

A1 La electricidad a partir de células solares – Construimos una célula de colorante

Este experimento sirve muy bien para abordar el tema de las células solares, dado que a diferencia de los experimentos con células acabadas de silicio los alumnos y alumnas pueden observar en la práctica el funcionamiento básico de las células solares. En la clase de Química es posible verificar en base a los experimentos los conocimientos del modelo atómico de Bohr (niveles energéticos u órbitas que describen los electrones), aplicando también los conocimientos del campo de las reacciones químicas de reducción-oxidación. En la clase de Biología, los experimentos con la célula de colorante resultan ideales para introducir o ilustrar el tema de la fotosíntesis. Para este experimento se suministra material para que puedan trabajar cuatro grupos de alumnos a la vez. No se trata de experimentos complicados, pero sí es necesario trabajar de forma minuciosa. Está previsto que los tres experimentos parciales puedan realizarse en aprox. 45 minutos con alumnos y alumnas hábiles. Tratándose de alumnos y alumnas menos experimentados es conveniente calcular un poco más de tiempo u omitir los experimentos parciales 2 y 3. Este experimento también es muy útil para utilizarlo durante una jornada de proyecto sobre el tema de las energías renovables o regenerativas.

1 Pregunta central

La transformación de la energía solar en energía química según el principio de la fotosíntesis es un fenómeno que investigan los científicos desde hace décadas. Después de la célula solar de silicio en uso desde 1958, ahora también es posible transformar la energía de la luz solar en energía eléctrica con ayuda de colorantes mediante la célula Graetzel, patentada por su inventor, Michael Graetzel, en 1992. Si fuera posible implementar esta técnica a escala industrial, sería el método más económico para generar electricidad a partir de la luz solar.

Los experimentos que se proponen aquí giran en torno a las siguientes preguntas:

- ¿Cómo se construye una célula Graetzel y cómo funciona?
- ¿Cómo se puede determinar y mejorar el rendimiento de una célula Graetzel?
- ¿Qué procesos son comparables en la célula Graetzel y en la fotosíntesis?

2 Integrar el experimento en el contexto educativo

2.1 Base científica

La célula Graetzel hace posible la transformación de la energía de la radiación de la luz en energía eléctrica. Los procesos que tienen lugar en la transformación de energía y en la transferencia de electrones forman parte de los conceptos básicos de la enseñanza de las ciencias naturales.

Los alumnos y alumnas pueden entender en base a los experimentos la transformación de la energía y la transferencia de electrones y comprobar la influencia que ejercen los materiales y las condiciones diferentes sobre el rendimiento de la célula.

La célula Graetzel puede servir como modelo del funcionamiento de la fotosíntesis.

2.2 Relevancia en el plan de estudios

Para el grupo de edad hasta los 14 años el funcionamiento de la célula Graetzel sólo debería abordarse de forma cualitativa o semicuantitativa. La célula Graetzel sirve como modelo cualitativo de dos electrodos para explicar todos los procesos de las células solares. Además, se puede utilizar en el grupo de edad de 13 a 16 años como modelo funcional para entender mejor la fotosíntesis (la transformación de la energía de la luz en energía eléctrica o química).

Una vez que se conocen los modelos de los niveles de energía, el principio de donación y aceptación de electrones y los conceptos básicos de la teoría de la electricidad (tensión, intensidad y potencia), se pueden abordar los distintos pasos de la reacción de la célula Graetzel en mayor detalle, así como determinar en términos cuantitativos la influencia de los diferentes materiales y condiciones en el rendimiento de la célula.

La célula Graetzel es un buen ejemplo que puede ser utilizado en la enseñanza multidisciplinar de Biología, Química y Física.

- Las energías renovables y la transformación energética (la energía solar en energía eléctrica)
- El modelo de niveles de energía (los fotones transportan los electrones a niveles más altos de energía)
- Los espectros de luz y absorción (la longitud de onda y la energía de la luz radiada y absorbida)
- Los principios de la electricidad (los semiconductores, la tensión, la intensidad, la conexión en serie y en paralelo, la potencia en función de los materiales y las conexiones utilizados)
- Las reacciones de reducción-oxidación (transferencia de electrones)
- La fotosíntesis (la transformación de energía solar en energía química)

Temas y terminología: Los espectros de absorción, la cesión de electrones, la aceptación de electrones, los electrolitos, la transferencia de electrones, el modelo de niveles de energía, el principio de donación y aceptación de electrones, el colorante, la célula de colorante, el semiconductor, la luz, la energía de la luz, el espectro de la luz, la reducción del yodo a yoduro, la energía de radiación, la radiación ultravioleta, la longitud de onda

2.3 Conocimientos a adquirir

Los alumnos y alumnas ...

