

El estaño, un metal antiguo imprescindible en la tecnología moderna

José de Jesús Figueroa Lara, Miguel Torres Rodríguez,
Brenda Valle Hernández, Violeta Mugica Álvarez^{1*}

Hoy platicaremos del estaño, un elemento que no se encuentra entre los metales más populares; tiene un tono gris-plateado que relacionamos con las monedas y la soldadura, pero pocas veces reparamos en él, a menos que se trate de una artesanía. Sin embargo, este metal poco apreciado por la mayoría, alguna vez fue considerado un metal lujoso con un precio tan alto como el de la plata. En la actualidad, los grandes edificios de vidrio no serían posibles sin el estaño; además, este aparentemente aburrido metal es capaz de proteger de la corrosión a la mayoría de los metales y tanto el metal, como sus compuestos, tienen múltiples aplicaciones en industrias de alimentos, la electrónica, la galvanoplastia y la química, entre otras.

La historia del estaño

El nombre de *estaño* y su símbolo químico Sn derivan del latín *stannum* que proviene del sánscrito *stan* que significa “sólido”. Se cree que fue descubierto en el mismo período que el cobre hace 6,000 o 6,500 años en los países del Mediterráneo, en Persia y la India. Hasta el siglo XIII el estaño más puro en Europa se producía en Gran Bretaña en la mina de Land’s End que se encuentra en Cornualles. El estaño fue uno de los siete metales reconocidos por los alquimistas y estaba representado por el planeta Júpiter. Hacia el siglo XVI el estaño llegó a costar tanto como lo plata y se usó mucho en joyería y artículos de lujo.

La aleación de estaño y cobre que dio origen a una era de la humanidad

La aleación¹ de estaño y cobre dio origen a la llamada Edad de bronce entre los años 3,800 y 1,200 a. C., fue la tecnología más innovadora de todas las civilizaciones que la utilizaron, y durante varios siglos fue la aleación indispensable para la fabricación de armas, utensilios, orfebrería y esculturas. Los objetos de bronce más antiguos se han encontrado en Irán, Mesopotamia y en tumbas egipcias de los años 1,580 a 1,350 a.C. Egipto no tenía minerales de estaño, pero los importaba de Persia. La necesidad de las antiguas civilizaciones de producir objetos de bronce ocasionó un comercio que requería recorrer distancias cada vez mayores para la obtención de estaño; se dice que los fenicios navegaban hasta Inglaterra para conseguirlo.

En la época de Julio César (100-44 a. C.), los romanos obtenían el estaño para producir el bronce principalmente de la península Ibérica y, después de que conquistaron Galia, intensificaron la explotación en yacimientos de Bretaña.

No se sabe cuándo se descubrió el estaño en América, pero cuando Hernán Cortés llegó, sus habitantes se encontraban en la Edad de bronce y no habían pasado a la Edad de hierro. En

los Códices Mendocino y Florentino se muestran diagramas de hornos de reducción donde los indígenas fundían los minerales para obtener metales utilizando carbón.

El bronce tiene como base al cobre con un contenido de estaño entre el 3 y 20%; al adicionar el estaño, se volvía más resistente a la corrosión, incrementando también su dureza; al disminuir la temperatura de fusión, mejoraba todo el proceso de fundición, el material producido era menos esponjoso y presentaba una duración mayor que otros instrumentos y objetos utilizados anteriormente, basados en rocas, hueso y cobre. La producción de bronce generó una industria metalúrgica que en principio se basaba en la fundición de un mineral de cobre con uno de estaño en un horno con carbón que produjera la reducción de los metales, pero que fue perfeccionándose con el tiempo en cada civilización que lo producía. La manufactura de las campanas constituye a la fecha una aplicación del bronce, en donde el estaño alcanza un porcentaje de hasta el 22% (y 78% de cobre) para darle una mayor sonoridad.

En América, los incas consideraban al bronce como una aleación imperial que era utilizada en joyería y en ceremonias.

El metal que grita y que puede deshacerse en el invierno

El estaño es un elemento que se encuentra en el bloque p de la tabla periódica, en el grupo 14 (entre el germanio (Ge) y el plomo (Pb)), y en el período 5 (entre el indio y el antimonio). Es el elemento con más de isótopos estables, ya que tiene 10 y, aunque tres son radiactivos, no se ha observado su desintegración, pues tienen un tiempo de vida media muy largo.

