Recuperación de oro a partir de residuos de la industria joyera.

Un experimento simple y atractivo para ilustrar las reacciones redox.

RESUMEN

El conocimiento de las reacciones redox, las cuales rigen muchas reacciones inorgánicas, es fundamental en la formación de un Licenciado en Química. El interés del alumno por este tipo de reacciones puede ser estimulado mediante el diseño de experimentos simples y atractivos. La recuperación de oro a partir de los residuos generados en la industria joyera es una tarea rutinaria en esta actividad industrial, y sólo necesita de la aplicación de dos reacciones redox. La simulación de este proceso en el laboratorio resulta realmente sencilla, eleva el interés de los alumnos y los introduce en el conocimiento de la propiedades químicas de los elementos del grupo 11.

Luis Sánchez Granados
Doctor en Ciencias Químicas
Profesor Asociado de la Universidad de Córdoba.
Departamento de Química Inorgánica. Facultad de Ciencias.
Campus de Rabanales,
Edificio Marie Curie (C-3).
Universidad de Córdoba.
14071 – Córdoba.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las reacciones redox en Química Inorgánica resulta fundamental para comprender el comportamiento químico de los compuestos inorgánicos. En la enseñanza de la química experimental se ha de procurar despertar el interés de los alumnos mediante la realización de experimentos atractivos a sus intereses. Una experiencia que se puede proponer para conseguir este objetivo, entre otras muchas, sería la de mostrar la aplicabilidad de las reacciones redox en el campo de la industria. En este caso, resulta bastante interesante explicar como las reacciones redox son utilizadas en la recuperación de metales nobles como el oro.

La industria joyera es una actividad muy común en todo el mundo y de gran arraigo popular en nuestro país, en el que la mayoría de los trabajos realizados con oro son llevados a cabo en pequeñas industrias familiares. Los recursos y conocimientos de este tipo de industrias son normalmente limitados e inadecuados para resolver algunos de los problemas básicos que surgen en su trabajo, entre los que destacan la necesidad de conocer la riqueza exacta del oro que se manipula, así como la recuperación completa de este metal a partir de los residuos que se generan en este trabajo.

Durante la manufactura de las joyas de oro, el trabajador realiza una serie de operaciones (pulido, engaste, etc.) durante las cuales muchas pequeñas partículas de oro se desprenden sobre su mesa de trabajo, y allí se mezclan con otras pequeñas partículas de cera, plástico, resina, algodón o mismamente polvo, que también surgen como residuos de la manipulación del oro, conformando todo ello una misma basura. El alto precio de este metal hace necesario su recuperación de la basura generada. En este trabajo se describe el método químico más frecuentemente utilizado en el afinado de oro. Así, mediante el empleo de reacciones redox el oro contenido en esta basura es disuelto y posteriormente precipitado como metal.

En un principio, el alto precio del oro metal puede suponer un rechazo a realizar esta experiencia como práctica de enseñanza de laboratorio. No obstante, su realización es razonablemente justificada por el alto rendimiento de las reacciones implicadas (> 98 %, lo que apenas supone consumo del reactivo original), y las pequeñas cantidades requeridas de este metal.

DESARROLLO

Antes de comentar el desarrollo experimental se ha de advertir sobre las medidas de seguridad que debieran de adoptarse en este experimento. Como en muchos otros experimentos, el empleo de disoluciones fuertemente ácidas con metales origina el desprendimiento de gases nocivos (e.g. NO_2 o Cl_2). Por ello, es de obligado cumplimiento el uso guantes y gafas para evitar posibles salpicaduras ácidas, así como trabajar en una campana de gases que evite las intoxicaciones por inhalación de gases.

La basura que se genera en la industria joyera se puede simular mediante la mezcla al 50 % de pequeñas partículas de oro de 18 quilates con también pequeñas partículas de algunos o todos de los siguientes componentes: cera, plástico, resina y algodón. Primero, se prepara 25 mL de agua regia mezclando HCl y HNO_3 en relación 3/1. A continuación, se añade cuidadosamente 5 mL de la solución ácida, en pequeñas porciones, a un vaso de precipitados en el que previamente se había colocado un gramo de la basura de oro anteriormente preparada. La solución se mantiene a 80 °C con agitación continua hasta que finalice la emisión de los gases NO_2 y Cl_2, y se obtenga una disolución de color amarillo intenso. En este momento nos habremos asegurado la completa disolución de las partículas metálicas de oro presentes en la basura. Durante este tratamiento ácido, una masa de componentes inertes permanecerá sobrenadando en la solución. Por ello, y una vez que ésta se deja enfriar, se procede a su filtración

lavándose tanto los insolubles como los contenidos del vaso varias veces con agua destilada. Esta operación permite recoger por completo toda la disolución de oro y de este modo no tener pérdidas en el rendimiento del proceso.