- aprenden la estructura y el funcionamiento de la célula Graetzel.
- construyen una célula Graetzel ellos mismos y determinan la influencia de los diferentes materiales y condiciones en su rendimiento.
- describen los pasos de reacción comparables en la célula de Graetzel y en la fotosíntesis.

2.4 El experimento en el contexto explicativo

Los experimentos parciales pueden realizarse según los conocimientos previos de los alumnos y alumnas a un nivel más o menos elevado de exigencia.

- La construcción de una célula Graetzel y la prueba experimental de la transformación de la energía de la luz en energía eléctrica. Los alumnos y alumnas aprenden: Se necesitan dos materiales de electrodos con las propiedades de “cesión de electrones por la incidencia de la luz” y “absorción de electrones” para que se pueda producir el proceso de transformación.

- Experimentar investigando, para comprobar la influencia de los diferentes materiales y condiciones sobre el rendimiento de la célula y así entender las diferentes reacciones parciales que tienen lugar en la célula.
- Un planteamiento multidisciplinar teniendo en cuenta una comparación entre el funcionamiento de la célula Graetzel, la fotosíntesis y la célula solar.

2.4.1 La construcción de una célula solar de colorante

La célula Graetzel hace posible la transformación de la energía solar en energía eléctrica y aprovecha el principio de la fotosíntesis de los colorantes vegetales para la absorción de la luz. La capa portante de la célula se compone de dos placas de vidrio revestidas (el ánodo y cátodo), cada una de las cuales presenta por una cara una capa conductora de TCO (Transparent Conducting Oxide – óxido conductor transparente).

En el polo negativo (ánodo) la capa de TCO tiene un revestimiento adicional de dióxido de titanio y está impregnado de un colorante antociano.

En el polo positivo (cátodo) mejora la conductividad de la capa de TCO mediante una delgada capa de grafito.

Antes de colocar las dos partes conductoras del ánodo y cátodo una sobre la otra se añaden dos gotas de tintura de yodo (solución de yodo/yoduro de potasio) sobre el lado del ánodo.

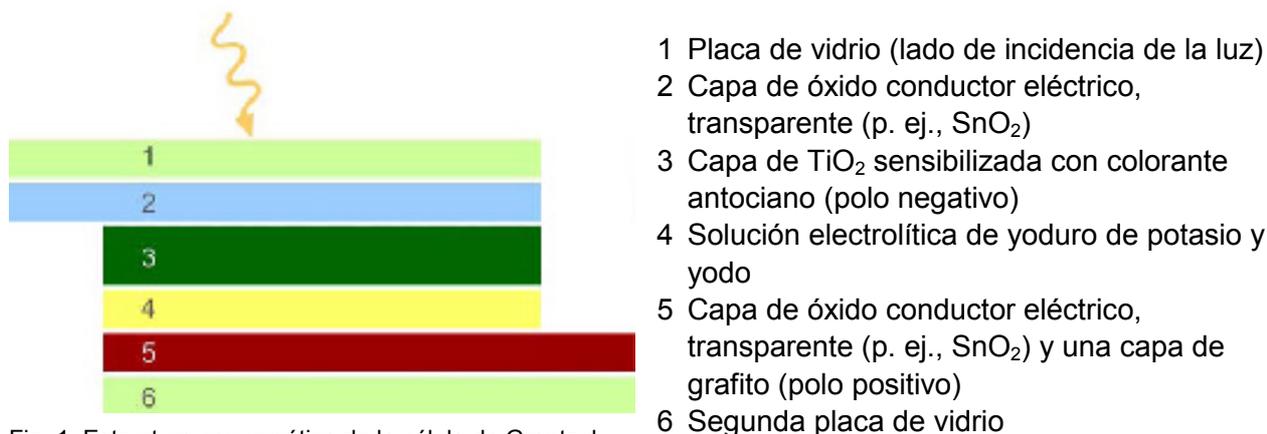


Fig. 1: Estructura esquemática de la célula de Graetzel.

