

LA ENSEÑANZA DE LOS CONCEPTOS DE OXIDACIÓN Y REDUCCIÓN CONTEXTUALIZADA EN EL ESTUDIO DE LAS REACCIONES DEL AGUA OXIGENADA CON DISTINTOS REACTIVOS

Adrián Barroso Bogeat¹*, Víctor Encinas Sánchez², Florencio Granados Sánchez²

¹Departamento de Química Orgánica e Inorgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Extremadura, Avda. de Elvas s/n, 06006 Badajoz, España

²Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de los Materiales

*Corresponding autor: adrianbogeat@unex.es

Resumen

En el presente trabajo se expone una metodología simple, eminentemente práctica y muy intuitiva dirigida a facilitar y mejorar el aprendizaje de los conceptos básicos de los procesos de oxidación-reducción por parte de los alumnos de educación secundaria. Esta metodología se basa en la contextualización de los procesos anteriores a través de las reacciones de una sustancia familiar para los estudiantes, como es el agua oxigenada, con distintos reactivos químicos de fácil adquisición. Las experiencias de laboratorio propuestas recurren a fenómenos sensoriales, tales como cambios de color, sonidos y desprendimiento de gases, con objeto de facilitar la captación y asimilación de las reacciones redox por parte de los escolares.

Palabras clave: oxidación-reducción, agua oxigenada, contextualización, experiencias de Química.

Abstract

This paper presents an easy, mainly practical and very intuitive methodology aimed at improving the learning of the basics of redox processes by the high school students. This methodology is based on the contextualization of the aforementioned processes through the reactions of a well-known substance to students, such as hydrogen peroxide, with several chemical reagents easily available. Proposed laboratory experiments make use of sensory phenomena, such as colour changes, sounds and gaseous release, in order to facilitate the assimilation of redox reactions by the students.

Keywords: oxidation-reduction, hydrogen peroxide, contextualization, Chemistry experiments.

Introducción

Las reacciones de oxidación-reducción, también denominadas habitualmente como procesos redox, constituyen un grupo muy importante de reacciones químicas en las que cambia el estado o grado de oxidación de las especies reaccionantes, es decir, basadas en la transferencia de electrones entre dos especies químicas [1]. En consecuencia, estas reacciones implican la existencia de dos procesos simultáneos, uno de cesión de electrones, conocido como oxidación, y otro de captación de electrones, denominado reducción. La especie que cede electrones es el agente reductor, o simplemente reductor, mientras que la especie que los acepta es el oxidante o agente oxidante.

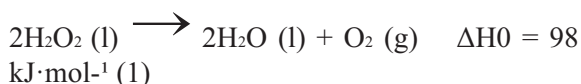
Las reacciones redox poseen una gran importancia desde un punto de vista tanto industrial como biológico. En los seres vivos, este tipo de reacciones intervienen en procesos fundamentales para la vida como son la respiración y la fotosíntesis [2].

La experiencia docente acumulada en el campo de la didáctica de la Química ha puesto de manifiesto que los procesos redox son uno de los temas más difíciles de asimilar para los alumnos de educación secundaria y, en consecuencia, más complejos y arduos de transmitir para un docente. En el estudio y aprendizaje de estos temas se ha detectado que, incluso en los primeros cursos de titulaciones científicas universitarias, los estudiantes suelen presentar serios problemas para comprender e identificar conceptos fundamentales, como por ejemplo estado de oxidación, agente oxidante, agente reductor, transferencia de electrones, potencial de reducción o influencia del pH [3]. Probablemente, una de las causas de estas dificultades resida en la enseñanza superficial y eminentemente memorística de tales conceptos en los niveles educativos previos a la Universidad, sin hacer el necesario hincapié en la comprensión y análisis de los mismos. Un estudio realizado por De Jong reveló una serie de errores típicos cometidos por los docentes durante la exposición del tema de procesos de oxidación-reducción, entre los que cabe destacar el empleo de un lenguaje y una terminología confusos para los estudiantes [4]. A este problema podrían unirse otras dificultades intrínsecas a la enseñanza de la Química ya apuntadas por otros autores, tales como la existencia de tres niveles de descripción

de la materia: macroscópico (observacional), microscópico (atómico-molecular) y representacional (símbolos, fórmulas, ecuaciones), entre los que los estudiantes deben moverse con cierta facilidad [5].

