

# Z = 45, rodio, Rh

Un metal que hace menos contaminantes a nuestros vehículos

CE: [Kr] 4d<sup>8</sup>5s<sup>1</sup>; PAE: 102,90550(2); PF: 1966 °C; PE: 3670 °C; densidad: 12,410 g/cm<sup>3</sup>;  $\chi$  (Pauling): 2,28; EO: -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6; isótopo presente en la naturaleza: <sup>103</sup>Rh; año de aislamiento: 1803 (William Hyde Wollaston, Londres, Reino Unido).

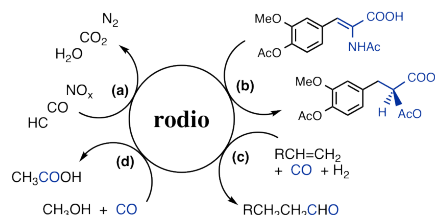
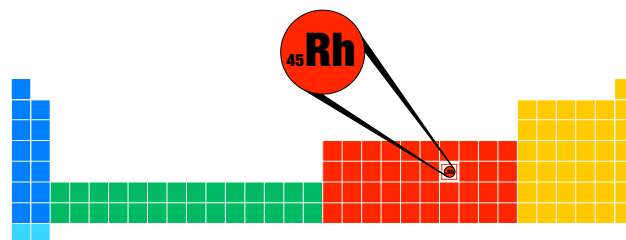
El rodio fue descubierto en 1803 por el químico inglés Wollaston,<sup>[1]</sup> quien realizó importantes contribuciones en varias ramas de la ciencia como la de encontrar un método de purificación del platino en cantidades prácticas. En los análisis químicos que realizó de las menas de Pt, descubrió la presencia de dos nuevos metales: paladio y rodio (a la vez, su colaborador Smithson Tennant descubría el iridio y osmio en las mismas menas). El nombre de *rhodium* (del griego ῥόδον, *ródon*, rosa) tuvo su origen en “el color rosa de una disolución de las sales que lo contienen” (estas sales eran Na<sub>3</sub>[RhCl<sub>6</sub>]<sub>x</sub>nH<sub>2</sub>O).<sup>[2]</sup>

El rodio se encuentra en la naturaleza en forma elemental o de compuestos en minerales de Cr, Fe, Ni y Cu, usualmente en asociación con otros metales del grupo del platino (Ru, Os, Rh, Ir, Pd y Pt). La UE lo clasifica como materia prima crítica debido al riesgo de suministro y, en especial, a su importancia económica.<sup>[3]</sup> El mayor proveedor es Sudáfrica (83 % del mercado global), que posee minerales de sulfuro de cobre y níquel relativamente ricos en este metal. Se extrae separándolo del resto de metales presentes en los *concentrados de platino* (Pt en crudo que también contiene Ru, Os, Ir, Pd y, a veces, Ag y Au) gracias a las diferencias en su susceptibilidad a la oxidación y en la solubilidad de sus sales. La demanda global de rodio en 2016 fue de unas 29 toneladas (77 % procedente de fuentes primarias y 23 % del reciclaje), que se usaron principalmente en convertidores catalíticos de vehículos (85 %), producción química (5 %), manufactura de vidrio (4 %) y electrónica (4 %).<sup>[4]</sup>

El rodio es un metal de color blanco plateado (Figura 1), dúctil y duro, que cristaliza en una red cúbica centrada en las caras. Incluso pulverizado finamente, se disuelve muy lentamente en agua regia o ácido sulfúrico concentrado (se disuelve mejor en una mezcla de HCl y NaClO<sub>3</sub> en caliente). El máximo estado de oxidación alcanzable es el +6, *i. e.* RhF<sub>6</sub>, pero los estados de oxidación superiores a +3 son oxidantes fuertes. Mientras que el estado de oxidación +2 es el más estable para cobalto en agua, Rh(III) es mucho más estable que Rh(II), que es un reductor fuerte. La importante química de coordinación de Rh(I) está casi enteramente dominada por ligandos aceptores  $\pi$ .



