Módulo: Cómo construir una celda solar de TiO_2 sensibilizada por tinte

Objetivos:

Los estudiantes serán capaces de:

- Aprender cómo funciona una celda solar sensibilizada por tinte (CSST o "Dye Sensitized Solar Cells" DSSC, por sus siglas en inglés).
- Entender por qué el TiO_2 con alta área superficial es vital para el buen funcionamiento de las CSST
- Entender por qué los tintes sensibilizadores son necesarios para el buen funcionamiento de las CSST
- Entender la función del par redox, I^-/I_3^-
- Preparar un CSST a base del jugo de moras como sensibilizador

Contenido curricular de Puerto Rico:

Física:

Utiliza prácticas de seguridad en los laboratorios de Física, en el campo de la investigación y lo incorpora a su diario vivir.

NC.F.4.3 Manipula los instrumentos de medir voltaje, potencia, corriente y otro equipo de laboratorio con cuidado para evitar daño físico o eléctrico del equipo.

Diseña o construye tecnología para el estudio o solución de problemas que afectan a la sociedad como por ejemplo conservar o utilizar fuentes alternas de energía alternas

NC.F.8.1 Investiga sobre las diferentes fuentes de energía, su origen y clasificación tales como energía solar térmica, **energía solar fotovoltaica**, energía geotérmica, energía eólica, biomasa y energía de los mares (energía de las mareas, energía térmica oceánica y energía de las olas).

Química:

Utiliza prácticas de seguridad en los laboratorios de Química y en el campo de la investigación.

NC.Q.2.3 Usa materiales de seguridad personal para su protección como gafas, delantal, guantes, etc.

Utiliza la tecnología de forma crítica y constructiva y reconoce su impacto en diversos aspectos de nuestra vida.

NC.Q.6.2 Identifica algunas aplicaciones de la nanotecnología en los nuevos adelantos científicos y sus implicaciones en la solución de problemas que afectan la sociedad.

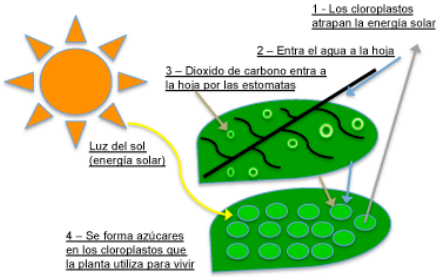
Explica las formas como se manifiesta la energía y sus transformaciones.

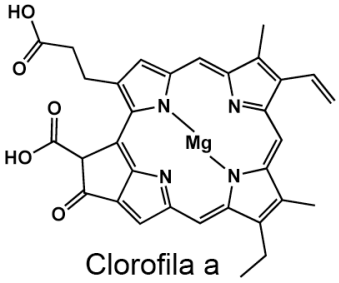
E.Q.2.1 Identifica situaciones comunes donde la energía se transforma de una forma a otra, como por ejemplo, de energía química a térmica y de lumínica a eléctrica.

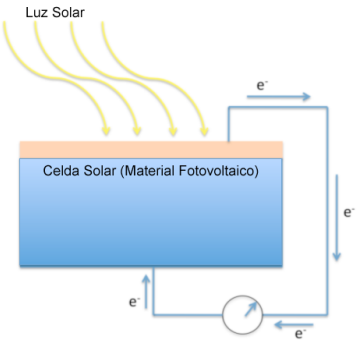
Trasfondo:

Una celda solar es un material sensible a la luz que puede absorber la energía solar y convertirla en energía eléctrica y química. En esta actividad usted va a construir una celda solar que funcionará de un modo similar al proceso de fotosíntesis, aunque de manera más simplificada en un proceso denominado “fotosíntesis artificial”. La celda solar que vas a construir va a ser de materiales simples tales como: pasta de TiO_2 (esencialmente pigmento blanco), tinte de antocianina (de jugo de mora), electrolito (I_2 - yodo y KI - yoduro de potasio), y el vidrio conductor (material transparente con propiedades eléctricas parecidas a la de un metal).