El estaño puro presenta dos formas alotrópicas: el estaño blanco o estaño beta, que es el más conocido y más estable a temperatura ambiente, y el estaño gris o estaño alfa; las propiedades de ambos se muestran en la Tabla 1. El estaño blanco es el que usualmente conocemos, su estructura es tan cristalina que cuando se dobla se rompen algunos cristales que emiten un sonido característico que se le conoce como “el grito del estaño”. El estaño gris es un polvo no metálico muy frágil que no tiene utilidad en la generación de artículos y tiene propiedades semiconductoras, es decir, aunque su conductividad eléctrica no tiene carácter metálico, puede conducir la electricidad y esta propiedad aumenta al incrementarse la temperatura. Sin embargo, el estaño blanco puede convertirse de forma espontánea a estaño gris, cuando la temperatura es inferior a 13.2 °C, en períodos prolongados de tiempo, pues la

¹ Una aleación es una mezcla homogénea de elementos, de los cuales al menos uno es un metal.

*Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco
vma@azc.uam.mx

reacción es muy lenta. A este fenómeno se le denomina “peste o plaga del estaño”, ya que la estructura de estaño blanco, al irse transformando, se hace polvo y se desmorona.

Existe una anécdota curiosa sobre las catedrales del norte de Europa, donde los órganos principales se construían con tubos de estaño y, en inviernos muy fríos y largos, los tubos comenzaban a deshacerse, pues el estaño blanco se convertía a estaño gris, destruyéndose los bellos instrumentos; en la época medieval se pensaba que Satanás era el responsable de la enfermedad o plaga del estaño.

En la actualidad, las láminas para fabricar los tubos de los órganos musicales son de una aleación de Sn-Pb en diferentes composiciones; entre menos estaño tienen, los instrumentos sufren una mayor corrosión con el paso de los años.

Tabla 1. Comparación de las propiedades del estaño blanco y el estaño gris

Propiedad	Estaño blanco o beta	Estaño gris o alfa
Estado de agregación	Metal blanco-grisáceo	Polvo gris no metálico
Propiedades eléctricas	Conductor	Semiconductor
Estructura	Tetragonal cristalina	Cúbica
Estabilidad	En temperaturas superiores a 13.2 °C	En temperaturas inferiores a 13.2 °C

Propiedades del estaño

Por lo anteriormente mencionado, el estaño normal al que hacen referencia la mayoría de las aplicaciones, textos y artículos, es el estaño blanco que es un metal muy dúctil y maleable, además de resistente a la corrosión; algunas de sus propiedades físicas se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades físicas del estaño blanco

Propiedad	Estaño blanco (beta)
Configuración electrónica	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ²
Número atómico	50
Masa molar	118.71 g/mol
Energía de ionización	708.58 kJ/mol
Radio atómico (empírico)	145 pm
Densidad	7.31 g/cm ³
Energía de ionización	708.58 kJ/mol
Temperatura de fusión	231.93 °C
Temperatura de ebullición	2,602 °C
Estados de oxidación	+2 y +4
Electronegatividad en la escala de Pauling	1.96

Otras aleaciones del estaño

La principal aplicación del estaño es proteger a otros metales de la corrosión; por ello existen diversos tipos de aleación: además de la

aleación con cobre que forma el bronce, el estaño forma aleaciones con el plomo que tienen diferentes aplicaciones y diferentes temperaturas de fusión, dependiendo de la composición. Un caso particular, es la aleación eutéctica Sn-Pb (61.9% Sn - 38.1% Pb) que funde a menor temperatura (183 °C) y se utiliza en la soldadura blanda para unir piezas pequeñas como componentes electrónicos, juguetes, joyas, etc. Esta constituye la segunda aplicación más importante, sobretodo en esta Era de la electrónica. También hay aleaciones estaño-plomo a las que además se les añade antimonio, que es el caso del peltre. Para eliminar el plomo, que presenta toxicidad, se han preparado aleaciones con plata, titanio y zirconio.

Recientemente se ha realizado una investigación de una aleación cristalina de estaño y niobio (Sn-Nb) que se aplica para superconductores a temperaturas de hasta (-255 °C) en campos magnéticos muy fuertes, por lo que la innovación en cuanto a las aplicaciones de las aleaciones de estaño no parece tener fin.

Propiedades químicas del estaño

El estaño, a temperatura ambiente, reacciona con el oxígeno y forma una ligera película resistente a la corrosión. A este fenómeno se le conoce como pasivación, y al aplicar una película de estaño sobre la superficie de otros metales, los hace resistentes a la corrosión.

