

Caracterización óptica

de moléculas metaladas para celdas solares

- C. Roy Alejandro Lomas Zapata^a, C. José Miguel Jiménez Lozano^a,
M.E. Pamela Sisi Paredes Araiza^a, Dr. Gerardo Zaragoza Galán^b,
Dr. Daniel Espinobarro Velázquez^a.

Facultad de Ingeniería^a y Facultad de Ciencias Químicas^b, Universidad Autónoma de Chihuahua
FINGUACH Año 5, Núm. 15, Marzo - Mayo 2018

Desde la adaptación del ser humano a la energía eléctrica, no existe prácticamente ninguna actividad económica que no haga uso de ella, esta dependencia arraigada y la relación cada día más estrecha del hombre con la tecnología nos lleva de la mano con la constante búsqueda de nuevas fuentes de energía, así como la mejora de los procesos actuales de generación eléctrica ya sea por medio de la quema de combustibles fósiles o por medio de fuentes más limpias como lo son la energía eólica, hidroeléctrica, mareomotriz, la biomasa y la no menos importante energía solar[1].

En los últimos veinte años, con el auge de la generación de energía solar, el uso y producción de sistemas para captar la energía del sol han crecido a pasos agigantados, teniendo como su principal limitante los materiales involucrados en la fabricación.

El silicio es el principal componente de las celdas solares tradicionales, el cual como tal es altamente abundante en la naturaleza como óxido de silicio (IV) SiO_2 , no obstante requiere de un proceso largo y relativamente costoso para producir monocristales, con una eficiencia de aproximadamente 18-19 %, en comparación con las celdas solares de silicio policristalinas que tienen una eficiencia del 12-13 %, 20 % menos que las monocristalinas.

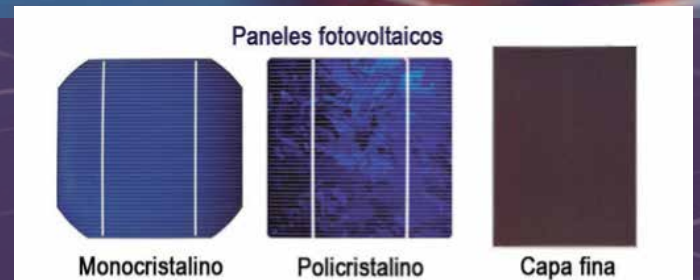


Figura 1. Tipos de celdas solares según su estructura cristalina.

Al contrario, las celdas solares de capa fina requieren menos material activo que las celdas solares de silicio, haciendo un *sándwich* del material principal entre dos capas de vidrio que son el doble de pesadas que su contraparte tradicional, pero con un menor impacto ambiental y mayores tiempos de vida media.

Pero su principal limitación radica en la escasez de los materiales que los conforman. Las principales celdas fotovoltaicas son de telurio de cadmio, seleniuro de cobre-indio-galio (CIGS por las siglas en inglés, *copper indium gallium selenide*, CuInGaSe_2) y arseniuro de galio, entre otros, siendo el telurio, cadmio, selenio, indio y galio, metales bastante escasos en la corteza terrestre así como en las minas de

El requerimiento principal para construir una celda solar eficiente es ser capaz de absorber una fracción significativa del espectro solar. A grandes rasgos, aproximadamente el 50 % de la energía del sol reside en las longitudes de onda menores a 700 nm (espectro de luz visible desde el rojo 620-700 nm hasta el violeta 400-450 nm)[2].

En este proyecto se usan las porfirinas con zinc ($C_{44}H_{28}N_4Zn$) diseñadas por el Dr. Zaragoza, cuya estructura se puede observar en la Figura 2, unida a otro compuesto para mejorar sus propiedades fotoeléctricas, siendo este el óxido de titanio (TiO_2) ubicado en la posición meso, logrando el desprotonamiento de la estructura normal de la PZn por medio del uso de un solvente ácido como es el ácido isonicotínico ($C_5H_4N[CO_2H]$)[3].