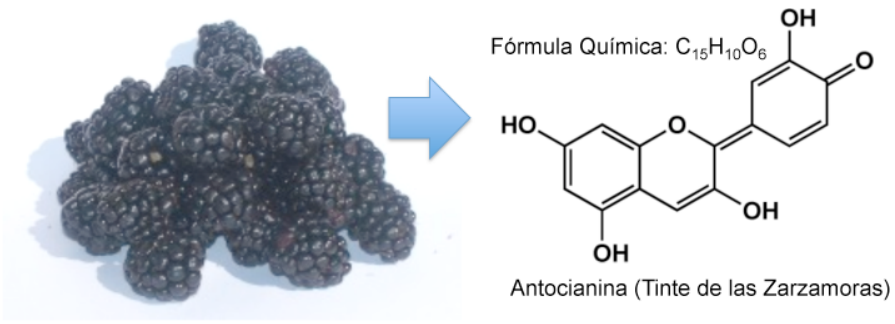
Una celda solar trabaja de manera similar a una hoja de una planta. El tinte de la clorofila (clorofila a) en una hoja absorbe la energía solar y la convierte en energía química (azúcar). Una celda solar, por su parte, obtiene la energía solar y la convierte en energía eléctrica.







Las zarzamoras también conocidas en inglés como “blackberries” contienen un tinte llamado antocianina que absorbe la luz. Este tinte se produce en muchos tipos de frutas y bayas. La antocianina le da su color característico a las moras, frambuesas, arándanos y granadas. En general, estos colorantes o tintes se pueden extraer y ser utilizados en los CSST para absorber la luz y luego convertir la luz en energía eléctrica.



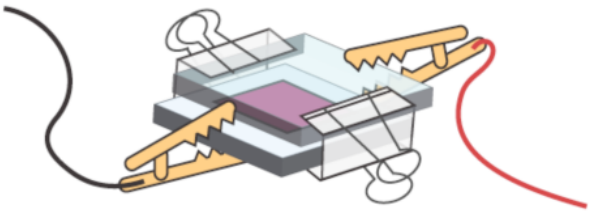
Brian O'Regan y Michael Grätzel, en Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne en Suiza, inventaron la celda solar usando TiO_2 sensibilizado con tintes. Este enfoque tiene muchas ventajas sobre otras tecnologías de conversión de energía solar debido a su construcción sencilla y barata con partículas de TiO_2. Además, los tintes pueden ser modificados para aumentar sus propiedades de absorción de la luz. Aunque todavía se debe trabajar para mejorar la eficiencia, los mejores dispositivos actuales convierten la energía solar a electricidad con una eficiencia sobre el 10%, compitiendo con las celdas de silicio que llegan a un máximo típico de entre 10-20%. Estos dispositivos utilizan tintes especialmente preparados que absorben la luz solar mucho mejor que los tintes de antocianinas extraídas de jugo de zarzamora.

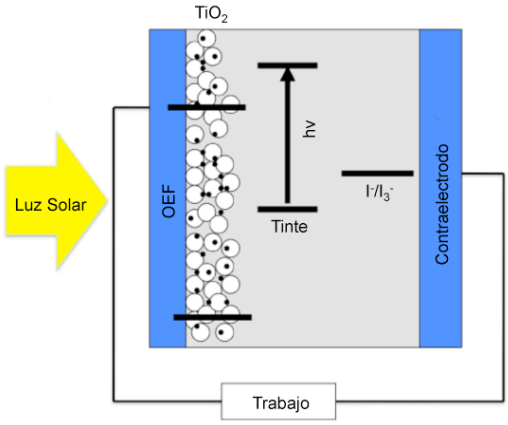
En este laboratorio los estudiantes van a extraer los tintes de materia vegetal usando un mortero y mano. La antocianinas se obtendrán de las zarzamoras y la clorofila, de hojas de espinaca. Luego se prepararán los electrodos. Los electrodos contienen una capa fina de pasta de TiO_2. A éstos electrodos se le aplicará el extracto de tinte obtenido.

