

Propuesta experimental, quimioluminiscencia y rapidez de reacción

Macaria Hernández Chávez^{1*}, Diego Adrián Fabila Bustos², Alejandro Cruz Ramírez³

Introducción

Quimioluminiscencia

La quimioluminiscencia es el fenómeno que se produce cuando una reacción química exoérgica produce una especie electrónicamente excitada, produciendo fotones cuando ésta regresa a su estado fundamental; alternativamente se puede definir de manera concreta como una reacción química que emite luz. La reacción química produce la energía suficiente para inducir una transición de un electrón de su estado base al estado excitado. Esta transición electrónica comúnmente es acompañada por un cambio vibracional o rotacional en la molécula. El retorno del electrón al estado base acompañado por la emisión de un fotón se llama quimioluminiscencia; la molécula excitada puede perder energía por medio de conversiones internas o cruce entre sistemas.

El fenómeno de quimioluminiscencia puede ser ilustrado por medio de un diagrama de Jablonski. En la Figura 1, S_0 , S_1 y S_2 indican los estados electrónicos, base, primero y segundo. La reacción química produce que la molécula pueda promoverse a cualquiera de varios niveles vibracionales excitados, tales como S_1 o S_2 . En estos niveles, la molécula experimenta una relajación vibracional al transferir su energía a otras moléculas, típicamente al solvente a través de colisiones. Esta transición sin radiación no emite luz, pero tiene el efecto de calentar el medio circundante y llevar a la molécula a su nivel vibratorio más bajo en S_1 . En este punto, la molécula puede emitir un fotón de luz y relajarse a cualquiera de varios niveles vibratorios en S_0 (quimioluminiscencia).¹

La quimioluminiscencia tiene múltiples aplicaciones en el ámbito de la Química Analítica, Química Clínica, Química Ambiental y Química de los Alimentos.² Una de las aplicaciones más famosas de este tipo de reacciones quimioluminiscentes se presenta en la Química Forense, donde con ayuda del luminol y su reacción con el grupo hemo en la hemoglobina, el átomo de hierro en el centro del anillo porfirínico cataliza la reacción de oxidación del luminol. Se pueden identificar así restos de sangre que ha sido limpiada y que no son visibles a simple vista de una escena del crimen. En una habitación oscura, su presencia se identifica por medio de un resplandor azul y es una prueba válida como evidencia ante los tribunales de justicia.^{3,4}

La cinética química es el estudio de la rapidez con que ocurren las reacciones químicas. Algunos factores que afectan dicha rapidez son: el estado físico del sistema, la concentración y naturaleza de los reactivos, la temperatura y la presión a la que se efectúa la reacción y la presencia o ausencia de un catalizador.⁵

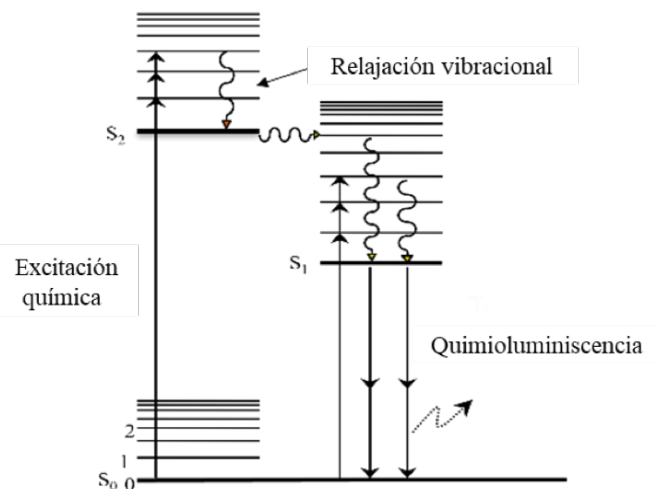


Figura 1. Diagrama de Jablonski.