2.4.2 La potencia de la célula de Graetzel a diferentes intensidades de luz

La célula de colorante inventada por Graetzel se compone, como todas las células solares, de dos electrodos separados entre sí por una capa. El primer electrodo puede liberar electrones al incidir la luz, el segundo electrodo puede absorber electrones. La célula de colorante comparte este principio con todas las demás células solares, p. ej., las células de silicio. En la célula de Graetzel al incidir la luz los electrones pasan directamente a través del circuito eléctrico externo al segundo electrodo. Allí, en la capa de separación de los dos electrodos, se juntan nuevamente con elementos de carga positiva. De esta forma se cierra el circuito completo a través del circuito interior de la célula de colorante.

2.4.3 Una mayor tensión debido a varias células de Graetzel

El funcionamiento se puede explicar con ayuda de los siguientes pasos parciales, relacionados entre sí:

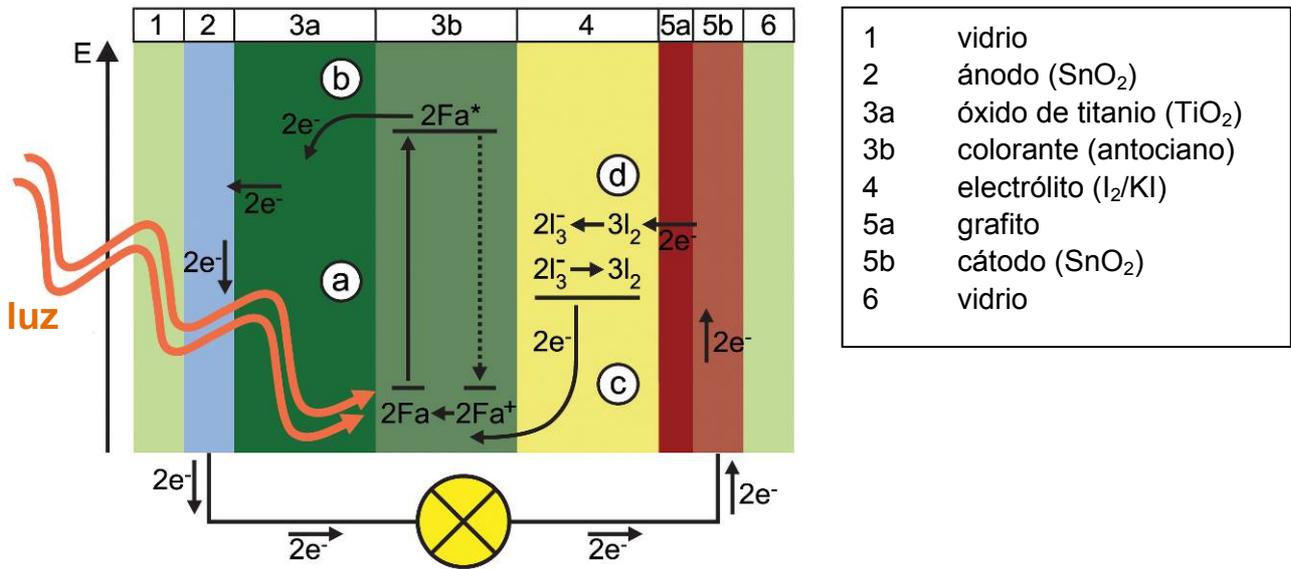


Fig. 2: El funcionamiento de una célula de Graetzel.

- Las moléculas de colorante (Fa) absorben la luz de una longitud de onda determinada. La energía absorbida de esta manera sirve para impulsar a que los electrones suban a un nivel energético superior (Fa*).
 $2 Fa + \text{energía de la luz} \rightarrow 2 Fa^*$
- A partir de este nivel superior de energía se pueden trasladar los electrones del colorante con gran cantidad de energía a la banda conductora del dióxido de titanio. Las moléculas de colorante tienen ahora una carga positiva y el dióxido de titanio una carga negativa.
 $2 Fa^* \rightarrow 2 Fa^+ + 2 e^- \rightarrow 2 TiO_2 + 2 e^- \rightarrow 2 TiO_2^-$
- El flujo de electrones sólo es posible porque la pérdida de electrones de las moléculas de colorante es compensada por las moléculas del yoduro.
 $2 I_3^- \rightarrow 3 I_2 + 2 e^- \rightarrow 2 Fa^+ + 2 e^- \rightarrow 2 Fa$
- Los electrones con gran cantidad de energía fluyen en un circuito eléctrico externo del ánodo al cátodo y pueden ceder energía a un eventual consumidor. Los electrones que llegan al cátodo (la capa de TCO y grafito) reducen las moléculas de yodo convirtiéndolas en iones de yoduro, cerrando de esta forma el circuito eléctrico.
 $3 I_2 + 2 e^- \rightarrow 2 I_3^-$

Gracias a la estructura de los diferentes sistemas de transferencia de electrones, éstos pueden fluir solamente en una dirección.

