos lo disuelven rápidamente.<sup>3</sup>

La versatilidad del molibdeno para mejorar una serie de propiedades de las aleaciones le ha asegurado un papel importante en la tecnología industrial contemporánea; se utiliza principalmente como agente de aleación en acero, hierro fundido y superaleaciones para mejorar su dureza, resistencia, tenacidad y resistencia al desgaste y la corrosión. Además, el molibdeno encuentra un uso significativo como metal refractario en numerosas aplicaciones químicas, incluidos catalizadores, lubricantes y pigmentos.

Los catalizadores a base de molibdeno tienen una serie de aplicaciones importantes en las industrias del petróleo y plásticos. Un uso importante es en la hidrosulfuración (HDS) de petróleo, productos petroquímicos y líquidos derivados del carbón.

El disulfuro de molibdeno, debido a su estructura en capas, es un lubricante eficaz. Dado que el disulfuro de molibdeno es de origen geotérmico, tiene la durabilidad para soportar el calor y la presión y funciona como un lubricante al vacío donde el grafito falla.

Los pigmentos a base de molibdato se usan por dos propiedades: formación de color estable e inhibición de la corrosión. Los pigmentos anaranjados de molibdeno son los más conocidos y se preparan coprecipitando cantidades diferentes de las sales de plomo  $\text{PbCrO}_4$ ,  $\text{PbMoO}_4$  y  $\text{PbSO}_4$ . Son pigmentos resistentes a la luz y al calor, con colores que van del rojo anaranjado brillante al amarillo rojo, y se utilizan en pinturas y tintas, productos de plástico y caucho, y cerámica. El molibdato de zinc, por otro lado, es la base de los pigmentos inhibidores de la corrosión blancos que se utilizan como imprimadores de pintura.

Algunas propiedades y características físicas del molibdeno	
Z	42
Isótopos naturales	7
Masa atómica	95,96(2)
$\Delta_i H / \text{kJ mol}^{-1}$	
	I <sub>1</sub> 684,3
	I <sub>2</sub> 1559,2
	I <sub>3</sub> 2617,6
	I <sub>4</sub> 4476,9
	I <sub>5</sub> 5257,5
	I <sub>6</sub> 6640,8
$\Delta_{\text{AEH}} / (\text{kJ mol}^{-1})$	-72,171
$\chi_{\text{Pauling}}$	2,16
$r_{\text{COV}} / \text{pm}$ (CSD)	154(5)
$r_{\text{ATOM}} / \text{pm}$ (webelements)	145
$r_{\text{ION}} / \text{pm}$	+4 79
(Shannon&Prewitt)	+5 75
	+6 73
<b>Propiedades físicas</b>	
PF / °C	2622
PE / °C	4639
$\Delta_{\text{atomH}} / \text{kJ mol}^{-1}$	658
Densidad / $\text{g cm}^{-3}$	10,2
$\sigma / \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$	$1,842 \times 10^7$
<b>Estructura cristalina</b>	
ICSD	643962
GE	$I m-3m$ (229)
$a / \text{Å}$	3,14700(1)
$V / \text{Å}^3$	31,17
Z	2
$D_x / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	10,22
M-M / pm	272,5
T / K	298

El molibdeno es un elemento esencial para la vida, está presente en enzimas tales como la xantina oxidasa (cataliza la hidroxilación oxidante de purinas, aldehídos y pteridinas), aldehído oxidasa (oxida purinas, pirimidinas y pteridinas), sulfito oxidasa (oxida sulfito a sulfato), nitrato reductasa y nitrogenasa, esta última es clave en la fijación del nitrógeno atmosférico. El molibdeno-99 se produce comercialmente como precursor del tecnecio-99m, que se utiliza en medicina nuclear.

Recibido: 17 de julio de 2019

Aceptado en su forma final: 15 de octubre de 2019

3. F. Habashi, Handbook of Extractive Metallurgy, vol III, Wiley: New York, 1977, p 1361-1402.