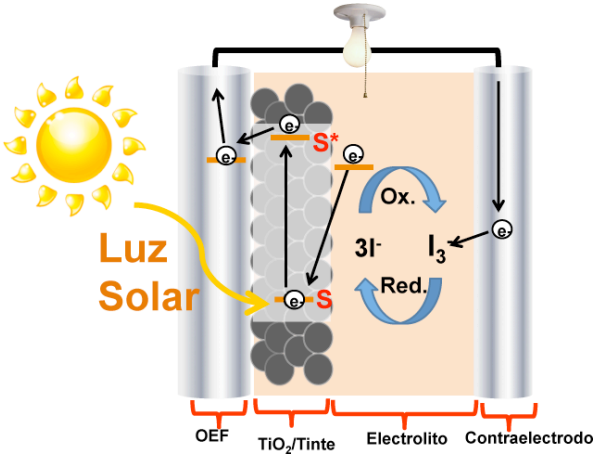
La capa de TiO_2 se prepara usando una pasta de partículas muy pequeñas de éste material. Estas partículas tienen su tamaño a escala nanoscópica, y por esto se les conoce como nanopartículas. Las nanopartículas se extienden en una capa fina sobre electrodos de vidrio conductor transparente. Además, ellas poseen una altísima área superficial, lo cual permite una mayor interacción con las moléculas del tinte. Esto permite recolectar una mayor cantidad de electrones generados por la interacción del tinte con la radiación solar. A pesar de que sólo una sola capa de moléculas de tinte es producida, una parte significativa de la luz es absorbida. El electrodo teñido se torna de blanco a un color púrpura oscuro.

Finalmente se deja secar el electrodo teñido y se junta con otro electrodo para formar una celda solar tipo emparedado ("sandwich"). El dispositivo tiene dos electrodos, el

fotoelectrodo de TiO_2 teñido (a la izquierda en la imagen siguiente - F: SnO_2) y un contraelectrodo necesario para completar el circuito. Por cada molécula del tinte que se excita con la luz, se transfiere un electrón al TiO_2. La molécula de tinte que pierde momentáneamente el electrón, recupera otro mediante su reacción con el electrolito. El electrolito, que contiene yoduro , transfiere electrones al tinte en contracto con el TiO_2 convirtiéndose en triyoduro. Esta secuencia de eventos da origen a una corriente eléctrica en la medida en que electrones fluyen desde el electrodo de TiO_2 a través del circuito externo hasta el electrodo que está en contacto con triyoduro. El triyoduro acepta electrones para convertirse en yoduro, completándose así el circuito. En el siguiente recuadro se demuestra cómo trabaja el dispositivo cuando es expuesto a la iluminación de la luz solar.







Este tipo de sistema con tinte de moras puede alcanzar eficiencias de 0.7% con una fotocorriente de 1 - 3 mA/cm^2 y 0.5 V cuando se utiliza un proyector de transparencias como fuente de iluminación para simular la luz solar. Los estudiantes suelen ver cambios en fotovoltaje mayores de 400 mV. Esto demuestra que la celda solar es estable.

Procedimiento (Día 1):

Materiales necesarios para el primer día:

1. 2 electrodos o placas conductoras transparentes (óxido de estaño dopado con fluúor, OEF, o en inglés “Fluor-doped tin oxide” FTO).* Un electrodo es de 2.5 cm de largo x 2 cm de ancho y el segundo es de 2.5 cm de largo x 1 cm de ancho.
2. Pasta de nanopartículas de TiO_2* (Contiene una mezcla de nanopartículas de TiO_2, agua y surfactante).
3. Cinta adhesiva Scotch.marca 3M
4. Esparcidor de pasta (puede ser cualquier bordes rígidos recto, por ejemplo, un agitador de vidrio, portaobjetos, etc.)
5. Lápiz de grafito

* Todos los artículos se encuentran dentro del kit de CSST

Preparación de electrodos de TiO_2

1. Toma el electrodo más ancho de OEF y asegúrese de que el lado conductor quede hacia arriba - mide con un multímetro la resistencia entre dos puntos cualesquiera en la superficie del electrodo. Si no se produce una lectura en el multímetro, voltee el electrodo y vuelva a medir. La medida de resistencia debe estar entre 10 y 30 ohmios. (Maneje con cuidado los lados de los electrodos y evite tocar las caras de los electrodos.)
2. Usa la cinta adhesiva para immobilizar el electrodo a una superficie limpia y resistente de modo que la cinta sobresalga 0.5 cm tanto hacia abajo como a lo largo del electrodo (Figura 1a). Esto creará un carril en el centro del electrodo donde se ubicará la pasta de TiO_2.
3. Con una pipeta, deje caer unas cuantas gotas de la pasta de TiO_2 en el centro de la superficie sin la cinta adhesiva y riegue la solución a través de toda la superficie expuesta con el esparcidor de pasta. La cinta debe actuar de forma que permita una capa uniforme del carril central del OEF (Figura 1b, 1c). Deja secar el electrodo por una noche.

