

VNIVERSITAT (ò*)
E VALÈNCIA] Facultat de Química
Departament de Química
Inorgànica

***Laboratorio de Química
Doble grado Química-Física***

Curso 2022-2023

Autores: Sonia Murcia-Mascaros, Jamal, El
Haskouri Bennagi, Maria Teresa Climent
Santamaria and Hendrik Bolink

CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA SOLAR

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), aprobados por la ONU en el 2015, son un conjunto de medidas para alcanzar un desarrollo sostenible a nivel económico, social y medioambiental. Entre los objetivos, concretamente el ODS-7, propone que se debe “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna” lo que implica dirigir los esfuerzos hacia el acceso a fuentes de energía renovables, que no dañen el medioambiente, al contrario de lo que sucede con el empleo de combustibles fósiles.

El sector energético es actualmente responsable del 75% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. La lucha contra el cambio climático requiere una descarbonización radical de la industria energética y la energía solar fotovoltaica es una tecnología central en todos los planes propuestos para una transición energética renovable. La energía solar puede proporcionar electricidad libre de carbono, asequible y omnipresente, y es capaz de superar económicamente a los combustibles fósiles y a otras tecnologías renovables en la mayoría de los lugares del mundo. Los dispositivos fotovoltaicos (FV) que convierten la energía solar en energía eléctrica tienen el mayor potencial para liderar el futuro escenario energético (Fig. 1). Sin embargo, para conseguir un suministro de energía libre de carbono en 2050, la capacidad de generación fotovoltaica instalada en la UE tiene que aumentar a más de 4 TW en 2025, y a 21,9 TW en 2050. Estos objetivos exigen un enorme cambio en la forma de generar y consumir energía.

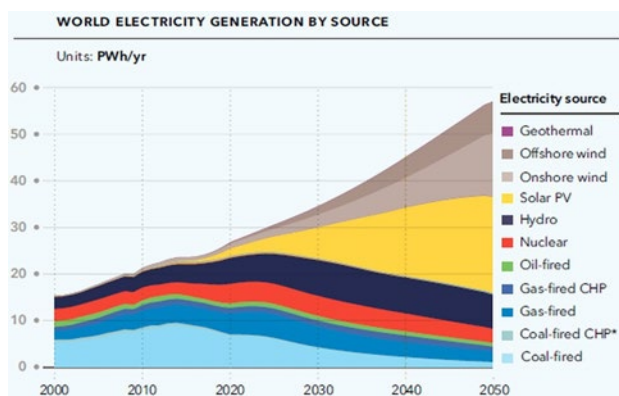


Fig 1 Generación de energía en el mundo divide por origen en Petavatiohora (Peta es 10E15).

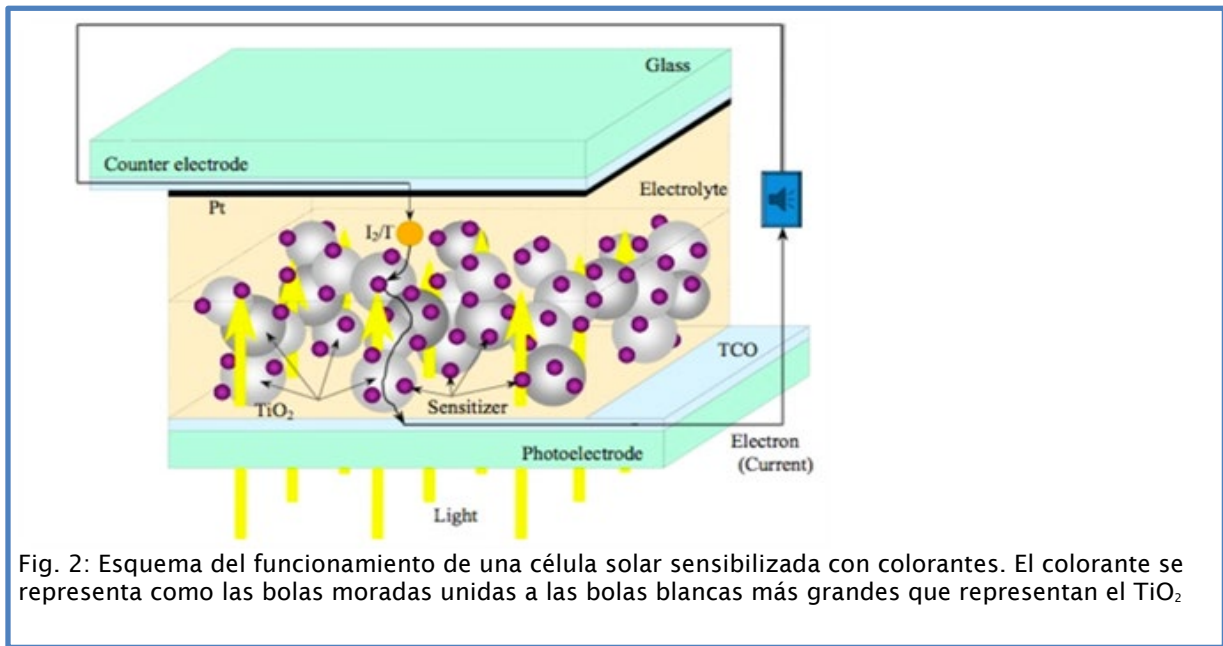
Dado que la eficiencia de las instalaciones fotovoltaicas basadas en el silicio c-Si están llegando a su límite práctico y económico, necesitamos tecnologías fotovoltaicas alternativas que tengan un menor impacto en el paisaje que las fotovoltaicas c-Si.