Un ejemplo de los resultados obtenidos en un experimento:

fuelle de luz	tensión en mV	intensidad en mA	potencia en mW
luz solar directa	400	0,6	0,24
proyector	350	0,4	0,14

2.5 Variantes de ejecución

Los alumnos y alumnas pueden trabajar en grupos y primero ir familiarizándose con la estructura y el funcionamiento de una célula Graetzel. En una segunda fase pueden investigar la influencia de los diferentes colorantes sobre el rendimiento de una célula. El objetivo podría ser accionar un aparato de baja potencia (una calculadora o un motor solar) con una cantidad y estructura determinadas de células de Graetzel.

En la clase de proyecto o en el aprendizaje por estaciones puede presentarse la estructura y el funcionamiento de la célula de Graetzel en un grupo y, a continuación, ante toda la clase.

Las reacciones parciales individuales que tienen lugar en la célula se pueden examinar en grupos de expertos y luego en el grupo de aprendizaje para lograr una presentación global.

A partir del grupo de edad de 16 años, resulta interesante abordar el tema de la célula de Graetzel de forma multidisciplinar. En grupos de expertos se puede abordar los temas del funcionamiento de la fotosíntesis (Biología), la célula de Graetzel (Química) y de la célula solar (Física), para después presentarlos ante todo el grupo de aprendizaje y compararlos.

3 Informaciones adicionales sobre el experimento

Para preparar y/o profundizar este experimento encontrará información complementaria en el Portal de Medios de la Siemens Stiftung:

<https://medienportal.siemens-stiftung.org>

4 Observaciones sobre la realización del experimento

4.1 Lugar en el que se realiza el experimento

No se requiere un lugar especial para realizar los experimentos.

Hay que contar con luz solar directa o disponer de una fuente de luz artificial.

4.2 Tiempo necesario

- aprox. 45 minutos para la construcción y el test del funcionamiento de la célula (experimentos parciales 1, 2 y 3).
- aprox. 90 minutos para experimentar investigando con diferentes materiales (variantes).
- aprox. 15 a 45 minutos para debatir los resultados. otros 120 minutos aproximadamente para abordar los temas de forma multidisciplinar, incluyendo la fotosíntesis.

4.3 Advertencias de seguridad

Los experimentos sólo pueden ser realizados bajo la vigilancia del profesor o de la profesora.

Hay que advertir a los alumnos y alumnas que los materiales suministrados sólo se deben utilizar siguiendo las instrucciones correspondientes.

En estos experimentos tenga en cuenta los siguientes peligros posibles y llame la atención de los alumnos y alumnas a este respecto:

- Normalmente es el profesor o la profesora quien se encarga de hervir el agua para preparar la infusión.
- El yodo sólo es tóxico para el cuerpo humano si se ingiere (aspira o si entra en contacto con la piel) en grandes cantidades. En pequeñas cantidades sigue utilizándose como desinfectante en la medicina. ¡En todo caso, los alérgicos deberían evitar que entre en contacto con la piel!

Según la normativa internacional GHS sobre sustancias peligrosas: "Atención"



Indicaciones de peligro H: H332, H312, H400
Indicaciones P: P273, P302, P352

El profesor o la profesora debe poner algunas gotas de tintura de yodo sobre la placa de vidrio preparada previamente.

4.4 Aparatos y materiales

A adquirir o preparar previamente:

- preparar infusión de hibisco:
Lo mejor es que antes de empezar el profesor o la profesora prepare media taza de infusión de hibisco concentrada para que lo puedan traer al aula cuando ya se haya enfriado un poco. No es posible conservar la infusión durante varios días o semanas, dado que el colorante pierde su efecto. Para preparar la infusión concentrada hay que verter 100 ml de agua hirviendo sobre 2 bolsitas de infusión. Al retirar las bolsitas hay que apretarlas bien para que salga el colorante.
- pañuelos de papel
- si hace falta, según las variantes de ejecución: fruta o jugos de fruta (p. ej., de mora, frambuesa, cereza o grosella). Los jugos de moras, saúco, grosella y otras sustancias que contienen antocianos pueden ser conservados congelándolos en porciones.
- hervidor de agua
- vaso de vidrio o taza
- proyector de láminas, marcador, rotulador o algo similar.
- lámpara de escritorio (lámpara halógena, 20W)

Incluido en el suministro:

Los aparatos y materiales entregados son suficientes para que **cuatro** grupos de alumnos realicen el experimento en paralelo.

