

Las dos caras de los pigmentos: una exploración a microescala sobre las aplicaciones ambientales de la electroquímica a nivel bachillerato

Rosa María Catalá¹, Martha Hernández² y Sonia Garay³

Palabras clave: química a microescala, pigmentos naturales, electroquímica, química verde, contaminación de agua, celdas fotovoltaicas y electrocoagulación.

En la enseñanza de la química a nivel medio superior, las demostraciones presenciales o los videos son algunas de las estrategias más empleadas por los docentes como detonantes de preguntas generadoras en el desarrollo de las clases o secuencias didácticas. Estos llamativos “fenómenos ancla” (Talanquer, 2016), sirven como punto de partida de diversas exploraciones en donde la explicación, la predicción, la elaboración o uso de modelos y la identificación de los eventos cotidianos relacionados con las aplicaciones de la química son algunas de las habilidades más importantes que deseamos desarrollar en nuestros estudiantes. En esta aportación, inspirada durante un extraordinario taller de química en microescala (ver **Imágenes 1 y 2**) auspiciado por la Sociedad Química de México (SQM) e impartido por el Dr. Jorge Ibáñez en el año 2021, pudimos visualizar el enorme potencial que tienen estas experiencias ya que aportan elementos clave para el desarrollo del pensamiento crítico desde el enfoque de la química verde y sustentable (Vilches y Gil, 2013) y el aprendizaje en contexto (Caamaño, 2018).

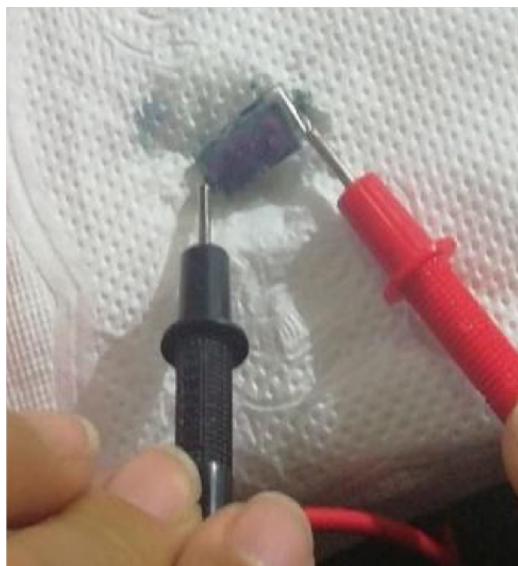


Imagen 1. Medición de voltaje de la celda iluminada con luz natural.



Imagen 2. Simulación de agua contaminada con colorantes.

Introducción

“Los científicos pueden plantear los problemas que afectarán al medio ambiente con base en la evidencia disponible. Pero su solución no es responsabilidad de los científicos, es de toda la sociedad” Mario Molina, 2020.

EL CONTEXTO

Muchos docentes estamos sumamente preocupados por la dificultad de motivar a nuestros estudiantes hacia el estudio de carreras científicas, no sólo por el valor cultural y el desarrollo industrial y económico que normalmente se logra con este propósito, sino por una clara conciencia de que sólo a través del conocimiento y el desarrollo de nuevas tecnologías podremos adaptarnos, ya no sólo a mitigar, los efectos de los grandes retos ambientales que enfrentamos como país y como humanidad. En prácticamente todos ellos, la química tiene un papel directa o indirectamente responsable. Los planes y programas de las asignaturas de química a nivel bachillerato, independientemente del sistema educativo que consideremos, han incorporado desde hace al menos dos décadas, unidades temáticas que giran alrededor de contenidos directamente relacionados con el medio ambiente (Dirección General de Bachillerato, 2018), (UNAM, 2021) y (UNAM, 2016). Agua, aire, suelo, alimentos, desechos tóxicos, son los entornos más comunes de aprendizaje para nuestros estudiantes, agrupando contenidos y el uso de diversas actividades y herramientas para el aprendizaje. Las demostraciones reales o virtuales, suelen ser una actividad muy socorrida en nuestras aulas, ya sea por su atractivo, sus riesgos o por la misma falta

¹Colegio Madrid A.C., ²FES-Cuautitlán UNAM, MADEMS (Química) e Instituto Tepeyac Campus Cuautitlán, ³Instituto Cultural de Occidente, A.C.

de tiempo o recursos para que todos los estudiantes realicen la práctica, particularmente a partir del cambio en la forma de trabajo frente a grupo desde que se declaró la pandemia por COVID-19 en 2020. Es por ello importante sumar más y mejores demostraciones a nuestro bagaje de clase.