Las celdas fotovoltaicas de película fina o también llamadas de película delgada (thin-film solar cell, abreviadamente TFSC, en inglés), se construyen mediante un depósito de una o más capa sobre un sustrato de vidrio o plástico. Estas celdas llamadas de segunda generación tienen diferentes ventajas respecto a las de C-Si, ya que pueden producirse a gran escala utilizando menos energía, tienen un menor peso (alta relación entre potencia y peso), pueden ser flexibles y semitransparentes. Esto permite su uso en aplicaciones llamadas de "doble uso terrestre/espacial", como la agrivoltaica, la automoción y la fotovoltaica integrada en edificios.

En esta experiencia vamos a construir una celda o célula solar (tipo Grätzel), también conocidas como células solares sensibilizadas por colorante (Dye Sensitized Solar Cells o DSSC). Estas células fueron inventadas en 1991 por un grupo de investigación de la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL) encabezado por Michael Grätzel y Brian O'Regan. Los dispositivos en cuestión son capaces de transformar la energía solar en energía eléctrica, mediante el efecto fotoeléctrico. Aunque no han alcanzado la eficiencia que presentan las celdas basadas en silicio, se han logrado obtener buenos resultados con ellas obteniéndose una eficiencia, η , del 12 %.

La celda solar DSSC, se compone principalmente de cuatro componentes, colocados en una estructura tipo sandwich:

- a) Fotoánodo o electrodo negativo (óxido semiconductor TiO_2 depositado sobre un vidrio conductor)
- b) Colorante sensibilizador de luz; (té rojo, frambuesas, etc.)
- c) Electrolito: compuesto por I^-/I_2 (par redox)
- d) Contraelectrodo o electrodo positivo: consiste en un vidrio conductor con una película de grafito. (Para conseguirlo se pinta con lápiz la cara del vidrio conductor).



El funcionamiento de la celda consiste en la captura de los fotones de la radiación solar, por parte del colorante (que se encuentra adsorbido en el TiO₂) (Fig. 2).

Este colorante, no es capaz de transportar cargas, por lo que se enlaza a un semiconductor que sí tiene la capacidad de transportar los electrones. Este semiconductor es el TiO₂ que tiene una superficie polar, de forma que el colorante orgánico se puede unir covalentemente con él.

Para aumentar el número de moléculas de colorante que se unen al semiconductor, se utilizan