Figura 1a Figura 1b Figura 1c

Figura 1 (a, b, c): Pasos para el depósito de pasta de TiO_2 y "doctor blading"

4. Usa el otro electrodo menos ancho y con el multímetro identifica el lado conductor (ver paso 1). Utiliza un lápiz para recubrir toda la superficie del electrodo con grafito del lápiz.

Procedimientos (Día 2):

Materiales segundo día:

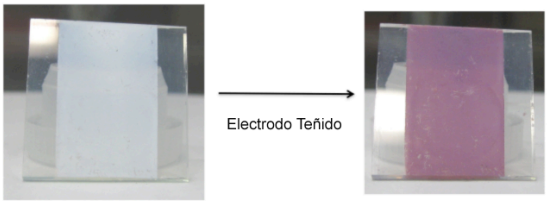
Electrodo de TiO_2 (hecho el primer día)
Electrodo de Grafito (hecho el primer día)
Multímetro
Plancha de calentamiento
Mortero y mano
1 – 2 zarzamoras
Pipeta de vidrio
Grapas de carpetas

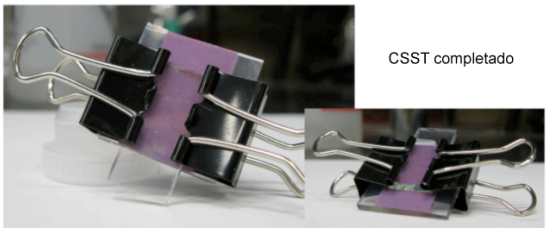
Vaso de desperdicios
Pinzas

Reactivos:
1 – alcohol isopropílico
2 – etanol
3 – agua destilada
4 – solución con electrolito

Procedimiento (Día 2):

1. Retire la cinta adhesiva del electrodo de TiO_2 seco. Limpie cualquier resto de pasta blanca de la parte inferior del cristal con alcohol isopropílico (AIP o isopropyl alcohol "IPA" por sus siglas en inglés) y una toalla de papel.
2. Con unas pinzas, coloque cuidadosamente el electrodo de TiO_2 en una plancha caliente por 15 minutos. El electrodo está listo cuando se vuelve blanco brillante (~ 30 min.), aunque podría tornarse oscuro antes de tomar el color blanco brillante debido a la quema del surfactante. (Continúe al paso 3 en lo que espera.) Utilice pinzas o tenazas para quitar el electrodo de la plancha caliente, maneje la placa sólo por los bordes. Deje que el electrodo se enfríe durante 15 minutos en la bandeja designada. (Cuidado: Si el enfriamiento del electrodo es demasiado rápido puede causar que se rompa.)
3. Mientras espera, prepara el tinte machacando 1-2 moras con un mortero.
4. Tome el electrodo de TiO_2 frío y ubíquelo en contacto con las zarzamoras machacadas por 5 minutos. Usa pinzas para manejar el electrodo en todo momento.
5. Con la botella de agua destilada, enjuaga el electrodo de TiO_2 que fue teñido, recogiendo los desperdicios del enjuague en un vaso de laboratorio. Luego lava el electrodo con etanol recogiendo los residuos en el mismo vaso. Deja que el electrodo teñido se seque durante 5-10 minutos.





6. Junte la cara del electrodo de TiO_2 teñido (el más ancho) con el contraelectrodo (el que tiene grafito) usando dos grapas tal y como se demuestra en la imagen arriba a la derecha. Asegúrate de que el grafito está en contacto con el TiO_2 color púrpura y evita el contacto entre las partes del electrodo sin grafito o TiO_2.
7. Utilice un gotero o tubo capilar de vidrio para rellenar el espacio entre los dos electrodos con la solución de electrolito de yoduro/triyoduro (I^-/I_3^-). El color del espacio entre los electrodos de vidrio debe tornarse ligeramente amarillo.
8. Para probar la celda solar, conecte el terminal positivo (rojo) del multímetro en el electrodo de grafito y el terminal negativo (negro) en el electrodo de TiO_2. Mide el voltaje y la corriente obtenida en los siguientes tres ambientes: luz de la habitación, en el proyector de transparencias y afuera al sol. Registra tus resultados en la tabla de datos. No olvides registrar las condiciones del tiempo (soleado, nublado, etc.)