El tema de electroquímica en el bachillerato está sumamente ligado al estudio de los minerales y sales metálicas, principalmente a través del estudio de las reacciones redox en cursos de química general. Generalmente, en cursos de química orgánica y de biología se aborda la capacidad de transferir electrones (para obtención de energía) de algunos compuestos orgánicos o bioquímicos, con pocos ejemplos (casi siempre a través de la fotosíntesis-clorofila). Por otro lado, la contaminación de agua suele enmarcarse cuando se aborda el tema de ácido-base, haciendo referencia a la acidificación de los océanos y a la lluvia ácida, así como en casos específicos de contaminación de cuerpos de agua por derrames o mala gestión de los residuos industriales. El ejemplo que se presenta en este artículo amplía el espectro de ejemplos interesantes para países como México donde la industria textil y la de alimentos generan diversos problemas de contaminación por exceso de pigmentos en aguas residuales. (Arango Ruiz, 2005) (Pedroza Gutiérrez, 2016). En este trabajo exponemos dos demostraciones o prácticas en microescala para abordar el tema de electroquímica con nuevos ejemplos interesantes y con aplicaciones de gran actualidad enfocadas hacia la química verde y la sustentabilidad.

ELECTROQUÍMICA Y PIGMENTOS

Con base en los materiales, sustancias y herramientas incluidas en el kit (paquete) (ver imágenes 3, 4, y 5) que recibimos para el desarrollo del taller de microescala, "Laboratorios didácticos a distancia", organizado por la SQM, nos abocamos a la búsqueda bibliográfica de experimentos que pudieran ser de interés en nuestros cursos. Encontramos dos que llamaron nuestra atención: el primero sobre el uso de antocianinas de frutos rojos como frambuesas; en cuyo caso, el pigmento natural se utiliza como receptor de energía luminosa, es decir, el pigmento juega un papel positivo importante en términos de reemplazar el uso de metales pesados como el Rutenio en la generación de energía. En el segundo, un método de purificación de aguas contaminadas por medio de la electrocoagulación en el que el pigmento azul de metileno se utiliza representando a distintas sustancias equivalentes de uso extendido en diversas actividades industriales, como pueden ser la industria textil (anilinas y sus derivados) e inclusive la industria alimentaria, donde las aguas residuales coloridas pueden acabar contaminando cuerpos de agua cercanos. Los experimentos descritos anteriormente, muestran dos caras de los pigmentos, en el primer caso se trata de uno con gran potencial en el ámbito de las energías alternativas y en el segundo es el compuesto causante de contaminación que debe eliminarse; teniendo la electroquímica como elemento común en la metodología.



Imagen 3. Algunos materiales del kit: jeringas, cinta, etc.



Imagen 4. Algunos materiales del kit: eliminador de baterías, termómetros, etc.



Imagen 5. Algunos materiales del kit: reactivos químicos en goteros.

EXPERIMENTO I: PIGMENTOS COMO CAPTADORES DE LUZ SOLAR

La primera generación de celdas solares fueron las celdas monocristalinas de silicio, material abundante y seguro, sin embargo, muy costoso. Las celdas solares de recubrimiento, se consideran la segunda generación de celdas, formadas básicamente de silicio amorfo en forma de polvo lo que las hace flexibles y ligeras, con una capa de telururo de cadmio (CdTe) o bien seleniuro de cobre-indio-galio (CIGS, por sus siglas en inglés), sin embargo, su eficiencia era muy baja. Las celdas solares sensibilizadas por pigmentos son la tercera generación de celdas solares, cuya eficiencia es mayor a las celdas de capa y consisten en una capa de dióxido de titanio (TiO_2 , semiconductor) recubriendo un fotoelectrodo anódico, un cátodo conductor, un fotosensibilizador y un electrolito (Richhariya, et.al. 2017, ver Figura 1).

El funcionamiento de una celda solar elaborada con pigmentos naturales se puede resumir en tres fases:

1. Interacción entre la luz del Sol y la sustancia colorante (pigmento-antocianina).
2. Interacción entre la sustancia colorante y el semiconductor.
3. Retorno de los electrones a la celda para completar el circuito eléctrico.

