

Un ciclo de compuestos de plomo como modelo de experimentos con productos peligrosos

Francisco J. Arnáiz, María R. Pedrosa, Aranzazu Mendía, Susana Arnáiz y Rafael Aguado*

Abstract (A cycle on lead compounds as a model of experiments with hazardous products)

The aim of this paper is to illustrate how hazardous compounds can be conveniently studied by a combination of microscale techniques and cycles in order to minimize risks and production of wastes. Here we propose a simple four-step cycle involving essentially quantitative transformations of lead and some representative lead(II) compounds –acetate, iodide and oxide.

con un determinado experimento pueden alcanzarse con otro similar de menor riesgo la sustitución es siempre aconsejable. Sin embargo, la eliminación de experimentos relevantes por el simple hecho de implicar productos peligrosos merece un detenido análisis para balancear los pros y contras en cada situación particular.

Por nuestra parte creemos que, salvo en los casos en que un determinado producto sea de elevada toxicidad, no se debe de impedir que los alumnos aprendan aspectos de la química considerados como relevantes. Es más, desde una perspectiva puramente pedagógica creemos inapropiado enseñar al alumno a ignorar los problemas; nos parece mucho más adecuado enseñarle a encararlos, desarrollando estrategias para resolverlos del modo más racional.

Los sencillos experimentos que aquí proponemos sobre el plomo no implican ninguna novedad en la química de este elemento. Nuestra pretensión es únicamente ilustrar cómo se pueden estudiar materiales tóxicos de modo suficientemente seguro, tanto para el alumno como para el entorno, mediante la combinación de técnicas a microescala con el diseño de ciclos de reutilización de los productos de mayor impacto medioambiental.

Aunque existe una amplia variedad de experimentos implicando compuestos de plomo apenas si hay propuestas con alguna de las características antes apuntadas (Scaife, 1990; Cortel, 1997). El ciclo que se representa a continuación contiene dos experimentos (lluvia de oro y burbujas de plomo) que pueden desarrollarse cómodamente en una sesión normal de laboratorio de tres horas; y otros dos (óxido y acetato de plomo) que requieren varias horas, aunque muy escasa atención, de modo que pueden realizarse en sesiones esencialmente dedicadas a otros experimentos.

Introducción

La importancia de la realización de actividades de carácter experimental en el aprendizaje de la Química no es materia cuestionable. En la práctica el problema puede aparecer al momento de seleccionar experimentos que sean suficientemente ilustrativos de lo que se pretende evidenciar (principios básicos, comportamientos relevantes, alcance de técnicas,...), suficientemente atractivos para constituir un elemento motivador del alumno, y realizables con los materiales disponibles sin riesgo significativo.

Como consecuencia de la creciente conciencia colectiva de la importancia de la protección tanto de las personas como del medio ambiente se impone cada vez más el desarrollo de actividades de laboratorio prestando especial atención a la seguridad individual en el sentido más amplio y a la minimización en la generación de xenobióticos.

Dentro de esta corriente se enmarca la discutible tendencia en algunos laboratorios a eliminar los experimentos implicando productos tóxicos (Wilcox, 1993). Cuando los objetivos que se persiguen

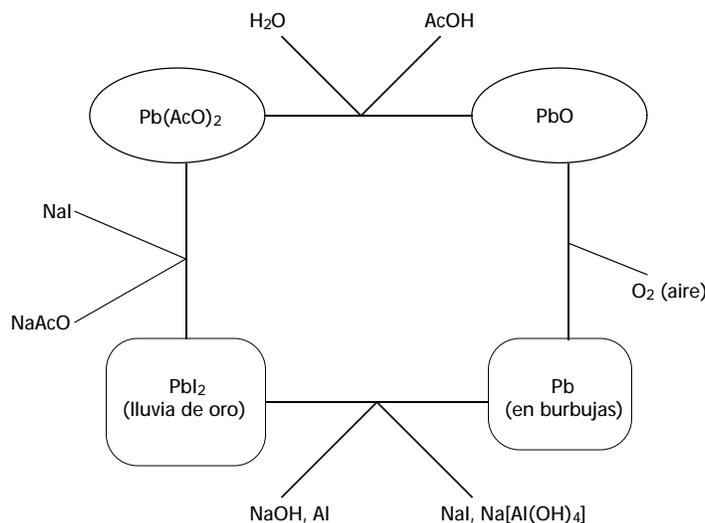
Presentado en parte en el II Simposio sobre Docencia de las Ciencias Experimentales en la Enseñanza Secundaria, Madrid, 11-13 de septiembre de 1998.