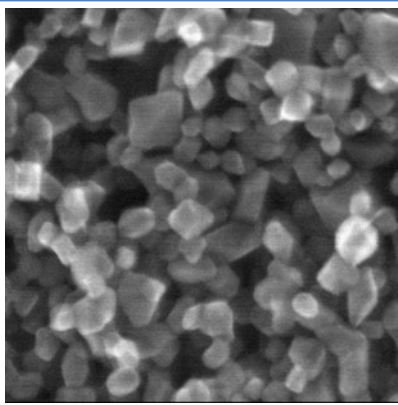


Fig. 3: Imagen SEM de una capa de TiO₂ mesoscópico

nano-partículas de TiO₂ fusionadas (ver imagen en Fig. 3). De este modo, la superficie del TiO₂ aumenta enormemente y, por tanto, también la cantidad de colorante adherido a él. La energía de los fotones, excita un electrón del colorante desde un nivel de energía fundamental a otro nivel de energía más elevado. El electrón excitado del colorante se transfiere rápidamente al TiO₂ dejando el colorante cargado positivamente. Este electrón se transfiere a la banda de conducción del TiO₂ que por difusión pasa al electrodo

negativo (fotoánodo) y es transportado por el circuito externo hasta llegar al electrodo positivo (contraelectrodo). Al mismo tiempo, el electrolito (par redox I₂/I⁻) cede un electrón al colorante cargado positivamente (oxidado) dejándolo en su estado neutro. Por lo tanto, el par redox (par redox I₂/I⁻) se reduce. Como el par redox está formado por iones disueltos en etilenglicol, también pueden llegar al contraelectrodo, donde se oxida. Por lo tanto, el círculo es completo y el colorante puede absorber otro fotón de nuevo. Este círculo se representa en la Fig. 2 como

el movimiento de electrones.

Para determinar la eficiencia de una célula solar, es importante utilizar un espectro solar normalizado con una energía constante. Esto es importante ya que varía, dependiendo del lugar de la tierra, la hora del día y la intensidad del sol. Se acordó utilizar una condición definida como AirMass 1.5 a 100 mW/cm^2 como espectro solar estándar. Por lo tanto, necesitamos lámparas especiales (simuladores solares) para poder determinar correctamente la eficiencia de las células solares.

Una vez que iluminamos la célula con el simulador solar, se puede realizar un barrido de tensión en función de la intensidad (Fig. 4).

La energía máxima que genera la célula es cuando el producto de I-V es mayor en el denominado punto de máxima potencia.

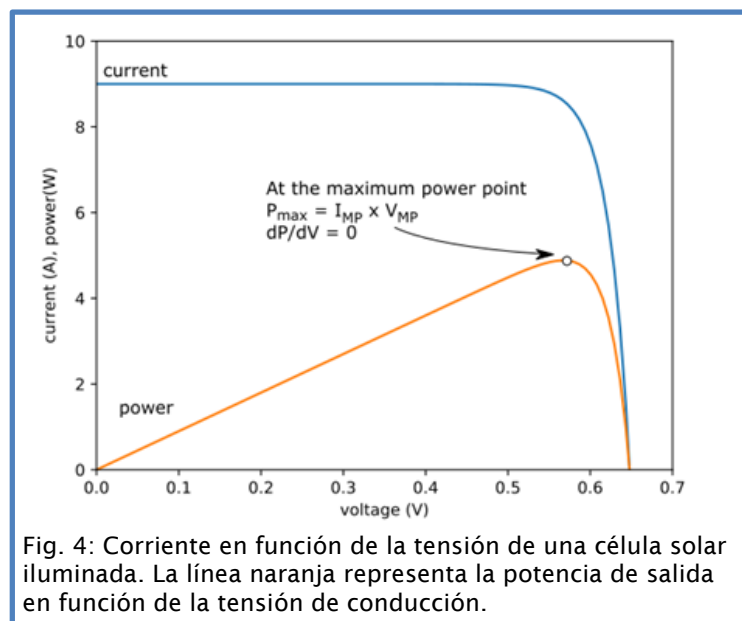


Fig. 4: Corriente en función de la tensión de una célula solar iluminada. La línea naranja representa la potencia de salida en función de la tensión de conducción.

Preguntas previas.

1. ¿Qué es el proceso de sinterización?
2. ¿Qué significa que al medir el lado no conductor del vidrio el polímetro marque 1?
3. ¿Por qué se pinta con lápiz uno de los vidrios?
4. ¿Por qué el rendimiento máximo de una célula solar que emplea un solo tipo de absorbente no es 100 %?