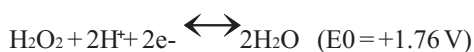
En el presente trabajo se desarrolla una metodología simple, intuitiva, eminentemente práctica y basada en la contextualización a través de sencillas experiencias de laboratorio, cuyo objetivo fundamental es salvar los problemas típicos inherentes a la enseñanza de los procesos redox y, en especial, el abismo existente entre los diferentes niveles de descripción de la materia. Para ello, las experiencias de laboratorio descritas a continuación persiguen que los alumnos de educación secundaria comprendan y asimilen de una forma sencilla y divertida los conceptos básicos de los procesos de oxidación-reducción, demostrándoles que los fenómenos experimentados por la materia a nivel macroscópico (cambios de color, desprendimiento de gases, etc.) están íntimamente relacionados, y provocados en última instancia, por cambios en su nivel microscópico (transferencia de electrones entre dos sustancias).

Para la contextualización de los procesos redox se optó por seleccionar experiencias sencillas y vistosas en las que interviene el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), también conocido como agua oxigenada, como reactivo. El H_2O_2 se descompone fácilmente por calentamiento, por exposición a la luz solar o por la presencia de catalizadores como álcalis o cationes de metales pesados, de acuerdo con la siguiente reacción [6,7]:



Como puede comprobarse, la reacción anterior es una desproporción o dismutación, puesto que la misma sustancia (en este caso el H_2O_2) actúa al mismo tiempo como agente oxidante, reduciéndose a agua (H_2O), y como agente reductor, oxidándose a oxígeno (O_2).

El H_2O_2 es un poderoso agente oxidante, a tenor de su elevado valor de potencial de reducción a $\text{pH}=0$:



Además, el H_2O_2 también puede actuar como agente reductor frente a sustancias que sean agentes oxidantes más enérgicos que él mismo. siendo en este caso la semirreacción de redu



Por todo lo anterior, el H_2O_2 se considera un reactivo muy apropiado y atractivo para transmitir a los alumnos la “relatividad” de los conceptos de oxidación-reducción, demostrándoles de una forma sencilla y práctica como una misma sustancia puede actuar como agente oxidante o reductor en función de la otra sustancia que reaccione con ella. Así, a continuación se exponen experiencias de laboratorio basadas en las reacciones del H_2O_2 con dos reactivos, ion permanganato (MnO_4^-) e ion yoduro (I^-), que ilustran el comportamiento del agua oxigenada como agente reductor y oxidante, respectivamente.

Las experiencias de laboratorio propuestas en este trabajo han sido fruto de la experiencia acumulada en diversas actividades divulgativas realizadas con alumnos de distintos niveles de educación secundaria y Bachillerato a lo largo de varios cursos académicos. Así, durante los cursos 2010-2011, 2011-2012 y 2012-2013, se ha venido desarrollando en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Extremadura (UEX) un programa de difusión de los nuevos títulos de Grado implantados en la Facultad y adaptados al nuevo Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), entre los que se encuentra el Grado en Química. Este programa transversal contemplaba el desarrollo de múltiples acciones, entre las que destacan visitas guiadas a los distintos laboratorios y dependencias de la Facultad de Ciencias por parte de alumnos de 3º y 4º curso de Educación Secundaria Obligatoria pertenecientes a Institutos de Enseñanza Secundaria repartidos por toda la Comunidad Autónoma de Extremadura. Paralelamente, también se ha desarrollado durante los cursos académicos 2010-2011 y 2011-2012, y con motivo de la celebración del Año Internacional de la Química 2011, el programa de innovación educativa titulado “Importancia de la Química en la Sociedad”, con amplia participación de las principales áreas implicadas en la docencia en el Grado en Química.

Materiales

1. Disolución de permanganato de potasio (KMnO_4), aproximadamente 0.1 M.
2. Disolución de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), pudiéndose emplear a tal efecto el agua oxigenada comercial.
3. Disolución de yoduro de potasio (KI), aproximadamente 0.1 M.

4. Disolución de ácido clorhídrico (HCl) diluida.

5. Tubos de ensayo de vidrio.

6. Pipetas Pasteur equipadas con una pera de goma.

7. Gradilla.

Como puede comprobarse, los reactivos y materiales empleados en estas experiencias son, en su gran mayoría, fácilmente asequibles y de bajo coste económico. Es preciso señalar que, en ningún caso, la descomposición del agua oxigenada líquida resulta explosiva. Por el contrario, los vapores de H_2O_2 sí pueden descomponerse de forma explosiva. A la presión de 1 atm, la mezcla de una disolución acuosa de H_2O_2 de concentración superior al 26 % en volumen con vapor de agua es explosiva en contacto con superficies calientes o dotadas de actividad catalítica [8,9]. Puesto que en estas experiencias se empleará una disolución de H_2O_2 comercial de 10 volúmenes, es decir, de una concentración de aproximadamente el 3 % en masa, es obvio que el riesgo de explosión por contacto con el vapor de agua atmosférico desaparece por completo.