* Departamento de Química, Universidad de Burgos, 09001 Burgos (España). Email: farnaiz@ubu.es

Recibido: 2 de abril de 1999; Aceptado: 13 de agosto de 1999.

Lluvia de oro (suspensión de PbI_2 microcristalino)

Preparar previamente disoluciones 0.1 M de acetato de plomo(II) disolviendo 9.48 g de $Pb(AcO)_2 \cdot 3H_2O$



en 250 mL de agua,¹ y 0.2 M de yoduro de sodio² disolviendo 7.49 g de NaI en 250 mL de agua.

En un tubo de ensayo se coloca una pequeña porción (de 1 a 2 cm de altura) de disolución de acetato de plomo. En otro tubo se coloca un volumen algo superior de la disolución de yoduro sódico.³

Se añade la disolución de yoduro sobre la de plomo. La formación de un precipitado amarillo de PbI_2 es inmediata.

Se sumerge el tubo en un baño de agua hirviente. A los pocos segundos se aprecia la formación de una disolución prácticamente incolora. Seguidamente se sumerge el tubo en agua helada.⁴ Se produce así la cristalización del yoduro de plomo en forma de escamitas brillantes, comúnmente conocida como lluvia de oro.

La disolución/precipitación puede repetirse cuantas veces se quiera.⁵

¹ Es importante añadir unas gotas de ácido acético a la disolución para asegurarse de que es ácida a fin de evitar que precipite una mezcla de PbI_2 y $Pb(OH)_2$ que invalidaría el experimento.

² El yoduro de sodio puede sustituirse por otros yoduros solubles como los de potasio o amonio.

³ El ligero exceso de yoduro sobre la cantidad estequiométrica asegura que prácticamente la totalidad del plomo se transforma en yoduro. El uso de una pipeta Pasteur con tetina es preferible a una pipeta graduada para evitar la posibilidad de que algún alumno pueda cargar la pipeta mediante aspiración con la boca.

⁴ Alternativamente, se coloca bajo el chorro de agua fría del grifo. La fuerte dependencia de la solubilidad con la temperatura es característica de muchas sales de plomo.

⁵ Sin embargo, la mezcla se degrada lentamente —especialmente en medio ácido y a la luz— como consecuencia de la oxidación del yoduro hasta yodo.

Burbujas de plomo

La espectacular formación de burbujas de plomo a partir de acetato de plomo ha sido descrita recientemente (Arnáiz, 1998). Pero otras muchas sales de plomo capaces de disolverse en bases fuertes, entre las que se halla el yoduro, se comportan de modo similar.

El contenido del tubo en que antes se ha preparado el yoduro de plomo se trata con un volumen similar de una disolución 4M de NaOH.⁶ La disolución incolora resultante se calienta a 60-80 °C en un baño de agua y, manteniendo el tubo en reposo, se añade una pieza de Al de unos 3 mm. De inmediato se aprecia la liberación rápida de hidrógeno y el crecimiento de una película de plomo en torno a la pieza de aluminio. En pocos segundos se forma una burbuja de Pb que asciende desde el fondo del tubo hasta la superficie alcanzando un diámetro similar al del tubo.⁷ La adición de nuevas piezas de aluminio permite la completa recuperación del plomo inicialmente presente en la disolución, que puede separarse cómodamente de ésta con ayuda de unas pinzas o por decantación.

Óxido de plomo, litargirio

Las láminas de plomo en que se convierten las burbujas al retirarlas del tubo se colocan en un vidrio de reloj tarado, se lavan con agua seguido de acetona (o alcohol) y secan en la estufa a 60-80 °C (o se dejan secar al aire). Luego, una vez pesadas, se calientan en el horno a 300 °C durante tres horas con lo que se transforman cuantitativamente en un polvo de color rojo pardo (PbO , litargirio). Es de notar que esta 'rápida' transformación se debe a la finura de las películas de plomo que se mantiene durante el proceso de oxidación puesto que la temperatura es inferior al punto de fusión del plomo.

⁶ Si la adición se hace gradualmente podrá observarse al principio la transformación del yoduro de plomo amarillo en hidróxido de plomo blanco, y luego la disolución de éste (anfótero) con el exceso de NaOH.

