

Celdas solares con tintes fotosensibles



Center for Nanotechnology Education

Versión 041019



Este material está basado en trabajo apoyado por la Fundación Nacional de Ciencia bajo la Concesión Número 0802323, 1204918 y 1501878. **Cualquier opinión, hallazgos, conclusiones o recomendaciones expresadas en este material son las del autor(es) y no necesariamente representan las opiniones de la Fundación Nacional de Ciencias.**



Este trabajo está licenciado por [“Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License”](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/).

Basado en un trabajo en www.nano-link.org.

Celdas solares con tintes fotosensibles

Abstracto

Este módulo trabaja con la fabricación de una celda solar con tinte fotosensible (“DSC”, por sus siglas en inglés). Una “DSC” es, esencialmente, una celda foto-electroquímica; significa que una reacción química foto-inducida provoca que los electrones se transporten de un material a otro. La “DSC” consiste en una capa (“film”) semiconductor nanoestructurada cubierta con moléculas de tinte orgánico. La nanoestructura entra en contacto cercano con una solución electrolítica que contiene un mediador químico. La capa y la solución se encuentran entre dos electrodos que permiten que el dispositivo se conecte eléctricamente a una carga externa.

Resultados

- Describir el funcionamiento de las celdas solares con tintes fotosensibles.
- Entender los beneficios del TiO_2 como componente en las celdas solares.
- Fabricar una celda solar con tinte fotosensible sencilla capaz de convertir luz solar en electricidad.

Prerrequisitos

- Química y/o física de escuela superior

Correlación

Conceptos Científicos

- Estructura de la materia (átomos y moléculas)
- Electricidad con corriente continua (“DC”)
- Fotovoltaica: generación de electricidad a base de luz

Conceptos de Nanociencia

- Naturaleza y estructura de la materia – Estructura atómica y molecular
- Propiedades que dependen del tamaño de las partículas

Información de trasfondo

El planeta Tierra es el panel solar más grande del mundo. Aunque la Tierra solo logra coleccionar una fracción de la potencia energética del Sol de 120,000 trillones de vatios, esta recibe más energía proveniente del Sol en una hora, que toda la energía consumida por los humanos en todo un año.

La mayoría de los paneles solares (aproximadamente el 90%) están basados en silicio. La tecnología fotovoltaica de silicio ha existido durante bastante tiempo, y los materiales fotovoltaicos emergentes prometen una mayor eficiencia y menores costos de producción. Se han realizado intensos esfuerzos de investigación y desarrollo en estas nuevas tecnologías, a nivel académico como industrial. Estas tecnologías emergentes, como las celdas solares con tintes fotosensibles, la fotovoltaica orgánica y las celdas solares de puntos cuánticos inorgánicos han reflejado un crecimiento exponencial.