El resto de productos químicos empleados en estas prácticas de laboratorio no se consideran de especial peligrosidad, salvo que sean ingeridos o que entren en contacto directo con los ojos o las mucosas. Por último, señalar que tanto el alumnado como el profesor encargado de la práctica deberían emplear guantes durante el manejo de todos los productos químicos, especialmente la disolución de KMnO_4 , ya que este último provoca manchas de color violeta intenso que se vuelven rápidamente marrones y tardan bastante tiempo en desaparecer por completo.

Procedimiento experimental

En primer lugar, se preparan las siguientes disoluciones acuosas:

a) Disolución de KMnO_4 aproximadamente 0.1 M: se pesan aproximadamente 15.8 g de KMnO_4 y se disuelven en 1 L de agua destilada.

b) Disolución de KI aproximadamente 0.1 M: se pesan aproximadamente 16.6 g de KI y se disuelven en 1 L de agua destilada.

c) Disolución de HCl diluida: se disuelven 1 ó 2 mL de HCl comercial en 1 L de agua destilada.

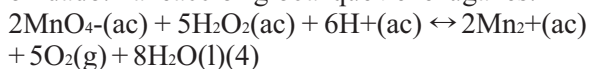
Nota: estas disoluciones son estables durante bastante tiempo, pudiéndose almacenar en botes bien cerrados, a excepción de la disolución de KMnO_4 , que debe mantenerse en botes de color topacio, evitando así su contacto directo con la luz.

En una gradilla se disponen sucesivamente tres tubos de ensayo de vidrio. En cada uno de los dos

primeros tubos se añaden unos 5 mL de la disolución de KMnO_4 , mientras que en el tercero se adicionan otros 5 mL de la disolución de KI . A continuación, se añaden con una pipeta Pasteur unas gotas de disolución de HCl en el primero de los tubos de ensayo. Por último, se adicionan con otra pipeta Pasteur unas gotas de agua oxigenada comercial a cada uno de los tubos de ensayo, prestando especial atención a los cambios producidos en cada uno de ellos.

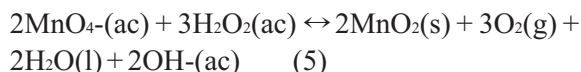
En el primero de los tubos, la disolución de KMnO_4 posee un pH ácido como consecuencia de la adición de unas gotas de HCl diluido. En este punto, puede ser necesario introducir a los alumnos en los conceptos de ácido y base, así como de disoluciones ácidas, básicas y neutras. El concepto ácido normalmente les resulta conocido, puesto que todos han experimentado en alguna ocasión el sabor de sustancias ácidas como el jugo de un limón, pero suelen asociarlo a sustancias corrosivas o peligrosas. Por su parte, las disoluciones neutras suelen relacionarlas con sustancias inocuas o “naturales”, cuyo pH creen que es 5.5, mientras que el concepto de sustancia básica no lo tienen tan claro y, generalmente, les cuesta bastante indicar algún ejemplo [2].

En medio fuertemente ácido, el ion MnO_4^- , que confiere un color violeta intenso a la disolución acuosa, acepta electrones para dar lugar al catión manganeso (II) (Mn^{2+}), que es incoloro en disolución. Para que el ion MnO_4^- acepte electrones, el H_2O_2 se los debe ceder, transformándose en O_2 gaseoso. Por tanto, el ion MnO_4^- se ha reducido, mientras que el H_2O_2 se ha oxidado. La reacción global que tiene lugar es:



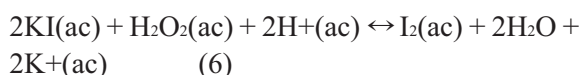
Esta reacción se pone claramente de manifiesto por la decoloración de la disolución de color violeta intenso, así como por un burbujeo intenso indicativo de la liberación de O_2 . Además, esta generación de O_2 podría demostrarse mediante la combustión de un pequeño trozo de papel, previamente encendido con un mechero, y sujeto mediante unas pinzas por el profesor encargado de la experiencia. Los alumnos observarán como la llama se aviva al acercarla a la boca del tubo de ensayo, signo inequívoco de la producción de O_2 durante la reacción.