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Material

TiO₂ (anatase < 25 nm)

Ácido acético muy diluido (0,1 mL de ácido acético concentrado en 50 mL de agua)

Electrolito: KI_3 en etilenglicol (0.5 M de KI y 0.05 M de I_2 en etilenglicol anhidro)

Mortero y mano

2 Vidrios conductores

Celo

Polímetro

Cuentagotas vidrio

Etanol 96%

Colorante sensibilizador: (Extractos vegetales de color rojo o azul como: té rojo, moras, frambuesas, granadas y cerezas. Las fresas y las uvas rojas no funcionan.) Es importante que la molécula sensibilizadora tenga una absorción intensa en la región visible del espectro electromagnético.

Clips

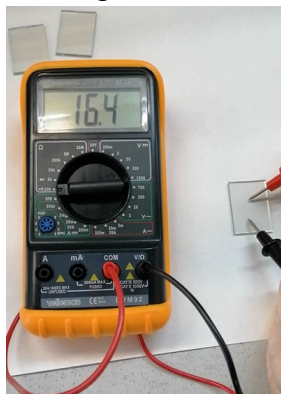
Fuente de luz

Lápiz

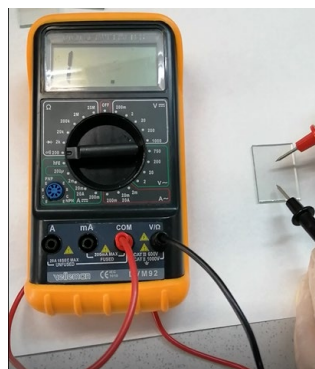
1. Preparación de las placas conductoras. Una de las caras del vidrio está recubierta con una película de óxido de estaño dopado con fluoro, lo que permite el paso de la corriente a través de la misma.

Para identificar qué lado del vidrio es conductor, se procede a medir la resistencia con el polímetro. El lado conductor tendrá una resistencia de 15-30 ohmios y el no conductor mostrará un valor de 1. Realizarlo con los dos vidrios, y dejar el lado conductor hacia arriba.

La imagen muestra la lectura de la resistencia en cada lado.



Lado conductor



Lado no conductor

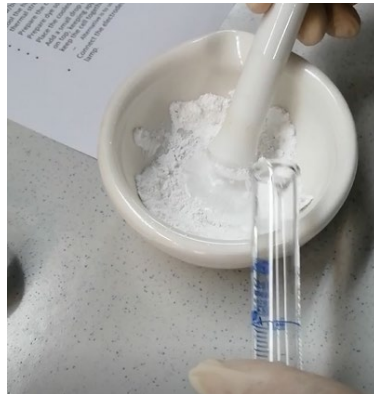
2. Con el lado conductor hacia arriba, pegar con celo, el vidrio a la mesa o a un papel de filtro, por dos lados opuestos. Limpiar las huellas dactilares o la grasa con un papel humedecido con etanol. (Realizarlo con los dos vidrios) Protege también una pequeña parte del top del FTO (indicado con la flecha rojo) para que se puede contactar una vez construido la célula solar.

La cinta adhesiva servirá como espaciador para controlar el grosor de la capa de dióxido de

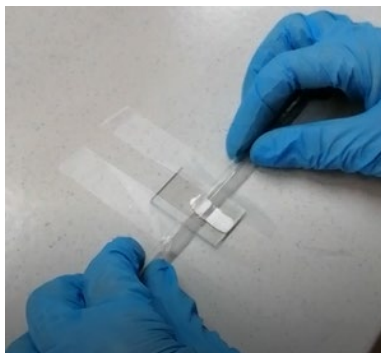
titanio (40-50 micrómetros) por lo que la cinta no debe estar arrugada.



3. Preparar la pasta de TiO_2 , mezclando en un mortero 5g de TiO_2 con 8 mL de (ácido acético diluido (0,1 mL de ácido acético concentrado en 50 mL de agua). El ácido acético se añadirá poco a poco mientras se molitura. (Este proceso se ha realizado el profesor para todo los grupos)



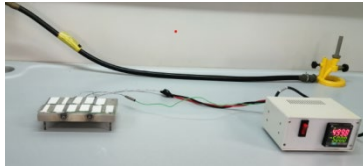
4. Agregar una pequeña cantidad de pasta de dióxido de titanio a uno de los vidrios y extenderla antes de que se seque la pasta. Se debe utilizar una varilla de vidrio.