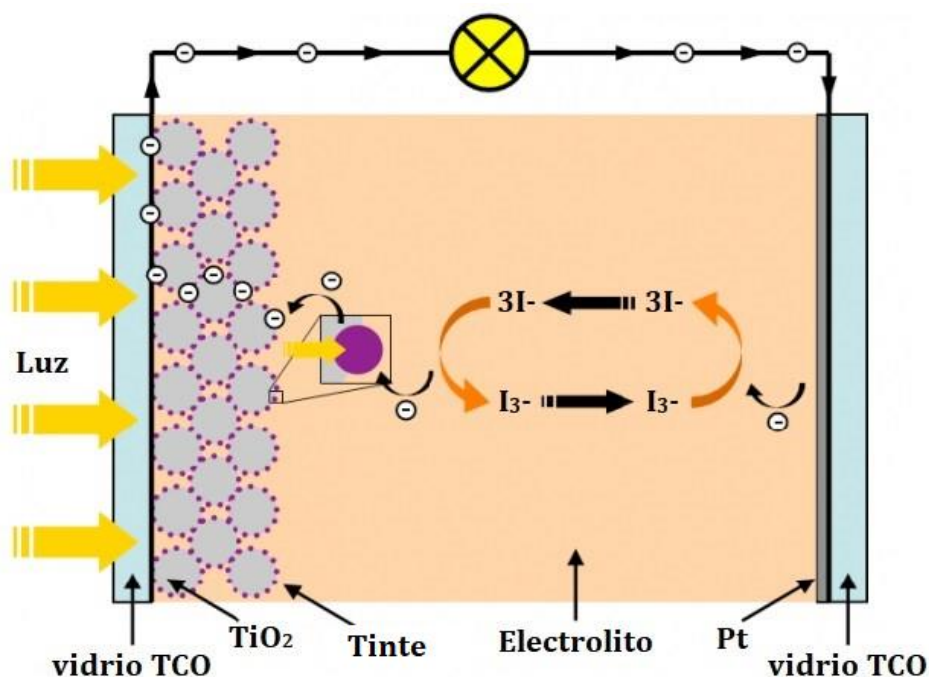


Figura 1. La estructura de una celda solar con tinte fotosensible. De: Gamry.com.

Las celdas solares con tintes fotosensibles consisten en una capa semiconductor nanoestructurada cubierta con moléculas de tinte orgánico. La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de una "DSC". La nanoestructura entra en contacto cercano con una solución electrolítica que contiene un mediador de yoduro-triyoduro. La capa y la solución se encuentran entre dos electrodos, lo que permite conexiones eléctricas a un circuito externo. Es importante que un electrodo (el que esté cubierto con nano cristales) sea transparente, mientras que el otro electrodo debe de cubrirse con un catalizador de carbono para facilitar la reducción del mediador de yoduro-triyoduro.

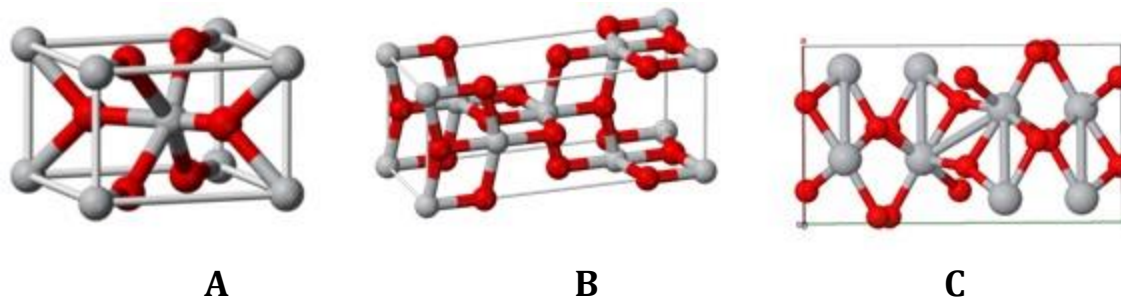


Figura 2. Representaciones de las celdas unitarias en el cristal de dióxido de titanio. (A) rutilo, (B) anatasa, (C) brookita. *Imagen de:* www.labspace.net, "Wikimedia Commons", y <http://materials.springer.com>.

El dióxido de titanio (TiO_2) es un pigmento blanco común que se puede encontrar en diversos productos, desde pintura hasta productos de papel. El TiO_2 existe en varias formas cristalinas. Estas incluyen rutilo, anatasa y brookita. Cada una difiere en el arreglo espacial de los átomos de titanio y oxígeno en los cristales, como se muestra en la Figura 2. Dado que la estructura anatasa de TiO_2 es un semiconductor con un estrecho de banda o brecha energética ("band gap") de 3.2 eV, absorbe principalmente la luz ultravioleta en lugar de la luz visible. Los tintes de antocianina, por otro lado, son moléculas orgánicas que absorben la luz visible extremadamente bien. Esto les da un color rojo púrpura intenso. Cuando ciertos tintes de antocianina entran en contacto con TiO_2 , pueden reaccionar químicamente y adherirse a la superficie de los nano cristales, como se muestra en la Figura 3. La molécula de tinte actúa como un ligando y forma enlaces con átomos de titanio en la superficie de TiO_2 . En este caso, como se forman dos enlaces entre el ligando y el metal, se dice que la molécula del tinte antocianina *quela* el átomo de titanio. Este es un tipo de interacción particularmente fuerte y hace que el tinte sea muy difícil de remover de la superficie del semiconductor. Por lo tanto, las moléculas de antocianinas quelantes no se pueden enjuagar con solvente o con la solución de electrolitos durante el funcionamiento de la celda solar.