El metal resiste al ataque químico del agua, pero su reactividad aumenta frente a ácidos y bases.

Los ácidos de los halógenos disuelven a los óxidos de estaño (II y IV) para formar hexahaloestannatos, en tanto que el ácido sulfúrico disuelve al óxido de estaño (IV) para dar sulfatos.

Los óxidos de estaño al reaccionar con hidróxido de sodio, producen estannato de sodio o Na₂SnO₃.

El estaño puede reaccionar violentamente con azufre en polvo, oxidantes, bicarbonato y anhídrido carbónico, generando vapores asfixiantes. En la Primera Guerra Mundial se utilizó como agente químico por su facultad de producir capas de humo irritantes que no eran venenosas.

El óxido de estaño (IV), un sólido anfótero incoloro muy estable, con alta reflectividad en el infrarrojo y transparencia óptica, es muy útil en la industria de esmaltes cerámicos.

Aplicaciones en catálisis y fotocatalisis

Las aplicaciones de los compuestos del estaño como catalizadores son muy variadas y en este documento sólo se presentan algunas.

El cloruro de estaño (IV) cataliza las reacciones orgánicas de Friedel-Crafts, principalmente en la ciclación y la alquilación homogénea.

El óxido de estaño (IV) se emplea como catalizador en el *cracking* del petróleo y en procesos químicos relacionados con la deshidrogenación catalítica y la isomerización de hidrocarburos. Recientemente, se ha probado la actividad fotocatalizadora del óxido de estaño (IV), cuando se encuentra en forma de nanopartículas², ya que el SnO₂ presenta una banda prohibida de 3.6 eV que con la radiación solar genera especies súperoxidantes capaces de degradar contaminantes orgánicos de aguas residuales.

² Partículas con diámetros entre 1 y 100 nanómetros (nm)

El estaño, protagonista de la revolución industrial del vidrio

En la primera mitad del siglo XX, el proceso de fabricación del vidrio plano por estiramiento era peligroso, producía una gran cantidad de residuos y era difícil obtener piezas de alta calidad. En 1952, el científico británico Alastair Pilkington inventó la técnica de flotación de vidrio, también denominada de vidrio flotado, que permitió modificar la fisonomía de las ciudades al hacer posible los grandes rascacielos recubiertos con grandes placas de vidrio plano, obteniendo un proceso más rápido, además de menos peligroso y contaminante (Figura 1). La técnica consiste en que una vez que se funden en grandes hornos a 1,500 °C todos los componentes, principalmente arena de sílice (SiO₂), roca caliza (CaCO₃) y carbonato de sodio (Na₂CO₃), en un proceso continuo de hasta 50 h, donde se afina y se acondiciona el vidrio fundido para eliminar burbujas y se vierte sobre un canal, formando una lámina continua en la que baja su temperatura a 1,100 °C para recibirse en una cámara con estaño fundido de una profundidad de alrededor de 30 cm. El vidrio fundido flota y avanza horizontalmente hasta enfriarse y solidificarse a 600 °C, para continuar con otros procesos, dependiendo de la composición, tinte o grosor requeridos. Para evitar la oxidación del metal, el proceso se lleva a cabo en una cámara con atmósfera reductora, haciendo pasar una corriente de nitrógeno con 0.5% de hidrógeno.

No es necesario el desbaste y/o pulido mecánico posterior, ya que se obtiene una lámina de vidrio perfectamente pulida por ambas caras. En la cara inferior, la superficie libre de estaño sobre la que se desliza el vidrio le proporciona un pulido de espejo, en tanto que, en la parte superior se lleva a cabo un pulido a fuego. Desde la invención de este proceso, se ha logrado incrementar la longitud de las placas de vidrio hasta 6 metros, con casi una perfección óptica y un espesor que ha pasado de 6 mm a 25 mm a velocidades cada vez mayores y que implican menos consumo de energía.