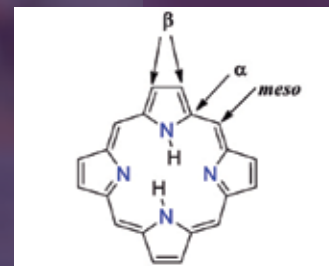


Figura 2. Estructura de la porfirina con sus posiciones.

La aplicación en la generación limpia de energía por medio de la construcción de celdas solares sensibilizadas con colorante es el propósito final del proyecto, no obstante, en la fase actual estamos caracterizando las propiedades ópticas de las moléculas y de las nanopartículas. Esta caracterización se basa en cuatro experimentos: absorción, emisión, tiempos de vida y eficiencia cuántica. Estos experimentos son realizados en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Químicas. Se utilizó un espectrofotómetro UV/Vis Lambda25 de PerkinElmer para el espectro de absorbancia, para el espectro de emisión se utilizó un fluorímetro Fluorolog-3 de Horiba, la espectroscopia resuelta en el tiempo se utilizó un sistema de conteo de fotones individuales correlacionados por tiempo (*Time Correlated Single Photon Counting*) montando al Fluorolog-3. Para la eficiencia cuántica se usó una esfera integradora Quanta-Phi.

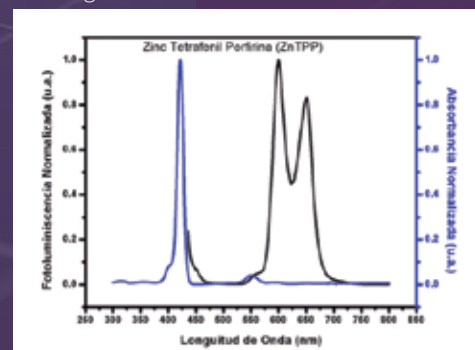


Figura 3. Espectros de absorbancia y fotoluminiscencia del zinc tetrafenil porfirina (ZnTPP).

La Figura 3 muestra en azul la absorbancia del ZnTPP, donde el pico de la absorción está alrededor de los 420nm y en negro la fotoluminiscencia con dos picos definidos en

baja profundidad, por lo cual su uso a gran escala es altamente costoso y poco viable.

Es aquí, donde gracias al descubrimiento realizado en 1991 por los científicos Brian O'Regan y Michael Grätzel[1] de las celdas solares orgánicas sensibilizadas por colorantes (DSSC por sus siglas en inglés, *Dye-sensitized solar cell*) con una eficiencia de aproximadamente 10.3 %, estos sistemas orgánicos buscan asemejar el proceso de absorción de la luz y separación de cargas que ocurre en la fotosíntesis empleando colorantes y semiconductores más abundantes y menos costosos como lo es el óxido de titanio (TiO_2) entre otros.

Las celdas solares sensibilizadas por colorante son baratas, eficientes, flexibles y amigables con el ambiente. No obstante tiene algunas limitaciones, siendo la más común e importante en comparación a los sistemas fotovoltaicos de silicio la ineficiencia para captar la parte roja e infrarroja del espectro solar.

Una celda solar típica necesita al menos tres componentes claves para su funcionamiento: un absorbente de luz (colorante) un agente de transporte de huecos y un agente de transporte de electrones. En ocasiones, un componente es forzado a realizar múltiples tareas, como en una celda de silicio típica, donde el silicio sirve como un agente de transporte de huecos (tipo p) o un agente de transporte de electrones (tipo n). Muchas celdas solares orgánicas aplican un enfoque similar, utilizando los colorantes absorbentes de luz como agentes de transporte de carga.

599nm y 650nm, en contraste podemos ver que en la Figura 4 el dióxido de titanio tiene un espectro de absorbanza más amplio y definido en el UV por lo que es ampliamente utilizado en celdas solares y con una fotoluminiscencia despreciable. En la Figura 5 se muestran los espectros de absorbanza y fotoluminiscencia de la unión del dióxido de titanio con zinc tetrafenil porfirina, se puede observar que el espectro de absorbanza se modificó y puede absorber en el visible y UV, sin embargo no se ha afectado su espectro de fotoluminiscencia.