La proximidad de las moléculas del tinte a la superficie de TiO_2 permite que el tinte *sensibilice* al semiconductor, es decir, cuando las moléculas del colorante absorben la luz visible, pueden transferir los electrones foto excitados al TiO_2 .

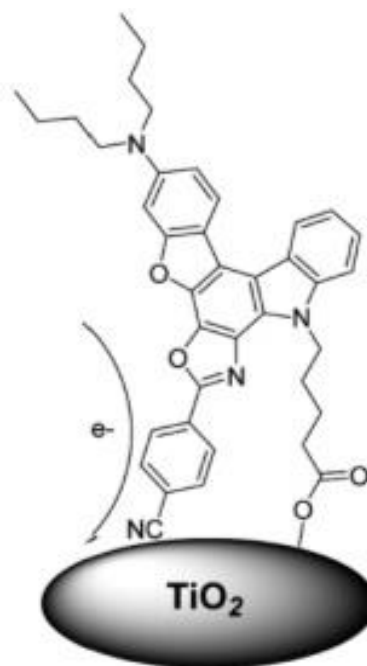
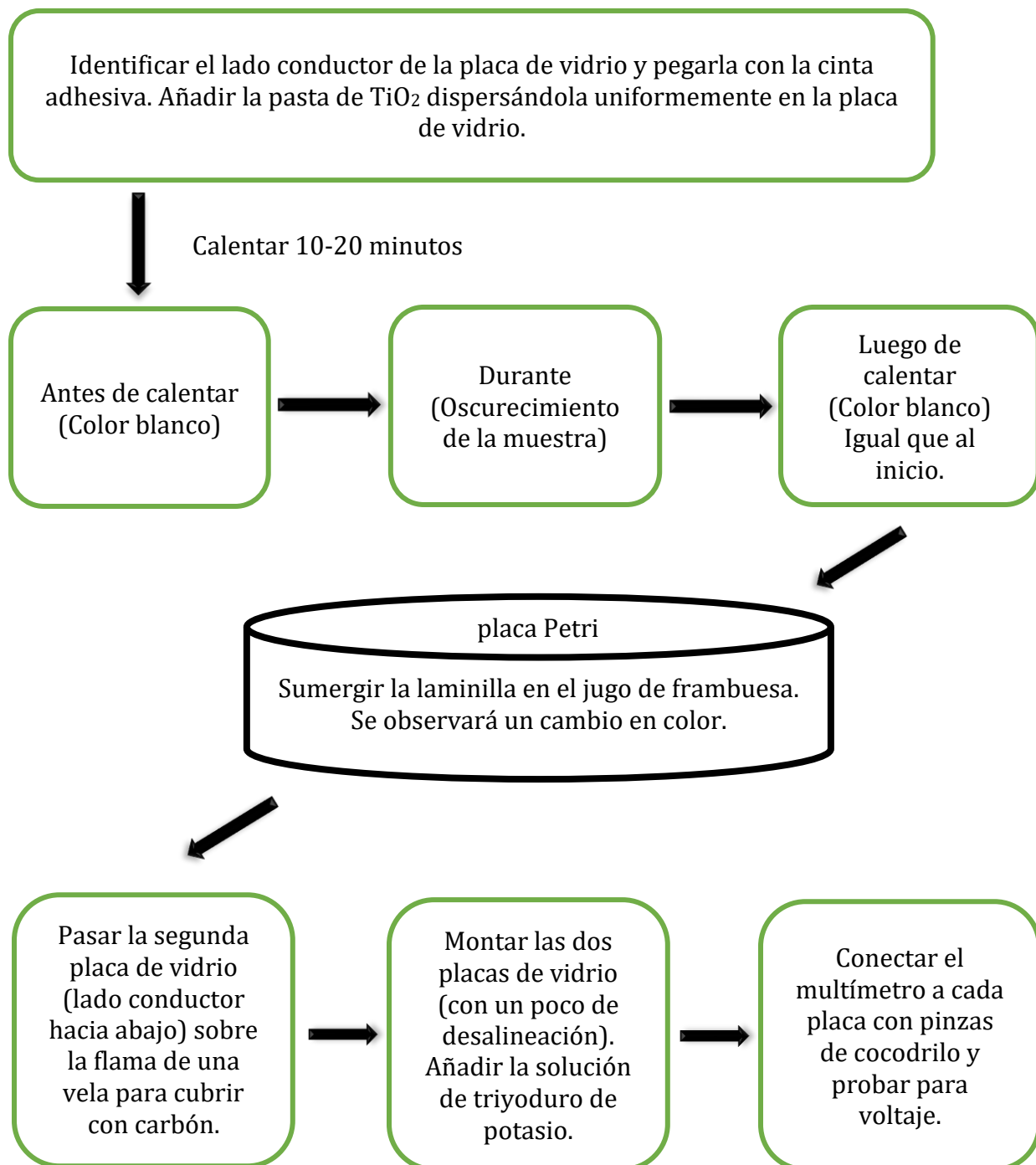