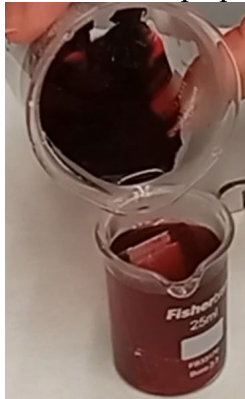
5. Dejar secar unos minutos y retirar con cuidado la cinta adhesiva, sin rayar el revestimiento de TiO_2 . Dejar la cinta adhesiva en el bote de residuos.

6. Sinterizar el TiO_2 para ello calentar (en la vitrina), el vidrio con TiO_2 en una placa calefactora a 500°C durante 10-20 minutos. Es posible que la superficie se vuelva marrón por la combustión de la materia orgánica, pero a medida que avanza la calefacción se volverá blanco.

Dejar que el vidrio se enfríe **lentamente** apagando la placa calefactora.

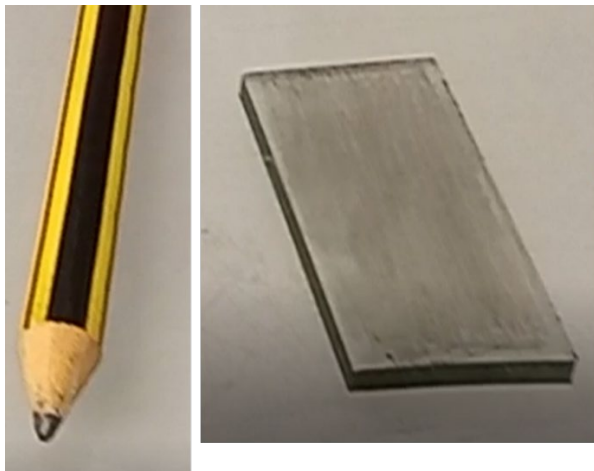


7. Preparar el colorante, en esta practica se usa el colorante del te rojo hibiscus. Se hierva el agua y se introduzca el te rojo. Despues de enfriar se decanta el extracto y se coloca en un vaso con diámetro pequeño apto para sumergir las cristales cubiertos con la capa de TiO₂.

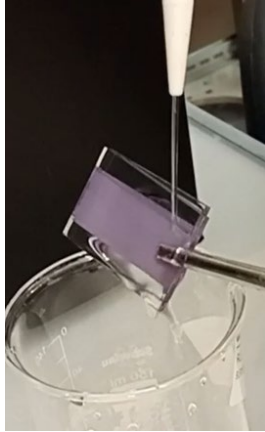


El TiO₂ blanco cambiará de color a medida que el tinte se absorba. Dejarlo sumergido 20 min. Mientras tanto pasar al siguiente punto. El colorante se fija con un enlace covalente a la superficie del TiO₂ mediante la formación de esterres.

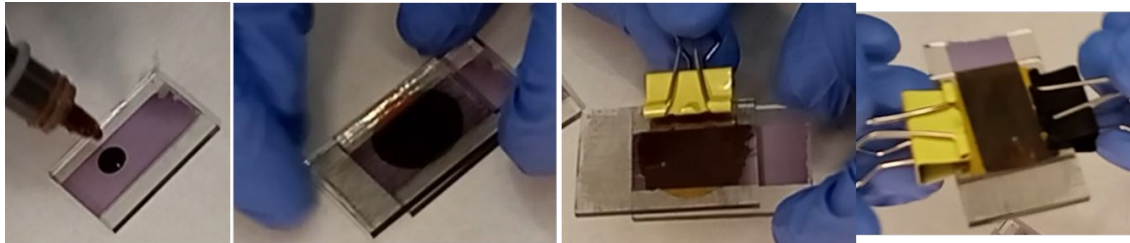
8. La segunda pieza de vidrio que habíamos preparado en el paso 1 y 2, se pinta el lado conductor con un lápiz.



9. Después de unos 20 minutos, retiramos las placas FTO cubiertas de TiO₂ tintadas de la solución de colorante. Se ha coloreado de púrpura debido al colorante adsorbido. Lavamos suavemente estos sustratos con un poco de etanol. Como el colorante está enlazado covalentemente, no se quita con este tratamiento. El etanol debe evaporarse antes de montar la celda.