**Figura 1.** Un gramo del elemento químico rodio en diversas formas: polvo, cilindro obtenido por presión, bola refundida obtenida bajo argón usando un arco eléctrico. Fotografía: Alchemist-hp (www.pse-mendeleejew.de, visitada el 06/02/2019)



**Figura 2.** Algunos procesos catalizados por rodio [catalizadores típicos]. (a) Purificación de los escapes de automóviles [Pt, Rh y Pd metálicos]. (b) Hidrogenación enantioselectiva de olefinas [Rh(*R,R*-DIPAMP)(COD)]<sup>+</sup>. (c) Hidroformilación de olefinas [RhH(CO)(PR<sub>3</sub>)<sub>3</sub>]. (d) Carbonilación de metanol [Rh<sub>2</sub>(CO)<sub>2</sub>]<sup>-</sup>

El rodio se usa a menudo aleado con Pt y otros metales del grupo del Pt, que tienen propiedades físicas y químicas cercanas. Algunas aplicaciones se basan en su elevada temperatura de fusión, resistencia a la oxidación, dureza o reflectividad (industria del vidrio, por ejemplo), pero la mayoría se apoyan en su utilidad catalítica. Así, las aleaciones de Rh(1-10 %)-Pt se usan en la purificación de los escapes de automóviles, en la oxidación de amoníaco y en reacciones de hidrogenación e hidroformilación. Los convertidores catalíticos de los automóviles contienen una dispersión del 1-2 % de Pt, Rh y, a veces, Pd en alúmina. Aunque los tres metales son activos en la eliminación de CO, NO<sub>x</sub> e hidrocarburos, el rodio destaca por su eficiencia en la transformación catalítica de NO en N<sub>2</sub> (Figura 2a).<sup>[5]</sup>

El complejo [RhCl(PPh<sub>3</sub>)<sub>3</sub>] (catalizador de Wilkinson) fue el primer catalizador homogéneo capaz de hidrogenar alquenos a presión y temperatura ambiente. W. S. Knowles (premio Nobel en 2001) reportó en 1968 el primer catalizador capaz de hidrogenar enantioselectivamente una olefina proquiral, tras sustituir el ligando PPh<sub>3</sub> por una fosfina quiral (Figura 2b). Estos trabajos permitieron implementar la primera síntesis industrial enantioselectiva basada en un catalizador metálico (síntesis del aminoácido L-DOPA para el tratamiento del Parkinson).<sup>[6]</sup> Actualmente se utilizan catalizadores homogéneos de Rh para la hidroformilación de olefinas o la producción de ácido acético por carbonilación de metanol (Figura 2c y 2d).

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. C. Usselman, The platinum notebooks of William Hyde Wollaston, *Platinum Met. Rev.*, **1978**, 22, 100–106. W. P. Griffith, Rhodium and Palladium, *Platinum Met. Rev.*, **2003**, 47, 175–183.
- [2] W. H. Wollaston, On a new metal, found in crude Platina, *Philos. Trans. R. Soc. Lond.*, **1804**, 94, 419–430.
- [3] Critical Raw Materials, European Commission (2017), <https://bit.ly/2TyvC09>, visitada el 06/02/2019.
- [4] Platinum-Group Metals Yearbook, CPM Group, EE. UU., 2017.
- [5] The three-way catalytic converter, The Open University, 2016, <https://bit.ly/2MSateZ>, visitada el 06/02/2019.
- [6] W. S. Knowles, Asymmetric Hydrogenations (Nobel Lecture), *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2002**, 41, 1998–2007.

ERNESTO DE JESÚS ALCAÑIZ  
Instituto de Investigación Química “Andrés M. del Río”  
Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares  
[ernesto.dejesus@uah.es](mailto:ernesto.dejesus@uah.es)