El cableado y la utilización correctos del multímetro, los LED y el motor es algo que debería aclarar el profesor o la profesora de antemano en función de los conocimientos de los alumnos y alumnas, si hace falta haciendo una demostración.

Para **un** grupo de alumnos se requieren los siguientes materiales de la caja:

material	cantidad
lápiz, blando (6B)	1x
multímetro digital	1x
electrodo de vidrio para la célula de colorante (SnO, transparente)	1x
electrodo de vidrio para la célula de colorante (TiO ₂ , blanca)	1x
bolsita de infusión de hibisco (como colorante para la célula solar)	1x para toda la clase
tintura de yodo (solución de yodo/yoduro de potasio), frasco cuentagotas	2x para toda la clase
pinza (para papeles)	2x
juego de cable de medición banana/cocodrilo, en rojo y negro, respectivamente	1x
tapa enroscable (para vaso de 100 ml)	1x
jeringuilla (inyección cónica), 5 ml (como pipeta)	1x
cable conector de cocodrilo	4x



Fig. 3: Aparatos y materiales incluidos en el suministro para un grupo de alumnos.

4.5 Poner orden, eliminar residuos, reciclar

Todos los aparatos y casi todos los materiales suministrados en la caja se pueden reutilizar. Por ello debería asegurarse de que al concluir cada experimento coloquen todo nuevamente en la caja correspondiente. Así estará seguro de que Ud. y sus compañeros de trabajo encuentren todo rápidamente cuando lo quieran volver a utilizar.

Los aparatos que se hayan ensuciado al realizar los experimentos, como, p. ej., vasos, recipientes, cucharas, tubos de ensayo, deberían ser limpiados antes de colocarlos en las cajas. Lo más fácil es que los alumnos y alumnas se ocupen de hacerlo al finalizar el experimento.

Además, asegúrese de que los aparatos estén listos para ser utilizados en la próxima ocasión. Por ejemplo, hay que poner a cargar las pilas usadas (También es recomendable cuando no se han usado las pilas desde hace tiempo.).

Los materiales no reciclables como, p. ej., las barritas de medición del valor pH o el papel de filtro, deben ser tirados a la basura correcta.

Los residuos resultantes de este experimento se pueden tirar a la basura normal o por el desagüe.

Caducidad y regeneración de las células de Graetzel construidas

En las instrucciones se parte de que se utiliza la solución de yodo/yoduro de potasio suministrada. En caso de que se acabe, es conveniente preparar una solución de yodo/yoduro de litio (la composición: yoduro de litio (LiI) 0,5 mol/l y yodo (I₂) 0,05 mol/l).

Si las células solares preparadas se guardan en un sitio fresco y oscuro, pueden permanecer operativas durante al menos una semana. Las fuentes de luz intensas, p. ej., los proyectores, hacen que las células se sequen más rápidamente. Las células se pueden activar nuevamente mediante una gota de solución electrolítica.

Para lograr regenerarlas por completo se procede de la siguiente manera:

Primero se enjuaga el electrodo negativo (el que tiene la capa teñida de óxido de titanio) con agua destilada. Después se coloca en un recipiente con agua destilada para desteñirlo y se coloca al sol (p. ej., en el alféizar de la ventana). La radiación ultravioleta a la luz del sol hará que se destiña, dado que se destruyen los componentes orgánicos del colorante. En caso de que la capa de óxido de titanio sea blanca el electrodo se puede sacar del agua, secar con un secador y luego puede ser utilizado nuevamente.

Al limpiar el electrodo positivo sólo hay que lavar el electrólito pero no el grafito. El grafito no envejece y puede seguir funcionando plenamente. Si se repite el experimento, por si acaso debería colocarse una nueva capa de grafito sobre la capa ya existente.

Atención: Al regenerar los electrodos no pueden ser secados nunca con un paño o, en el peor de los casos, con un cepillo. Porque de esa manera se romperían las capas sensibles. Para acelerar el proceso de secado es posible secar suavemente los electrodos mojados con un papel blando o con algodón.

Los electrodos negativos y positivos deberían conservarse por separado.