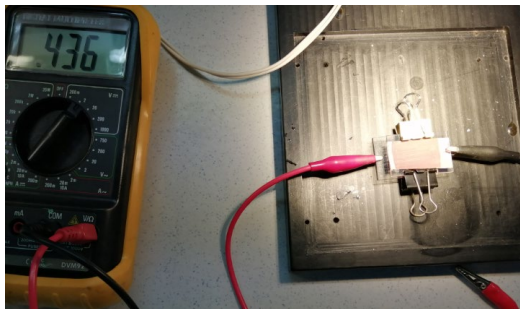


10. Agregue una gota de una solución de triyoduro en una de las placas de vidrio y ensamblar las dos placas de vidrio con los lados recubiertos juntos, pero desplazados. No frotar ni deslizar las placas.

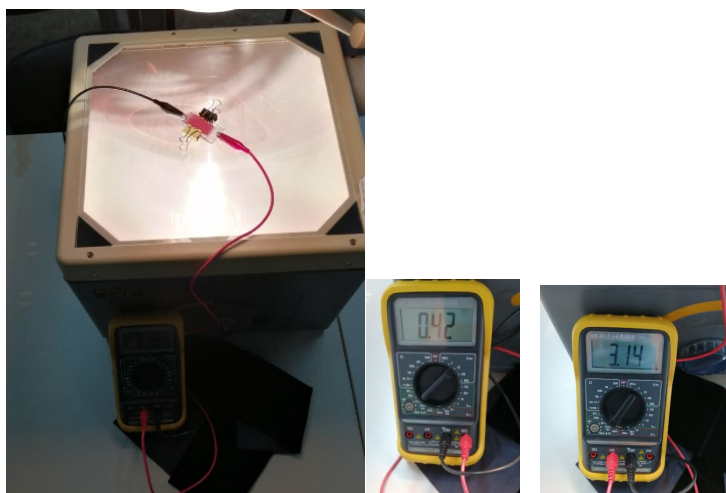


Sujetar las placas con clips de carpeta.

11. Conecte un fuente de voltaje y un multímetro usando pinzas de cocodrilo a cada placa (el electrodo negativo es el vidrio recubierto de TiO_2 y el electrodo positivo es el vidrio recubierto de carbono). El profesor ha puesto la distancia de la lámpara para que la intensidad es alrededor de 100 mW/cm^2



Aplicar voltaje en pasos de 0.05 volt y notar la corriente medida. Empieza con zero volt hasta 0.5 volts. Preparar una tabla y generar una curva I-V. Calcular la densidad de corriente dividiendo la corriente por el área de la célula solar (la parte active, es decir la zona donde hay solapamiento de los electrodos). Después calcular la potencia generada por la célula (via el producto $J \times V$) y hacer un gráfico de esto frente a la tensión aplicada por cada voltaje.



Medidas de voltaje e intensidad, cuando se ilumina con el retroproyector.

PREGUNTAS POST PRACTICA

- 1- ¿Ha funcionado la celda solar? Anotar las medidas de corriente y el voltaje (con unidades) producidos por su celda solar en sus conclusiones. ¿Cuánta energía se produce? (energía / tiempo = voltios x amperios = vatios)
Comparar los diferentes colorantes utilizados.

V (volts)	Intensidad (mA)

* Colorante: té rojo

- 2- ¿Que es la potencia maxima de la celulas solar?
- 3- Que es la eficiencia de la células solar preparada?
- 4- ¿Cuál es la función de cada parte de la celda solar que construiste? Para responder a esta pregunta describir el camino de un electrón a través del circuito completo.
- 5- ¿Qué reacciones tendrán lugar en el electrolito? (Tanto al aceptar el electrón, como al cederlo).

- 6- Buscar en internet si este tipo de celdas se están utilizando actualmente. Y las ventajas e inconvenientes respecto a las de silicio.

❖ Tratamiento de residuos

- > El TiO_2 es inocuo, pero debido a su tamaño de partícula es conveniente eliminar el polvo que se desprenda, como residuo peligroso.

❖ Bibliografía

- > G. Smestad, M. Graetzel, *J. Chem. Edu.*, 75, 752-756 (1998)
- > <https://www.cei.washington.edu/education/lesson-plans-resources/nanocrystalline-dye-solar-cell-lab>
- > <http://www.youtube.com/watch?v=Jw3qCLOXmi0>
- > <https://www.redalyc.org/jatsRepo/933/93357608005/html/index.html>