La luz solar entra a través de la placa transparente de vidrio conductor (óxido de titanio e indio, conocido como vidrio ITO, por sus siglas en inglés) interactuando con el colorante. El colorante adsorbido sobre la capa del material semiconductor (TiO_2) interactúa con la luz visible proveniente del Sol. Algunos electrones pertenecientes al colorante reciben suficiente cantidad de energía que les permite desplazarse a través del sistema. La descripción completa de la celda y las reacciones químicas que suceden pueden consultarse en el artículo original (Smestad & Grätzel, 1998, Coutinho, 2017).

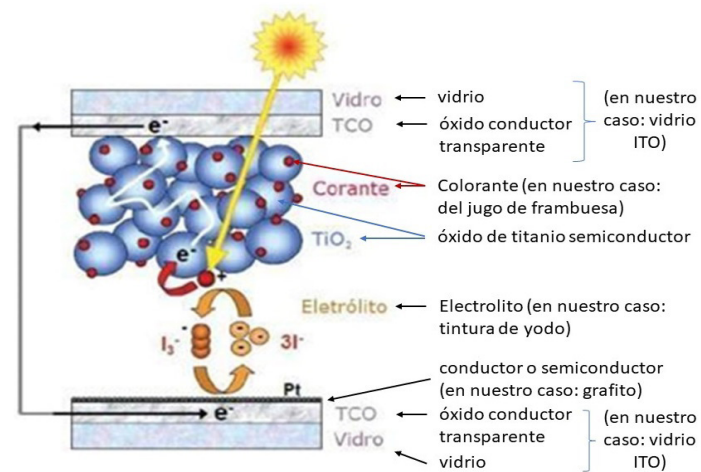


Figura 1. Estructura de una celda solar sensibilizada por pigmento (tomado de Coutinho, 2017), con traducción al español.

METODOLOGÍA

-Materiales y reactivos

- Extracto de frambuesas (50 g en 50 mL solución alcohol-agua, 1:1)
- Vidrio ITO (óxido de indio y estaño, por sus siglas en inglés; puede ser de un dispositivo tipo teléfono celular desarmado)
- TiO_2 o talco
- Alcohol etílico 96%
- Un lápiz (grafito suave, Num.2).
- Disolución KI_3/KI
- Multímetro

-Procedimiento

1. Cortar el vidrio en dos piezas y limpiar con alcohol (ver Imagen 6).
2. Realizar una pasta de TiO_2 (o talco que lo contenga) con alcohol para fijar sobre una superficie del vidrio conductor (ver Imagen 7). Calentar hasta suavizar.
3. Realizar extracto de frambuesas con alcohol (20% m/m) y filtrar (ver Imagen 8).
4. Cubrir el otro vidrio con grafito de un lápiz.
5. Colocar una gota de extracto sobre la base de TiO_2 (ver Imagen 9).
6. Unir los dos vidrios y colocar una gota de la solución de KI_3/KI entre ellos (ver Imagen 10).
7. Exponer la celda a luz visible y ultravioleta y medir la conductividad utilizando el multímetro.



Imagen 6. Cortar del vidrio ITO.



Imagen 7. Fijar pasta TiO sobre vidrio.



Imagen 8. Filtrar extractor de frambuesas.

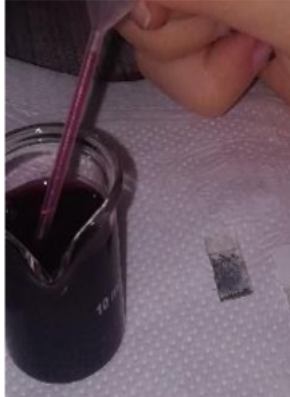


Imagen 9. Colocar extracto sobre base de TiO₂.



Imagen10. Colocar extracto entre vidrios con una gota de KI₃/KI.

EXPERIMENTO2: PIGMENTOS COMO CONTAMINANTES

El segundo experimento que puede utilizarse como demostración de aplicaciones ambientales de la electroquímica consiste en una celda equipada de un ánodo de Fe capaz de corroerse y producir cationes metálicos polivalentes. Estos a su vez generan los lodos de hidróxidos metálicos capaces de arrastrar cantidades significativas de contaminantes en aguas residuales. En este caso el contaminante se trata de desechos de pigmento o material colorido, simulado a través del azul de metileno. Igualmente, el funcionamiento del dispositivo y las reacciones que se llevan a cabo están completamente descritos en las referencias (Ibañez, J. et. al. 1998).