El reto docente ante el cierre de laboratorios

La pandemia ocasionada por el virus SARS-CoV-2 y el que las escuelas en todos sus niveles se encuentren cerradas desde marzo del año 2020 han impuesto un gran reto en la forma en la que se aprende y enseña experimentalmente a distancia. El laboratorio de Química no es la excepción y es un reto crear una nueva forma de enseñanza-aprendizaje experimental haciendo uso de las TIC y de las bondades de la experimentación a microescala. En la figura 2 se muestran algunas ventajas que los profesores han encontrado sobre la química a microescala en los últimos 15 años, mismas que se presentaron en el XI Simposio Internacional de Química a Microescala por el Dr. Bob Worley⁶ y que se mencionan a continuación:

- ✓ Mejora la seguridad de los experimentos al trabajar a microescala.
- ✓ Se invierte inicialmente en la compra de materiales a microescala y en sus adaptaciones, pero hay una reducción muy significativa en los costos de reactivos y materiales que se sustituyen con respecto al trabajo a escala laboratorio.
- ✓ Se implementan los principios de la Química Verde, principalmente en la reducción muy significativa de residuos,

¹Laboratorio de Química, UPIIH, IPN *mhernandezch@ipn.mx

²Laboratorio de Espectroscopía, UPIIH, IPN

³Departamento de Formación Básica Disciplinaria, UPIIH, IPN

se evita el uso de materiales de un solo uso, se usan baterías recargables, imanes de neodimio (Nd), etc., y hay una disminución en el uso de energía para la realización de los experimentos.

- ✓ Se puede implementar incluso en laboratorios que no cuentan con las condiciones óptimas de operación en cuanto a infraestructura y equipamiento.
- ✓ Los estudiantes trabajan de manera individual, por lo que pueden concentrarse mejor. Si lo consideran necesario, los experimentos pueden repetirse varias veces, ya que las cantidades de reactivos utilizadas son mínimas.
- ✓ Los estudiantes trabajan de manera más eficiente, por lo que el tiempo de las sesiones se aprovecha de mejor manera.
- ✓ Los estudiantes encuentran un reto al discutir las observaciones de sus experimentos y se pueden abordar conceptos químicos difíciles y erróneos, fomentando que sean críticos en la justificación y discusión científica de los experimentos.
- ✓ Adicionalmente se detona la creatividad científica en la mejora de los diseños experimentales propuestos y en la propuesta de nuevos experimentos.
- ✓ Se promueven las iniciativas STEM (por sus siglas en inglés, *Science, Technology, Engineering and Mathematics*) al

implementar el uso de nuevos materiales en las prácticas, como utilizar impresiones 3D o el kit Lego para adaptar algunos materiales, así como la microelectrónica para adaptar algunos experimentos.

En las prácticas de química a macroescala, para trabajar reacciones quimioluminiscentes, es muy común la reacción con luminol;⁴ sin embargo en el trabajo a distancia, el desarrollo de estos experimentos se encuentra limitado por el acceso y costo de los reactivos (luminol y los reactivos necesarios para esta práctica), por lo que una opción para poder trabajar este tipo de reacciones son las barras luminosas,⁷ que son utilizadas en festejos nocturnos por el brillo que producen al romper el pequeño tubo interno de vidrio que contiene al peróxido de hidrógeno y lo mantiene aislado del contenedor plástico externo que contiene el colorante que le da a la barra su color^{8,9} (arenos, compuestos aromáticos conjugados) y el oxalato de difenilo. Al activar la barra luminosa, rompiendo el pequeño tubo interno de vidrio que contiene al peróxido de hidrógeno, ocurre muy rápido la oxidación del oxalato de difenilo, dando lugar a que la reacción quimioluminiscente ocurra.

En este trabajo se presenta una actividad práctica con reactivos quimioluminiscentes de fácil adquisición, en la que los estudiantes pueden observar el efecto de la temperatura en la rapidez e intensidad de una reacción quimioluminiscente.

Reactivos y materiales

- 3 barras luminosas (de preferencia del mismo color)
- Hielo y agua helada
- Agua caliente
- 2 refractarios de vidrio
- Termómetro digital