Posteriormente, la disolución de oro se mezcla con 50 mL de una disolución de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.35 M recién preparada. Rápidamente ocurre un cambio en el color original y la disolución se vuelve roja-oscura junto con la aparición de un abundante precipitado de color ocre. La solución de deja en agitación continua con el fin de asegurar la completa reacción. Finalmente, el precipitado se recoge mediante filtración y se lava con abundante agua.

DISCUSIÓN

El oro que se utiliza en la industria joyera es una aleación Au-Cu-Ag en la que la proporción de oro varía entre un 42 y 99.9 %, lo que se denomina oro entre 10 y 20 quilates, respectivamente (1). Este sistema de tres elementos mejora las propiedades mecánicas y físicas del oro elemento (dureza, maleabilidad, punto de fusión, etc...) para su mejor manipulación en varias aplicaciones (1), además de abaratar su coste. Por tanto, ha de tenerse en cuenta la presencia de estos tres elementos en la reacción química.

Dado que el agua regia caliente es un poderoso agente oxidante, cuando se añade sobre la aleación de oro origina la inmediata emisión de abundantes gases NO_2 (de color pardo) y Cl_2, y la oxidación de los elementos metálicos de acuerdo con la siguiente reacción:

$$Au + 6\,HCl + 2\,HNO_3 \rightarrow AuCl_4^- + 2\,NO_2(g) + Cl_2(g) + 2\,H_2O + 4\,H^+ \quad [1]$$

El proceso redox completo que tiene lugar se puede escribir mediante las semireacciones siguientes:

$$Au - 3\,e^- \rightarrow Au^{3+}$$
$$HNO_3 + H^+ + 1\,e^- \rightarrow NO_2(g) + H_2O$$

No obstante, el proceso redox no resulta ser tan simple como se describe en la ecuación 1. La mezcla de ácido nítrico con un exceso de ácido clorhídrico concentrado conlleva la formación del cloruro de nitrosilo (2), el cual se piensa que es el principal agente presente en el agua regia y que se descompone por reacción con el oxígeno atmosférico.

$$HNO_3 + HCl \rightarrow NOCl + Cl_2(g) + 2\,H_2O \quad [2]$$
$$NOCl + 1/2\,O_2 \rightarrow NO_2(g) + 1/2\,Cl_2(g) \quad [3]$$

De este modo, las fases gaseosas que se originan en la reacción de la ecuación 1 proceden tanto de la reacción redox ocurrida entre las especies Au y NO_3^- como de la descomposición del NOCl.

La presencia de iones Au^{3+} en la disolución es identificada por la aparición del característico color amarillo intenso del complejo $AuCl_4$- (3-5). La plata y cobre, también presentes en la aleación, son a su vez oxidados a sus más altos estados de oxidación. El exceso de iones haluro presentes en la disolución origina la precipitación de los iones Ag^+ como AgCl (1).

Sin embargo, los haluros de cobre que se forman durante la reacción son más difíciles de identificar. El fuerte agente oxidante utilizado debe permitir, sin duda, la formación de iones Cu^{2+}, los cuales se deben aparecer formando el complejo $CuCl_4^{2-}$ de color verde (5, 6). Sin embargo, al finalizar la reacción redox, no se observa ningún cambio de coloración en la disolución amarilla, lo que indica la ausencia de iones Cu^{2+} en la misma. Probablemente, esta evidencia tan sólo pueda ser nítidamente observada cuando la cantidad inicial de cobre en la aleación de oro sea suficientemente grande.

Por otra parte, también es conocido que el cobre metálico es atacado por el ácido clorhídrico concentrado dando lugar a iones Cu^+ (6) , los cuales rápidamente complejan con el ión cloruro para formar el precipitado CuCl, de color blanco. Este haluro cuproso posee una baja solubilidad, que se incrementa por exceso de iones haluro, con lo que ocurre la formación de las especies $CuCl_2^-$ y $CuCl_3^{2-}$ en disolución. Por tanto, ambas posibilidades pueden ser consideradas, es decir, la presencia de cobre en la disolución y/o como precipitado.

En cualquier caso, resulta muy difícil distinguir la aparición de los precipitados de CuCl y AgCl, ya que una gran cantidad de materia inerte es separada junto con ellos durante el proceso de filtración.