El segundo de los tubos de ensayo también contiene disolución de KMnO_4 , pero en este caso su pH es neutro. En estas condiciones, al añadir unas gotas de agua oxigenada, la reacción global que tiene lugar es:



En este caso, el ion MnO_4^- y el H_2O_2 se comportan de modo análogo a como lo hacían en la anterior experiencia, es decir, el primero se reduce mientras que el segundo se oxida. Pero en este caso, el ion MnO_4^- se reduce a MnO_2 , un sólido de color marrón intenso que permanece en estado coloidal. Por tanto, los alumnos observarán un cambio de color de la disolución desde violeta intenso a marrón oscuro, que asociarán inmediatamente con el color de la Coca Cola®, acompañado por el burbujeo característico de la liberación de O_2 .

En las dos experiencias anteriores, los estudiantes han podido comprobar el comportamiento del H_2O_2 como agente reductor, es decir cediendo electrones, así como la influencia del pH sobre los productos obtenidos en la reacción de oxidación-reducción. En el tercer y último experimento, se pone de manifiesto el comportamiento opuesto del H_2O_2 , esto es, como agente oxidante o aceptor de electrones. En el tercer tubo de ensayo, que contiene 5 mL de disolución de KI , se adicionan unas gotas de la disolución de HCl diluida preparada y, acto seguido, unas gotas de agua oxigenada. En este momento, los alumnos podrán comprobar como la disolución de KI , de color amarillo muy pálido, se torna rápidamente de un color marrón muy intenso. La reacción global que ocurre es:



El cambio de color se relaciona en este caso con la formación de yodo molecular (I_2), que confiere a la disolución un color marrón muy intenso. Además, es posible que los alumnos asocien este color con el mostrado por el desinfectante y antiséptico comercial Betadine®, puesto que uno de sus principales componentes es el yodo. Como puede comprobarse, en la reacción anterior el ion I^- se ha comportado como agente reductor, cediendo dos electrones que son

captados por el H_2O_2 , siendo éste el agente oxidante.

Conclusiones

En la actualidad se está fomentando una enseñanza contextualizada y atractiva de la Química, que despierte en los alumnos el interés

por la misma, facilitando la captación, el aprendizaje y la asimilación de conceptos fundamentales con un cierto carácter de complejidad, tal y como son los procesos de oxidación-reducción. En este contexto, se ha propuesto una metodología simple y práctica para presentar por primera vez a los alumnos de educación secundaria los conceptos básicos asociados con este tipo de reacciones. Esta metodología, avalada por su aplicación durante varios cursos académicos en las visitas de alumnos de educación secundaria a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Extremadura, se basa en la realización de sencillas experiencias que emplean una sustancia muy familiar para ellos, como es el agua oxigenada. A través de las mismas, los alumnos visualizan como esta sustancia puede comportarse como reductor u oxidante, es decir cediendo o captando electrones, en función del reactivo con el que se le haga reaccionar, todo ello a través de fenómenos llamativos que captan y retienen su atención.

Referencias:

- [1] Burriel Martí, F.; Lucena Conde, F.; Arribas Jimeno, S.; Hernández Méndez, J.; “Química Analítica Cualitativa”, Ed. Paraninfo, Madrid (2002).
- [2] Aguilar Muñoz, M.; Fernández Tapia, M.; Durán Torres, C.; *Educación Química EduQ*, 8 (2011) 23-24.
- [3]<http://gcaballemanri.blogspot.com.es/2011/05/estrategias-con-enfoque-constructivista.html>
- [4] De Jong, O.; Ocampo, J.; Vendonk, A; *Journal of Research in Science Teaching*, 32 1097-1110.
- [5] Jiménez Aleixandre, M. P.; Caamaño, A.; Oñorbe, A.; Pedrinaci, E.; de Pro, A.; “Enseñar ciencias”, Graó, Barcelona, 2003.
- [6] Chang, R.; College, W.; “Química”, 7º Ed., McGraw-Hill, 2002.
- [7] Housecroft, C. E.; Sharpe, A. G.; “Inorganic Chemistry”, 2º Ed., Pearson-Prentice Hall, Essex, England, 2005.
- [8] Abelló, J.; “Industria del agua oxigenada”, <http://ranf.com/pdf/discursos/ina/1954.pdf>
- [9] Aguilar Muñoz, M. L.; Durán Torres, C.; *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8 (2011) 446-453.