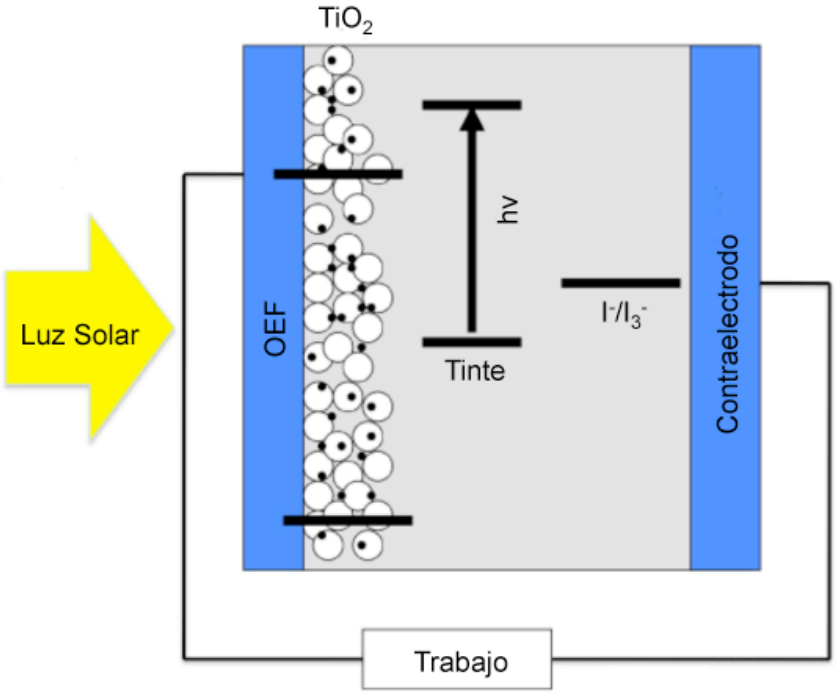
Tabla de datos (incluye las unidades para el voltaje y la corriente)			
Ambiente	Luz de la habitación	Luz del proyector	Luz afuera del salón (solar)
Voltaje (V)			
Corriente (mA)			

Comentarios (Recuerda anotar la información sobre el clima):

Preguntas:

1. Una hoja y una celda solar pueden convertir energía solar en otro tipo de energía. ¿Qué tipo de energía produce cada uno?
2. ¿De dónde proviene la energía que estamos utilizando en la celda solar? (¿Qué causa que los electrones del tinte se muevan?)
3. Cuando el tinte en las DSSC pierde un electrón, ¿qué le pasa al tinte: se oxida o se reduce?
4. ¿A qué lado del electrodo de vidrio se aplicó la capa de TiO_2? (Lado conductor o no conductor) ¿Por qué?

5. El grafito está hecho de capas de carbono. ¿Cuál es la fuente de grafito con que cubrió el contraelectrodo?
6. La pasta de TiO_2 que se utilizó en este experimento está formado por partículas pequeñas (25 nm). Un nanómetro (nm) es una mil millonésima parte de un metro, o 0.000000001 m. Escribe el número en notación científica.
7. ¿Por qué es importante utilizar partículas de tamaño nanométrico para la capa de TiO_2? (Incluya el término área superficial en su explicación).
8. La pasta de TiO_2 es de color blanco y se utiliza en muchos productos comerciales: pintura blanca, pasta de dientes, donas en polvo, etc ¿Por qué tenemos que usar tintes de color oscuro como el de las zarzamoras? (Sugerencia: Piense en cómo la luz se refleja o se absorbe.)
9. Dibuje la dirección en la que los electrones se mueven a través de la celda solar sensibilizada por tinte en el diagrama de energía potencial a continuación. La flecha de la fotoexcitación (la luz al excitar el tinte) está incluida.