Figura 3. Estructura molecular de uno de los posibles tintes en una "DSC". *Imagen de:* Hagfeldt et al (2010) (Referencia #3 en este módulo).

Actividad de aprendizaje: "DSC"

Flujograma de la actividad



Actividad de aprendizaje: Celdas solares con tintes fotosensibles

Materiales y equipo

- TiO_2 nano-cristalino
- Mortero y mano del mortero (majadero / pilón)
- Ácido acético diluido (0.1 mL de ácido acético concentrado en 50 mL de agua)
- Detergente para lavar platos
- Jeringa vacía y “Parafilm”
- Vidrio conductor
- Multímetro y pinzas de cocodrilo (“alligator clips”)
- Cinta adhesiva transparente
- Laminilla (portaobjetos) de microscopio
- Plancha de calor (placa calefactora)
- Frambuesas (bayas) congeladas
- Cristal de reloj
- Botella de lavado de agua
- Botella de lavado de etanol
- Vela y fósforos
- Pinzas para sostener el vidrio mientras se recubre con carbón
- Hisopos de algodón y papel (“tissue”)
- Abrazaderas o aprieta papeles (“binder clips paper clamps”)
- KI_3 en etilenglicol
- Fuente de luz fuerte (luz solar, proyector vertical o lámpara de calor,)
- Guantes, gafas de seguridad, delantal, placa Petri y bandeja para derrames
- Adicional: mesa rodante de laboratorio (carrito) y extractor (campana extractora)

Procedimiento

Reúne todos los materiales necesarios en la mesa rodante de laboratorio y realiza el experimento debajo de un extractor.

1. Identifica el lado conductor de una placa de vidrio cubierto con óxido de estaño utilizando el multímetro para medir la resistencia. El lado conductor debe de tener una resistencia de 20-30 ohmios.
2. Con el lado conductor hacia arriba, pega el vidrio con la cinta adhesiva en tres lados, en el centro de la bandeja para derrames. Limpia las huellas dactilares o aceite con un papel humedecido con etanol. Los lados opuestos de la cinta actúan como espaciador, por lo que la cinta debe de quedar plana y no arrugada. El tercer lado de la cinta provee una parte sin cubierta donde se conectará una pinza de cocodrilo.
3. Añade una pequeña cantidad de pasta de dióxido de titanio y extiéndela rápidamente empujando hacia abajo y hacia adelante con una laminilla de microscopio antes de que la pasta se seque. Al presionar firmemente, la cinta adhesiva actúa como un espaciador de 40-50 micrómetros que controla el grosor de la capa de dióxido de titanio.