METODOLOGÍA

-Materiales y reactivos

- 1 pila de 9V o un convertidor de corriente alterna a directa
- 2 electrodos (clavos, clips, etc.)
- 2 caimanes
- 1 palillo de madera
- 1 pipeta Pasteur
- 1 trozo de algodón pequeño
- 1 soporte
- 1 pinza de tres dedos
- 1 probeta de 10 mL
- 1 trozo de alambre de 10 cm, de cualquier material
- Arena fina
- Azul de metileno (disolución al 2%, por ejemplo: del que se usa para las peceras)
- Bicarbonato de sodio (NaHCO₃)
- Agua

-Procedimiento

1. Agrega en un vaso de precipitados, 6 mL de agua y agrega un poco de bicarbonato de sodio y una gota de azul de metileno. Mezcla.
2. Sumerge los dos electrodos (clavos o clips) en la solución, sin que se toquen y conecta con dos cables caimán a la pila.
3. Cuenta 2 minutos y observa la reacción.
4. Detén la reacción y limpia con un palillo el electrodo "sucio". Vuelve a conectar otros 3 minutos.
5. Terminado el tiempo, desconecta los caimanes. Limpia los electrodos y agita. Observa la calidad del agua.
6. Para preparar el filtro de arena, coloca un trozo pequeño de algodón en la parte gruesa de la pipeta Pasteur y agrega una columna de arena de aproximadamente 3 cm.
7. Agrega el agua tratada y filtra.
8. Como comprobación, realiza una filtración del agua sin tratar, sólo añade colorante.
9. Observa después de filtrar, si el color permanece o desaparece.

DISCUSIÓN

Hemos visto dos ejemplos de experimentos-demostraciones de electroquímica en microescala que pueden resultar muy atractivos para estudiantes de bachillerato, tanto por los cambios evidentes y medibles en las demostraciones, como por su aplicación en procesos de obtención de energías limpias y menos costosas (primer experimento) y reducción de contaminación de agua (segundo experimento).

En la actualidad dos de los grandes temas de preocupación a nivel mundial son generar energía limpia asequible y no contaminante, así como combatir el cambio climático y sus efectos, ambos forman parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados por la Organización de las Naciones Unidas para conseguir un futuro sostenible para todos (Organización de las Naciones Unidas, 2016). Por lo anterior, es prioridad el desarrollo de nuevas fuentes de energía renovables y no contaminantes; la energía solar es una fuente de energía accesible y fácilmente convertible en electricidad mediante celdas fotovoltaicas. Por otro lado, vemos que la industria textil es, después de la industria del petróleo, la segunda industria más contaminante del medio ambiente. Esta contaminación implica la reducción de la disponibilidad de agua potable y la producción de enormes cantidades de aguas residuales como desecho (Brañez, et.al. 2018). Por estos motivos, dar alternativas al tratamiento de aguas de desecho en contextos comunes en muchas regiones de nuestro país nos parece fundamental para mostrar las aplicaciones de la electroquímica en situaciones reales, mismas que los estudiantes pueden reconocer y valorar mejor tanto en las aulas como en la vida cotidiana.

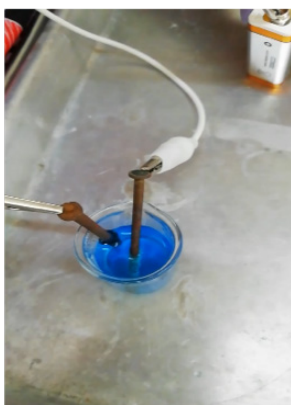


Imagen 12. Conectar los cables caimán a los electrodos.

COMENTARIO FINAL

Ambos experimentos pueden utilizarse como punto de partida para desarrollar una interesante secuencia didáctica sobre los pigmentos o incluirse como complemento de una más general sobre el tema de reacciones redox, electroquímica o química verde y sustentabilidad. En caso de utilizarse como fenómeno ancla o actividad de inicio, la idea central debe elaborarse alrededor del tema de electroquímica y la pregunta generadora tendrá la profundidad y de desarrollo de acuerdo al nivel en el que se encuentren los estudiantes. En caso de querer utilizarse como actividades a realizar por los propios estudiantes en bachillerato o en educación superior, debe estructurarse un andamiaje adecuado, ya que los experimentos deberán profundizar los aprendizajes previos sobre el tema y alcanzar, al cierre de la secuencia la capacidad de dar un modelo explicativo del fenómeno basado en la evidencia experimental. En caso de que la aplicación sea el propósito final, encontrar condiciones óptimas (a través de variables, por ejemplo, la conductividad de las antocianinas varía con el pH de la disolución) para la aplicación de las técnicas en diversos contextos (comunidades cercanas a zonas industriales, proyectos de innovación tecnológica, etc.). Las posibilidades de aplicación son diversas y responden a las necesidades de los grupos y los contextos e intereses en que se desenvuelven nuestras clases. Ello depende siempre de nuestra sensibilidad como docentes y de nuestra creatividad para lograr el objetivo más importante en el aula: guiar la transformación de la información en conocimiento y el desarrollo del pensamiento científico en nuestros estudiantes.