Las celdas solares que se han construido requieren un tinte (colorante de antocianina del jugo de mora), las nanopartículas de TiO_2 (pasta blanca), y electrolitos (yodo y yoduro de potasio) para funcionar.

¿Cuáles son los efectos de la eliminación de uno o más de estos componentes de la celda? Explique por qué cada componente es crucial para el funcionamiento de una celda solar sensibilizada por tinte.

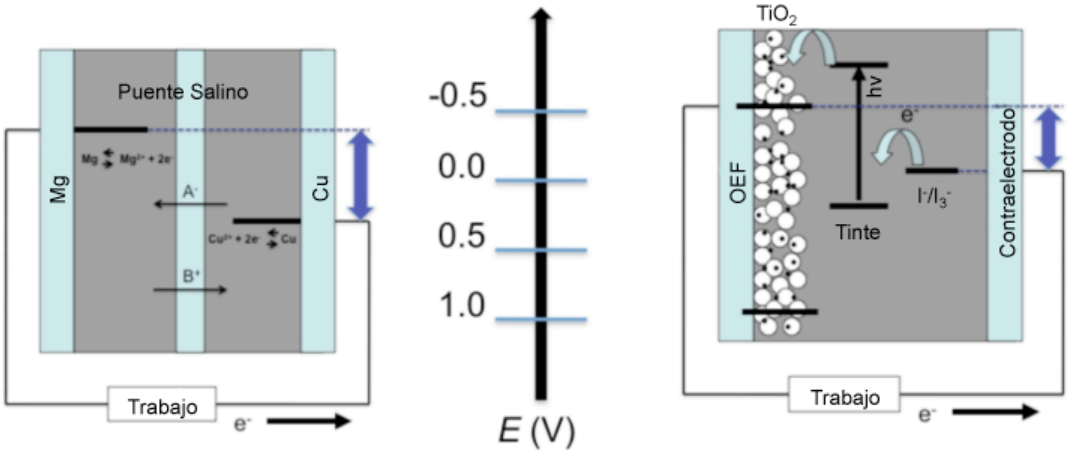
- El electrolito (triyoduro, I_3^- y yoduro de potasio KI)

- Nanopartículas de TiO_2
- Tinte de antocianinas (del jugo de zarzamora)

El tinte de antocianina del jugo de mora absorbe la luz verde. ¿Qué pasaría si tu filtras la luz que incide sobre la celda solar con un filtro verde? ¿un filtro rojo? ¿un flitro azul?

¿Qué pasaría si se usan otras frutas o verduras y no las zarzamoras para producir el tinte (moras, frambuesas, arándanos y granadas)? Tenga en cuenta el color y la eficiencia de celdas solares (corriente y voltaje obtenidos).

Explica las similitudes (usando flechas que demuestren el movimiento de los electrones) entre los dos diagramas de niveles de energía mostrados abajo. El primero representa el funcionamiento de una celda galvánica como la que usted construyó en una actividad anterior y el segundo representa una celda tipo CSST. ¿Qué representan las dos flechas grandes azules en los diagramas? ¿Cómo se crea esto en cada una de las figuras?



Referencias

Cherapy, N.J., Smestad, G.P., Graetzel, M. & Zhang, J.Z. (1997). "Ultrafast Electron Injection: Implication for a Photoelectrochemical Cell Utilizing an Anthocyanin Dye-Sensitized TiO_2 Nanocrystalline Electrode," *Journal of Physical Chemistry B*, Vol. 101, No. 45, Pgs. 9342 - 9351, Nov. 6, 1997.

Components of the Solar Cell Procedure. Retrieved from http://www.solideas.com/solrcell/kitcomp.html.

Smestad, G.P. (2009). "**Optics of Solar Cells**," 93rd Annual Meeting, Frontiers in Optics (FiO) 2009/Laser Science (LS), 25th Conference, Optics for Renewable Energy, Optical Soc. of America, San Jose, CA, October 11 - 15, 2009.

Smestad, G.P. (1998). "Education and solar conversion: Demonstrating electron transfer", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 55, Pgs. 157-178, 1998.

Smestad, G.P. & Graetzel, M. (1998). "Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology: A Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline Energy Converter," *Journal of Chemical Education*, Vol. 75, pp 752-756, June 1998.