4. Retira con cuidado la cinta adhesiva sin rayar la cubierta de TiO_2 . Deja la cinta adhesiva usada en la bandeja para derrames y descártala luego.
5. Calienta el vidrio sobre la plancha de calor en el extractor durante 10-20 minutos. La superficie se torna color marrón cuando el solvente orgánico y el surfactante se secan y queman, produciendo una cubierta de dióxido de titanio sinterizado blanco o verde. (Nota: se necesita una plancha de calor caliente bastante).
6. Apaga la plancha de calor y deja que el vidrio se enfríe lentamente. La muestra se observará bien similar antes y después de haberla calentado. Lo que es importante que se haya observado es que se oscureciera mientras se calentaba.
7. Sumerge la cubierta en el jugo de frambuesa (la fuente de antocianinas). Para esto se puede utilizar una placa Petri. El jugo de frambuesa se puede obtener de las frambuesas congeladas. (También se pueden utilizar moras, semillas de granada y cerezas "Bing"). El TiO_2 blanco cambiará de color a medida que el tinte se absorba y forme un complejo con el Ti (IV).
8. Enjuaga suavemente con agua para eliminar los sólidos de las frambuesas y luego, enjuaga suavemente con etanol para eliminar el agua del TiO_2 poroso. Espera que el etanol se evapore antes de montar (armar / ensamblar) la celda.
9. Con las pinzas, pasa una segunda placa de vidrio de óxido de estaño, con el lado conductor hacia abajo, a través de la flama de una vela para cubrir el lado conductor con carbón (hollín). Para obtener mejores resultados, pasa el pedazo de vidrio rápidamente y repetidamente a través de la parte media de la flama.
10. Limpia el carbón a lo largo del perímetro de los tres lados de la placa de vidrio cubierta de carbono con un hisopo de algodón seco.
11. Monta las dos placas de vidrio con los lados cubiertos juntos, pero desplazados de manera que el vidrio sin cubierta se extienda hacia fuera un poco más. No frotes ni deslices las placas. Sujeta las placas con aprieta papeles.
12. Añade una gota de la solución de triyoduro de potasio a los bordes opuestos de la placa. Por acción capilar la solución KI_3 se moverá entre las dos placas. (La solución de electrolito KI_3 consiste en 0.5 M KI y 0.05 M I_2 en etilenglicol anhidro). La solución puede corroer las pinzas cocodrilo en el siguiente paso, por lo tanto, se debe de eliminar cualquier exceso.
13. Conecta el multímetro utilizando una pinza de cocodrilo en cada placa (el electrodo negativo es el vidrio cubierto con TiO_2 y el electrodo positivo es el vidrio cubierto con carbón).
14. Mide la corriente y el voltaje producidos por la luz solar, o ...
15. Mide la corriente y el voltaje producidos por la iluminación de un proyector vertical o lámpara de calor.

Preguntas de discusión

1. ¿Funcionó tu celda solar? Indica los valores de la corriente y el voltaje (con sus unidades) producidos por la celda solar para llegar a tus conclusiones. ¿Cuánta potencia se produce? (Potencia = energía / tiempo; multiplica los voltios medidos por los amperios para obtener la potencia en vatios).
2. ¿Qué área de celda solar se necesitaría para producir 1 vatio? (Supón que el voltaje producido es constante y que la corriente es proporcional al área de la celda solar).
3. Reúne todas las celdas solares que fabricaste y las de tus compañeros. ¿Cómo las montarían para producir un voltaje máximo? ¿Cómo las montarían para producir una corriente máxima?
4. ¿Cuál es la función de cada parte / estructura de la celda solar que fabricaste? Para que desarrolles una respuesta completa, piensa en el camino por el que pasa un electrón a través del circuito completo.
5. ¿Cómo puedes mejorar la eficiencia de tu celda solar?