Imagen 13. Construir el filtro de arena.



Imagen 12. Agua "contaminada" después de reaccionar.



Imagen 14. Filtrar la muestra de agua tratada.

REFERENCIAS

1. Arango Ruiz, Á. La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Rev.LaSallista de Inv.* 2(1), (2005). 49-56. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/695/69520109.pdf>
2. Brañez, M. Ecoeficiencia en los procesos químicos del algodón por sustitución de insumos químicos Textil Océano SAC. 2018-2019 (2021). [Universidad Nacional Federico Villarreal]. [http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/5014\[1\]](http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/5014[1])
3. Caamaño. [Enseñar química en contexto. Un recorrido por los programas de química desde la década de los ochenta hasta la actualidad.](#) *Ed. Quím.* (2018), 29, 21-54.
4. Coutinho, N. (2017). [Video sobre fabricación de células solares de pigmento.](#) Campinas.
5. Dirección General de Bachillerato. *Programas de Estudio para la Generación 2017 - 2020 y Subsecuentes.* (2018). Obtenido de Componente de Formación Básico: <https://www.dgb.sep.gob.mx/informacion-academica/programas-de-estudio/CFB/1er- semestre/Quimica-I.pdf>
6. Ibarguengoitia Cervantes, M., Ibáñez Cornejo, J., y Garía Pintor, E. [Química en microescala para secundarias \[online\]](#) *Ri.iberomx.*, (2021). Retrieved from http://ri.iberomx/bitstream/handle/iberomx/2091/1/CI_Lib_02.pdf?sequence=1&isAllowed=y
7. Ibáñez, J. et.al., [Laboratory Experiments on Electrochemical remediation of the Environment. Part 4: Color removal of simulated Wastewater by electrocoagulation- electroflotation.](#) *J. of Chem. Ed.* (1998), Vol. 75, No. 8, 1040-1041.
8. Johal, M., [Video para hacer una celda solar con jugo de moras.](#) (2014, Febrero 12).
9. Organización de las Naciones Unidas. [Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.](#) (2016). Santiago: Publicación de las Naciones Unidas.
10. Pedroza Gutiérrez, A. Remoción de color en aguas residuales procedentes de industria textil mediante electrocoagulación para su posible reutilización. *Tlamati Sabiduría* 7(2), (2016), 1-15. Obtenido de <http://tlamati.uagro.mx/t7e2/90.pdf>
11. Richhariya, G., Kumar, A., Tekasakul, P., y Bhupendra, G. [Natural dyes for dye sensitized solar cells: A review.](#) *Ren. and Sust. Energy Rev.* (2017). 69, 705-718.
12. Sánchez, M., Uribe, C., Gutiérrez, R., y Valle, P. [Contaminación de los ambientes acuáticos generados por la industria textil.](#) [online] *Aulavirtualusmp.pe.* (2018). Retrieved from <https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/rc/article/view/1369>
13. Smestad G, Grätzel, M. [Demonstrating electron transfer and nanotechnology: a Natural Dye-Sensitized nanocrystalline Energy Converter.](#) *J. Chem. Ed.* (1998), Vol. 75, No. 8, 752-756.
14. Talanquer, V. [Central Ideas in Chemistry: An Alternative Perspective.](#) *J. Chem. Ed.* (2016), 93, 3-8.
15. UNAM. *DGIRE.* Obtenido de Dirección General de Incorporación y Revalidación de Estudios (2016): https://www.dgire.unam.mx/contenido_wp/wp-content/uploads/2019/01/1501.pdf
16. UNAM. *Colegio de Ciencias y Humanidades.* (2021). Obtenido de https://www.cch.unam.mx/sites/default/files/programas2016/QUIMICA_I_II_.pdf
17. Vilches, A., y Gil, D. [Áreas emergentes de la educación química \[Química y sostenibilidad\].](#) *Ed. Quím.* (2013), 24, 199-206.