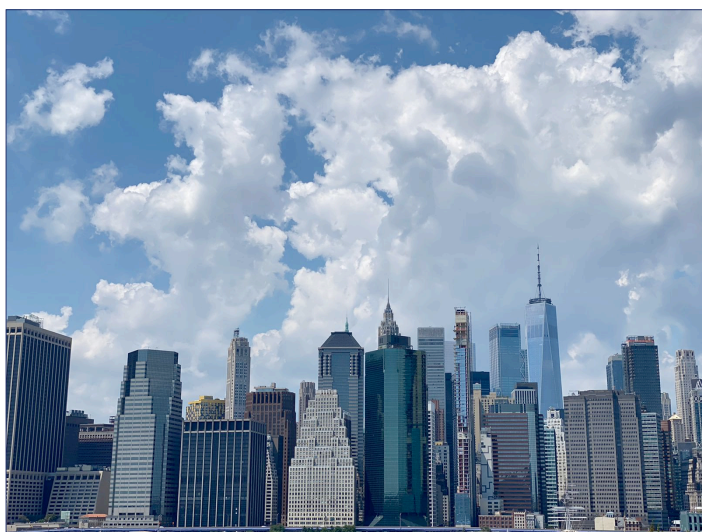


Figura 1. Edificios con grandes ventanales o con macroestructuras de vidrio plano. Foto: Luis Tegho

Otras aplicaciones del estaño en la industria

Además de las aplicaciones mencionadas, para prevenir la corrosión de metales expuestos al aire y su uso en la fabricación del vidrio plano, el estaño se utiliza en varias industrias, incluyendo la artesanía y la escultura (Tabla 3).

Tabla 3. Aplicaciones del estaño en diversas industrias

Industria o Actividad	Aplicación
Alimenticia	Protege al hierro y al acero utilizados en las latas de conserva. Al prohibirse el uso del Pb en el sobre taponado, se utilizan cápsulas de Sn en las botellas de vino.
Arte	Protege las esculturas metálicas de la corrosión.
Artesanías	El repujado de láminas de estaño para grabados y objetos ornamentales es una artesanía que se produce principalmente en América (Figura 2).
Cerámicas	El SnO ₂ tiene un alto índice de refracción, por lo que se agrega a los esmaltes cerámicos para que sean opacos o para blanquearlos.
Conservador de madera, papel y textiles	El óxido de tributil estaño (Figura 3) tiene propiedades biocidas, principalmente en hongos y algas. Se utilizó también en pinturas anti-incrustantes en barcos, pero se prohibieron desde 2008 por el daño que ocasionaban a las especies marinas.
Decoración	El papel de estaño es más grueso y resistente que el de aluminio y se produce en múltiples colores para envolturas y adornos.
Etiquetado	El Sn es ampliamente usado en etiquetado de maquinaria y equipo, ya que no se corroe.
Electrónica	Se usa para fabricar soldadura blanda de Sn-Pb.
Galvanizado	Se utiliza el SnCl ₂ para el estañado de accesorios de las industrias de la televisión y electromecánica, entre otras, por su facilidad en el soldado y su gran penetración.
Jabones	Los compuestos orgánico-estañosos se aplican para estabilizar olores y sabores en los jabones.
Joyería	El estaño ha sido usado en joyería desde tiempos inmemoriales. La aleación con plomo era muy utilizada, pero este tóxico metal ya se ha eliminado, sustituyéndolo por bismuto.
Química	En tintes, pastas de dientes como SnF ₂ , síntesis de otros productos y múltiples catalizadores.



Figura 2. Artesanía con repujado de estaño.

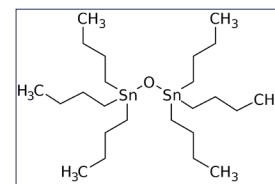


Figura 3. Estructura del óxido de tributil estaño

Fuente: Wikipedia

Abundancia y obtención

El estaño es un metal poco abundante, en relación a otros metales, como el hierro o el cobre, ya que su concentración es alrededor de 2 ppb en la corteza terrestre. Se obtiene principalmente del mineral casiterita (SnO₂), cuyos principales productores son: China, Indonesia y Birmania, mientras que en México existen algunas vetas de estaño en Zacatecas, Durango y Aguascalientes.