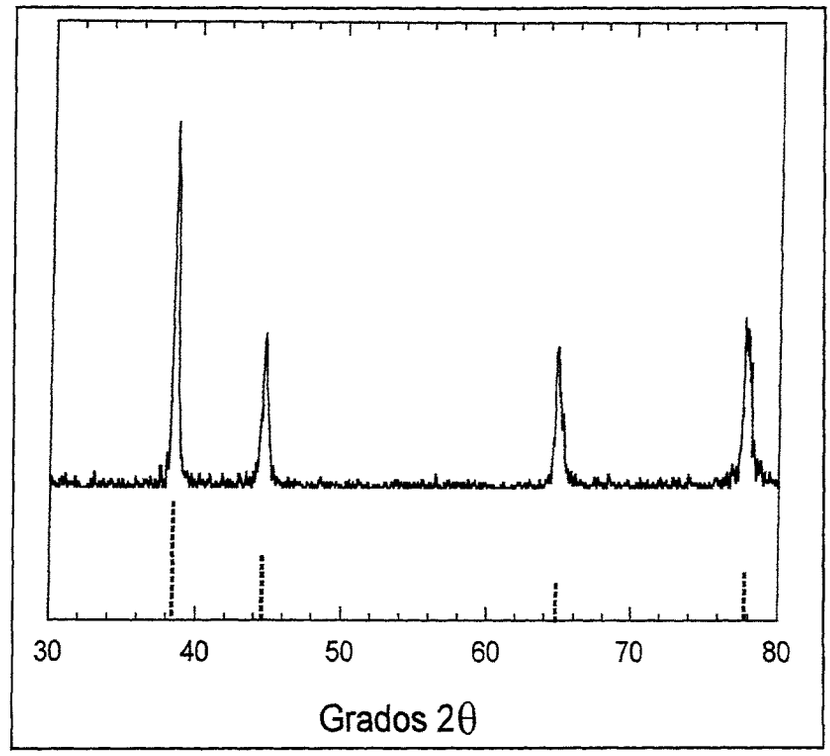

Figura 1: ***Registro de difracción de rayos X correspondiente al oro precipitado. El patrón JCPDS correspondiente al Au elemento se representa en líneas discontinuas.***

Tabla I: Potencial estandar en medio ácido ($E_a°$) para los elementos Au, Cu y Fe.

Par redox	Au(III)/Au(0)	Cu(II)/Cu(0)	Cu(II)/Cu(I)	Cu(I)/Cu(0)	Fe(III)/Fe(II)
Ea° (V)	1.5	0.34	0.15	0.52	0.76

Cuando la disolución de Au^{3+} se mezcla con la disolución de Fe^{2+}, ocurre un proceso redox en el que los iones trivalentes de oro son reducidos a su estado metálico. Aun suponiendo la presencia de iones cobre en la disolución, estos no interferirán ni coprecipitarán junto con el Au elemento, ya que su poder oxidante no resulta lo suficientemente fuerte para favorecer la oxidación de los iones Fe^{2+}, Tabla I.

La aparición del tricloruro de hierro origina un color rojo oscuro en la solución:

$$HAuCl_4 + 3\ FeSO_4 \rightarrow Au\ (s) + Fe_2(SO_4)_3 + FeCl_3 + HCl \qquad [4]$$

Este proceso redox selectivo, representado en forma simplificada en la ecuación 4, origina oro metálico puro cuya apariencia resulta ser la de un material pulverulento de color ocre.

El alumno podrá comprobar la pureza del producto obtenido realizando dos experimentos adicionales:

I) Utilizando la técnica de difracción de rayos X se obtiene un registro correspondiente al producto obtenido como el que se presenta en la Figura 1. En este se puede observar como las únicas reflexiones que aparecen son las que se corresponden con el patrón del oro elemento (7), con lo que se confirma la ausencia de cualquier otro elemento metálico como impureza. La anchura observada en las reflexiones es característica de un material pobremente cristalino, lo que resulta de la rápida precipitación ocurrida durante el segundo proceso redox.

II) Las aleaciones de oro utilizadas en joyería son fáciles de fundir gracias a la presencia de cobre y plata en la mismas, las cuales rebajan el punto de fusión de la mezcla. En cambio, se puede comprobar como resulta difícil fundir el material obtenido a la llama de un soplete, indicación física de la pureza del mismo.

Por otra parte, todo el proceso comentado no sólo tiene utilidad en la recuperación de oro, sino que también se puede utilizar como método cuantitativo de afinamiento del mismo. De este modo, por pesada del producto final se conoce la calidad (quilates) de una pieza de oro original.

En conclusión, el oro metal es recuperado de la basura originada en una industria joyera mediante el empleo de dos reacciones redox simples. Este proceso se puede llevar a cabo de una manera bastante simple en el laboratorio, atrayendo la atención de los alumnos sobre las reacciones redox e introduciéndolos en la química de los elementos del grupo 11.

REFERENCIAS

1.- Massey, A. G.; Thompson, N.R.; Johnson B.F.G. and Davis R.; The Chemistry of Copper, Silver and Gold. Pergamon Press, Oxford (1975).

2.- Jone K., The Chemistry of Nitrogen, 1ª Edición, Pergamon Press, Oxford, 1973.

3.- Bergendahl T. J., *J. Chem. Educ.* *52* (1975) 731-732

4.- Parish R.V., The Metallic Elements, 1ª Edición, Longman Group Limited, London, 1977, Capitulos 3 y 5.

5.- Cotton F.A., Wilkinson G., Advanced Inorganic Chemistry, 4ª Edición, John Wiley & Sons Inc., 1986, Capitulos 21 y 22.

6.- Rayner-Canham G., Descriptive Inorganic Chemistry, 2ª Edición, Freeman, New York, 2000, Capitulo 19.

7.- Inorganic Phases , International Centre for Diffraction Data, 1989. Ficha nº 4-784.