Figura 3. A) Temperatura del agua helada, -0.2 °C

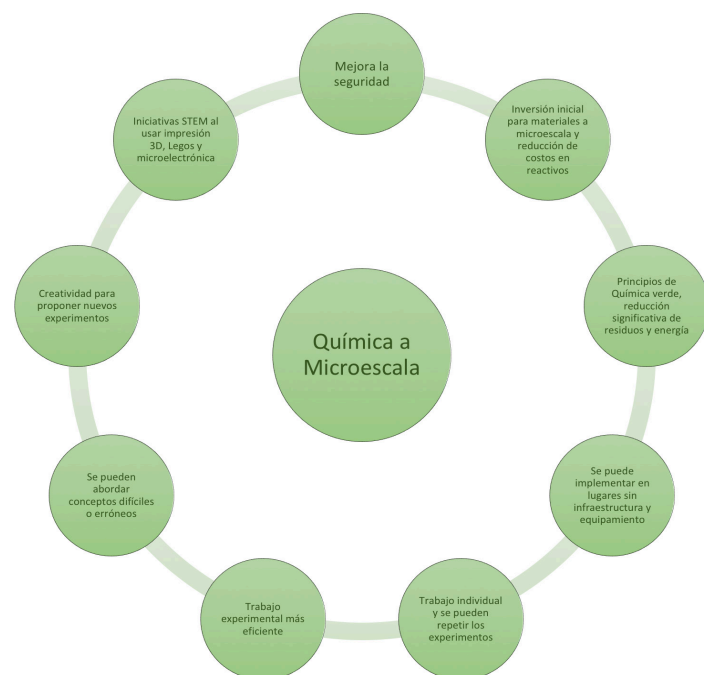


Figura 2. Ventajas de implementar la química a microescala en la experimentación a distancia. Adaptado de los textos del 11o. Simposio Internacional de Química a Microescala (ISMIC). Disponible en: <https://ismc2021.weebly.com/about.html>



Figura 3. B) Temperatura del agua caliente, 77.8 °C.

Procedimiento

1. En un refractario coloca agua helada con hielos y en el otro agua caliente. Registra la temperatura de ambos sistemas. Ver Figura 3.

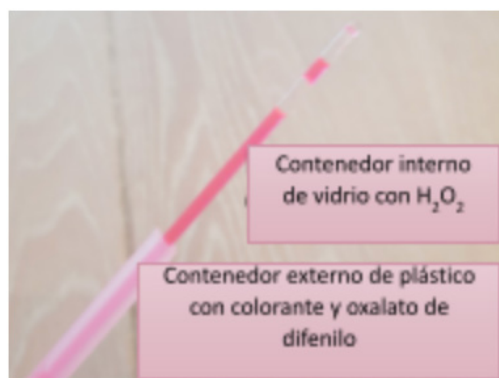


Figura 4. Barra luminosa comercial.

2. Activa las tres barras luminosas. Rompe el tubo de vidrio interior que contiene el H_2O_2 para que entre en contacto con el colorante y el oxalato de difenilo que se encuentran en el contenedor plástico externo, luego agita bien. Registra tus observaciones.

3. Coloca las barras luminosas en cada refractario (con agua helada y agua caliente) y una a temperatura ambiente para que sirva de control.

4. Observa y compara el efecto de la temperatura sobre la intensidad y duración de la reacción en cada barra luminosa.

Resultados y discusión

Se observa que cuando se introduce la barra luminosa en agua caliente, la intensidad de la luz emitida es mayor en comparación con la barra que se encuentra a temperatura ambiente y la que se encuentra en agua helada. Además, la duración de la emisión es más corta en agua caliente, en comparación con la reacción que tiene lugar con menor intensidad y mayor duración en agua

helada. La rapidez de reacción se ve afectada por el efecto de la temperatura, mostrando que en este caso es mayor en el caso de la barra luminosa que se encuentra en agua caliente, como se muestra en la Figura 5. Adicionalmente, se comprueba la rapidez con la que ocurren las reacciones de óxido reducción, ya que al romper la ampolla de vidrio que está dentro de la barra, se mezclan el colorante y el oxalato de difenilo (que se encuentran en el contenedor externo de plástico) con el peróxido de



Figura 5. Efecto de la temperatura en la rapidez e intensidad de reacción quimioluminiscente de las barras luminosas al transcurrir el tiempo.

hidrógeno (que está aislado en la ampolla de vidrio interna de la barra luminosa). Así, al activar los contenidos de dicha barra, sucede la reacción quimioluminiscente, que como se observa en el experimento, ocurre en fracciones de segundo y de manera intensa.

La luz emitida por una barra luminosa es generada por la oxidación del oxalato de difenilo por el peróxido de hidrógeno, produciendo 1,2-dioxetanodiona, una molécula inestable, que se descompone en dióxido de carbono, liberando energía. La energía es absorbida por electrones en moléculas de colorante, que posteriormente vuelven a su estado fundamental, perdiendo el exceso de energía