Implicaciones en la salud y el medio ambiente

El estaño y sus compuestos inorgánicos son aparentemente no tóxicos. Cantidades de hasta 300 ppm disueltas en algunos alimentos envasados o en recipientes de cocina, no se consideran perjudiciales; no obstante, los compuestos orgánicos del estaño, que cada vez tienen más aplicaciones en la industria, pueden ser absorbidos por la piel de los seres vivos, acumularse y generar una toxicidad muy alta. Un ejemplo es el óxido de tributil estaño utilizado en pinturas de muelles, puertos y barcos por su alta capacidad de eliminar hongos y algas que forman verdaderas capas en la parte inferior de los barcos, incrementando el peso y el gasto de energía de las naves. Sin embargo, estos compuestos se acumulaban en los sedimentos y dicha letalidad también actúa sobre los peces, el plancton y otras especies acuáticas, por lo que se prohibió su uso desde el año 2008 en superficies que tienen contacto con cuerpos de agua. Asimismo, la inhalación y/o consumo de compuestos orgánicos de estaño pueden deteriorar el sistema respiratorio y el nervioso, por lo que es necesario realizar más investigaciones sobre dichos compuestos, para que se sustituyan por otros menos tóxicos.

Contribución al cumplimiento de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) de la agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU)

Como se ha visto a lo largo de este manuscrito, el estaño es un metal asombroso cuyo uso ha prevalecido desde hace más de 6,000 años y que sigue sorprendiéndonos con aplicaciones en la vida moderna. El estaño y sus compuestos se utilizan en muchas industrias, algunas emergentes, que contribuyen al cumplimiento del Objetivo 9 de Industria, Innovación e Infraestructura. Su participación clave en la producción de más del 80% del vidrio plano producido en el mundo, lo hace un elemento que aporta también al Objetivo 11 de Ciudades y Comunidades Sostenibles. Su uso como foto-calizador para el tratamiento de aguas residuales que contienen compuestos orgánicos como fármacos y otros contaminantes emergentes, contribuye al Objetivo 6 de Agua y Saneamiento.

Aunque, como se mencionó anteriormente, los compuestos de estaño pueden ser muy tóxicos para los seres vivos, se han estado utilizando compuestos órgano-estánicos como medicamentos contra el cáncer, y se ha reportado que podrían sustituir al cisplatino, ya que presentan una mayor cito-toxicidad y selectividad hacia las células cancerosas, por lo que se puede decir que este elemento químico también contribuye al Objetivo 3 de Salud y Bienestar.



Figura 4. Objetivos del Desarrollo Sostenible a los que contribuye el elemento estaño.

Referencias

1. Arjmand F., Parveen S., Tabassum S., Pettinari C. Organotin antitumor compounds: their present status in drug development and future perspectives. *Inorg. Chim. Acta.*, 423 (2014), pp. 26-37
2. Art popular mexicano al estilo FONART/FONART's style in Mexican popular art. México, D. F.: Fondo Nacional para el Fomento de las Artesanías. 1992. pp.VI-V17.
3. Chang, R., Química. Editorial Mc Graw-Hill. China, 2007.
4. De Grinberg D. M. K. ¿Qué sabían de fundición los antiguos habitantes de Mesoamérica? Parte I Ingenierías, Enero-Marzo 2004, Vol.VII, No. 22.
5. Dickson, T.R. Química Enfoque Ecológico. 2 ed. México D.F. México: Limusa, Noriega Editores, 2013, 102 p
6. Eurotherm web site. Accessed May 31, 2021.
7. <https://www.eurotherm.com/glass-manufacturing-applications/flat-glass-manufacturing/>
8. Karlya Y., Gagg C y Plumbridge W.J., "Tin pest in lead-free solders", en *Soldering and Surface Mount Technology*, 13/1. 2000. 39-40.
9. Lenntech. <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/sn.htm>. Accessed Jun 2. 2021.
10. Luque Morales P.A. y León Alcantar E. 2019. Revista Ciencia y Cultura. Estaño C₂. Accessed May 20, 2021. <https://www.revistac2.com/estan>
11. McLellan J.W., Shand E. B. *Glass Engineering Handbook*, McGraw-Hill, U.S.A., 1984
12. Penhallurick, R. D. *Tin in Antiquity: its Mining and Trade Throughout the Ancient World with Particular Reference to Cornwall*, London: The Institute of Metals. 1986.
13. Phillips, S. L., and Perry, D.L., *Handbook of Inorganic Compounds*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1995.
14. The Periodic table of Elements. <https://www.webelements.com/index.html>. Accessed May 18, 2021
15. Trifonov, D.N. and Trifonov, V.D. *Chemical Elements: How they were discovered*. 2nd ed. Mir Publishers, 1982.
16. Wang, Da & et al, *Applied catalysis a: General*, 2016, vol. 527, p. 60-71
17. Wikipedia.
18. <https://es.wikipedia.org/wiki/Estaño>. Accessed May 24, 2021.