Usos presentes y aplicaciones futuras

La tecnología de las celdas solares con tintes fotosensibles tiene aplicaciones en la producción de electricidad a partir de la luz solar debido a la absorción de luz y los fenómenos de transporte de carga. A continuación, se presenta una lista de aplicaciones presentes y futuras de las celdas solares con tintes fotosensibles:

- Aunque las celdas solares con tintes fotosensibles son, en el mejor de los casos, eficientes en un 12% (el silicio lo es en un 21-25%), se pueden fabricar fácilmente en ausencia de un vacío y sin necesidad de recubrimiento por rotación. Las técnicas de fabricación son significativamente más baratas que con el silicio, consumen menos energía y es posible la fabricación "roll-to-roll".
- Las celdas solares con tintes fotosensibles se pueden utilizar donde las celdas solares convencionales de silicio podrían no ser adecuadas. Las "DSC" trabajan en condiciones variadas de iluminación (lugares con poca luz, sombreados y con luz difuminada/difusa), mientras que la tecnología basada en silicio podría ser inutilizable con algo menor a luz solar. Además, las salidas eléctricas no dependen del ángulo de iluminación de la luz solar, como es el caso de las celdas solares a base de silicio. Así, una aplicación podría ser la fotovoltaica integrada. La idea es que los paneles solares se pueden construir en varias partes de la estructura o exterior de un edificio, no solo en la azotea (techo), que es el lugar preferido para los paneles de silicio, porque las "DSC" funcionan bastante bien con luz difuminada. Por esa razón, las capas finas ("thin films") de "DSC" translúcidas se pueden colocar entre paneles de vidrio, convirtiendo ventanas normales, tragaluces y fachadas de vidrio en generadores de electricidad.

- Otra ventaja que provee el uso de las “DSC” es que pueden fabricarse en una variedad de sustratos, como capas finas, plásticos flexibles o resistentes y aplicarse a sustratos de metal y vidrio.
- Con las “DSC” se pueden encender dispositivos electrónicos pequeños. Una aplicación que llama mucho la atención es el “Internet of Things”, que se refiere a una red de electrodomésticos, vehículos y otros objetos que están equipados con sensores y otros dispositivos electrónicos para permitirles recopilar y transmitir datos.
- En el futuro, algunas compañías proyectan la fabricación de balizas energizadas por “DSC” que transmitan señales de “Bluetooth”. Estos dispositivos se pueden usar de muchas maneras. Un ejemplo es dirigir a las personas que asistan a un día de juego (deportivo) desde la entrada del estadio hasta sus asientos con boleto a través de la comunicación por teléfono celular.
- La desventaja de la tecnología en las celdas solares con tintes fotosensibles se relaciona con el electrolito líquido, que es corrosivo, volátil y propenso a fugas (escape/derrame); todo esto limita la estabilidad a largo plazo de la celda. Sin embargo, los investigadores de la Universidad de Northwestern han reemplazado el electrolito líquido con un nuevo semiconductor inorgánico sólido: yoduro de estaño y cesio dopado con flúor (CsSnI_{2.95}F_{0.05}). La implementación de los hallazgos en los laboratorios y las mejoras en el proceso de fabricación generalmente toman varios años.

Referencias o recursos

1. “University of Wisconsin Madison MRSEC Education group”
<http://www.education.mrsec.wisc.edu/289.htm>
2. “Solar Energy Conversion by Dye-Sensitized Photovoltaic Cells,” *Inorg. Chem.*, *44*, 6841-6851 (2005).
3. “Dye-Sensitized Solar Cells”, A. Hagfeldt, G. Boschloo, L. Sun, L. Kloo, H. Pettersson, *Chem. Rev.* *110*, 6595–6663 (2010).
4. “Characteristics of the Iodide/Triiodide Redox Mediator in Dye-Sensitized Solar Cells,” *Acc. Chem. Research*, *42*, 1819–1826 (2009).
5. “The future of low cost-solar cells,” “Chemical and Engineering New May”, 2016 - Vol.94 Issue 18.
6. Se puede comprar un set en “Institute of Chemical Education (ICE)”, el cual contiene los materiales para crear cinco celdas solares. Se pueden ordenar en: ice.chem.wisc.edu/Catalog/SciKits.html#Anchor-Nanocrystalline-41703

Reconocimientos

- Dr. Frank Fernandes, “Northcentral Technical College”, Wausau, WI.
- Traducido al español por Rodfal A. Rodríguez y María T. Rivera de Cupey María Montessori School, San Juan, PR.