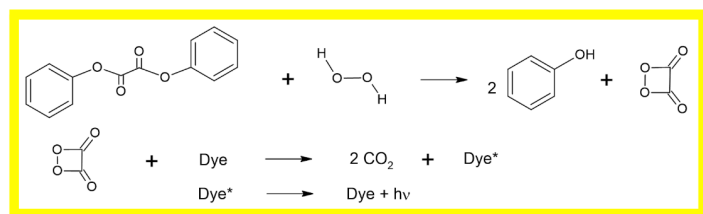


Figura 6. Reacción efectuada dentro de la barra luminosa al combinarse el colorante (responsable de la emisión de luz) y el oxalato de difenilo que es oxidado por el H_2O_2 . Dye^* representa a la molécula de colorante que se encuentra en un estado electrónico excitado y al liberar un fotón regresa a su estado fundamental. Adaptado de las referencias 7 y 8.

en forma de luz, como se muestra en la Figura 6. Es importante tener cuidado en caso de que la barra contenedora se rompa y salga la mezcla de reacción, ya que uno de los productos es el fenol, que es un reactivo tóxico; en caso de que haya derrame a las manos, hay que lavar inmediatamente con agua y jabón.

Conclusiones

Se diseñó y realizó con éxito un procedimiento a microescala mediante fuentes de reacciones quimioluminiscentes que son fáciles de obtener (barras luminosas comerciales) como alternativa a las prácticas comunes que se realizan en el laboratorio experimental de Química de forma presencial. Se demostró el efecto de la temperatura en la rapidez e intensidad de la reacción, así como

la rapidez con la que ocurren las reacciones de óxido reducción. Esta práctica se puede realizar por estudiantes de bachillerato en casa de forma segura y por estudiantes de los primeros semestres de licenciatura, ya que involucra conceptos de mecanismos de reacciones químicas orgánicas, catalizadores, quimioluminiscencia y óxido reducción.

Agradecimientos

A la Sociedad Química de México por la organización y el kit de Química a Microescala del Taller de Laboratorios Didácticos a Distancia impartido por el Dr. Jorge Ibañez Cornejo,¹⁰ ya que esta propuesta es producto del trabajo colaborativo realizado en este taller, como alternativa para realizar en casa a la reacción que se realiza en los laboratorios de Química de manera cotidiana con luminol.

Referencias

1. Lakowicz, J. R. *Principles of Fluorescence Spectroscopy*, 3rd. ed.; Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 1999; pp 1-5.
2. Zomer, G.; Hastings, J. W.; Berthold, F.; Lundin, A.; Garcia Campana, A. M.; Niessner, R.; Christopolous, T. K.; Lowik, C.; Branchini, B.; Daunert, S.; Blum, L.; Kricka, L. J.; Roda, A. *Chemiluminescence and Bioluminescence*; The Royal Society of Chemistry, London, 2011. <https://doi.org/10.1039/9781849732024>.

3. <https://www.scienceinschool.org/es/2011/issue19/chemiluminescence> (consultado el 15 de julio del 2021).
4. <http://www.chm.bris.ac.uk/webprojects2002/fleming/experimental.htm> (consultado el 15 de julio del 2021).
5. Whitten, K. W., Davis, R. E., Peck, M. L., Stanley, G. G. (2015). *Química*, 10a. ed.; Cengage Learning: México D.F., 2015; pp 613-654.
6. <https://ismc2021.weebly.com/about.html> (consultado el 15 de julio del 2021).
7. Kuntzleman, T. S.; Rohrer, K.; Schultz, E. The Chemistry of Lightsticks: Demonstrations to Illustrate Chemical Processes. *J. Chem. Educ.* **2012**, *89* (7), 910–916. <https://doi.org/10.1021/ed200328d>.
8. <https://www.compoundchem.com/2014/10/14/glowsticks/> (consultado el 15 de julio del 2021).
9. Baldwin, B. W.; Bunker, K. R.; Kuntzleman, T. S. Extraction of Dyes Contained in Glow Sticks Using Liquid CO₂. *Green Chem. Lett. Rev.* **2019**, *12* (2), 102–106. <https://doi.org/10.1080/17518253.2019.1609594>.
10. Ibanez, J. G. Spreading the Good News of Chemistry: Macroscale Appreciation for a Microscale Approach. *J. Chem. Educ.* **2011**, *88* (2), 127–129. <https://doi.org/10.1021/ed1010745>

Miércoles de Webinar

Identifica tu serie

WEBINARS Conferencias online

WEBINARS Conferencias online

WEBINARS Conferencias online

Investigación y Desarrollo Tecnológico

Educación y Divulgación

ACS Chemistry for Life[®]
The American Chemical Society

www.sqm.org.mx | contenidosacademicos@sqm.org.mx