⁷ La burbuja de plomo habitualmente permanece flotando en la superficie durante largo tiempo salvo que se agite el tubo. Si no se dispone de aluminio en gránulos compactos es difícil la obtención de burbujas esféricas de tamaño en torno a 1 cm de diámetro, pero con todo tipo de torneaduras de aluminio, incluso con bolitas de papel de aluminio como el usado en la cocina, se puede apreciar que el plomo tiende a concentrarse en la superficie en forma de espuma compuesta por burbujas de tamaño variable.

Acetato de plomo

El óxido de plomo resultante se calienta con la cantidad teórica, incrementada en el 10%, de ácido acético 4 M. La disolución resultante (el litargirio es fácilmente soluble) se deja cristalizar en un desecador sobre KOH para obtener $\text{Pb}(\text{AcO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Si el acetato de plomo recuperado se va a destinar a los experimentos aquí descritos resulta más conveniente reunir todo el PbO obtenido, pesar la cantidad requerida para la preparación de un determinado volumen de disolución 0.1 M, disolverlo en AcOH como se ha indicado, y transferir cuantitativamente la disolución resultante al matraz aforado.

Elementos motivadores

Se seleccionarán en función del nivel en que se desarrollen estos experimentos y, en su caso, como conectores con otras disciplinas. Algunas sugerencias:

- La fácil producción del plomo (procesos de tostación y reducción) y el empleo masivo del metal en la antigua Roma para canalizaciones.
- Las propiedades físicas (dureza, densidad, punto de fusión, maleabilidad...) que le hacen único entre los metales y su aplicación como aislante acústico y protector frente a radiaciones ionizantes.
- La fuerte tendencia a la disminución del consumo de plomo por su toxicidad, aunque todavía se consumen grandes cantidades en la fabricación de tetraetilo de plomo como aditivo de gasolinas.
- El empleo en, y funcionamiento de, las baterías de plomo.
- El acetato de plomo (tóxico, de sabor dulce, conocido como azúcar de plomo) y el óxido se añadían en la antigüedad al vino para enmascarar el avinagramiento.
- El minio, ilustrativo de compuestos de valencia mixta, todavía muy usado en pinturas para proteger de la corrosión metales fácilmente oxidables.
- La galena, su aspecto metálico, sus propiedades como semiconductor VI-II y su uso en aparatos de radio.
- La bioacumulación del plomo y las estrategias de quelación para su eliminación de organismos vivos.

Actividades asociadas

Algunas sugerencias para seleccionar en función del nivel de la clase:

- Escribir las reacciones que tienen lugar en cada uno de los procesos implicados en el ciclo propuesto.
- ¿Qué ocurriría si añadimos el NaI en defecto sobre el estequiométrico? ¿Y si tratamos el acetato de plomo con un gran exceso de NaI muy concentrado?.
- ¿Qué cantidad de Pb es posible obtener si se parte de 5 mL de disolución 0.1 M de $\text{Pb}(\text{AcO})_2$?
- ¿El hecho de que se formen burbujas de plomo puede guardar alguna relación con la ausencia de aleaciones Pb-Al?
- Proponer un ciclo similar al indicado pero incluyendo como compuestos de plomo(II) sólo el acetato, el yoduro y el carbonato. (Nota: el carbonato de plomo es menos soluble en agua que el yoduro). ¿Permitiría este ciclo reutilizar el NaI, que es un reactivo valioso?
- Diseñar un ciclo implicando al minio junto a los siguientes compuestos de plomo(II): formiato, cloruro, yoduro y carbonato básico. (Nota: el ácido fórmico es un buen reductor.)
- ¿Encuentra alguna explicación al hecho de que sales como cloruro, nitrato y acetato de plomo(II) son incoloros mientras el sulfuro es negro? ¿A qué puede atribuirse el hecho de que el yoduro de plomo sólido sea amarillo pero la disolución acuosa sea prácticamente incolora?
- El ácido etilendiamino tetraacético (AEDT) fue utilizado para facilitar la secreción de plomo en enfermos de saturnismo. ¿Por qué es preferible utilizar la sal cálcica del AEDT?

Referencias

- Arnáiz, FJ; Pedrosa, MR, Lead Globules, *J. Chem. Educ.*, **1998**, 75, 1431.
- Cortel, A, Equilibrium with Fried Eggs of PbI_2 and KPbI_3 , *J. Chem. Educ.*, **1997**, 74, 297.
- Scaife, CW; Hall, CD, Recycling Lead(II) Halides from Solubility Experiments, *J. Chem. Educ.*, **1990**, 67, 605.
- Wilcox, MF; Koch, JG, A Freshman Laboratory Program without Chromium, *J. Chem. Educ.*, **1993**, 70, 488.