La espectroscopía resuelta en el tiempo se obtuvo a través de la técnica de TCSPC que es el tiempo que tarda un fotón al excitar la muestra y ser detectado, el conteo de estos eventos genera el histograma. En la Figura 6 se muestra el histograma del tiempo de vida del ZnTPP, la cual fue excitada a 427nm y la detección de la emisión se obtuvo en dos longitudes de onda 599nm y 650nm, para el primer pico de detección el comportamiento es semejante a un decaimiento monoexponencial, por lo cual asumimos que está gobernado por procesos radiativos y en el segundo pico de detección el comportamiento es biexponencial. La Figura 7 muestra los resultados del dióxido de titanio, usando la misma excitación y mismas longitudes de onda para la detección, los tiempos de vida están en el orden de nanosegundos siendo mas largos para el dióxido de titanio con comportamientos tri exponenciales donde la mayor parte está gobernada por procesos no radiativos. En la Figura 8 se muestra el histograma de la unión del dióxido de titanio con zinc tetrafenil porfirina, siendo la transferencia de carga gobernada por procesos radiativos al igual que en ZnTPP[4], [5].

Los resultados preliminares con dióxido de titanio con zinc tetrafenil porfirina muestran un posible candidato para ser utilizadas en celdas solares; se ha mostrado que la ZnTPP ha reducido la barrera para la extracción de cargas, lo que afecta a la razón de recombinación, el rendimiento de una celda solar está directamente ligado a este parámetro. Sin embargo, debido a que el tiempo de vida del TiO₂ depende del tamaño de las nanopartículas, falta corroborar si la transferencia de carga es mayor al reducir las nanopartículas de TiO₂.

Referencias:

- M. K. Nazeeruddin, E. Baranoff, and M. Grätzel, (2011) "Dye-sensitized solar cells: A brief overview," *Sol. Energy*, vol. 85, no. 6, pp. 1172-1178.
- Y. Xie *et al.*, (2015) "Porphyrin Cosensitization for a Photovoltaic Efficiency of 11.5%: A Record for Non-Ruthenium Solar Cells Based on Iodine Electrolyte," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 137, no. 44, pp. 14055-14058.
- L. M. Nora A. Sánchez-Bojorge, Simón Flores-Armendáriz, María E. Fuentes Montero, Victor H. Ramos-Sánchez, Gerardo Zaragoza-Galán and Rodríguez-Valdez, (2017) "Theoretical and experimental analysis in porphyrin derivatives with suitable anchoring groups for dssc applications," *J. Porphyr. Phthalocyanines*, vol. jpp160242.
- D. Espinobarro-Velazquez, M. A. Martínez-Herrera, P. S. Paredes-Araiza, and G. Zaragoza-Galán, (2017) "Study of Charge Transfer in Porphyrin with TiO₂ nanoparticles," in *POLYMAT*.
- N. McElroy *et al.*, (2014) "Comparison of solar cells sensitised by CdTe/CdSe and CdSe/CdTe core/shell colloidal quantum dots with and without a CdS outer layer," in *Thin Solid Films*, vol. 560, pp. 65-70.

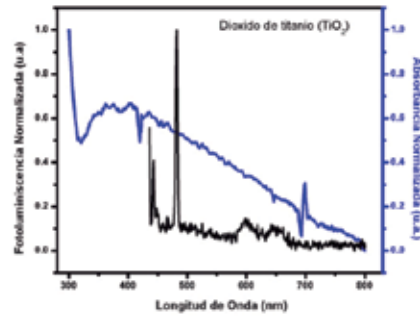


Figura 4. Espectros de absorbanza y fotoluminiscencia del dióxido de titanio.

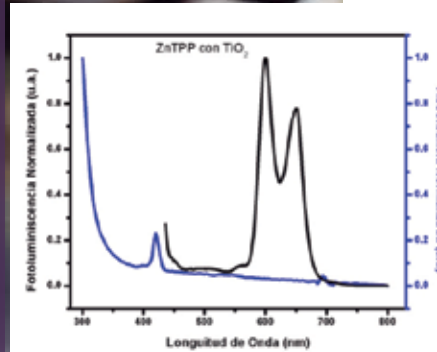


Figura 5. Espectros de absorbanza y fotoluminiscencia del dióxido de titanio con ZnTPP.

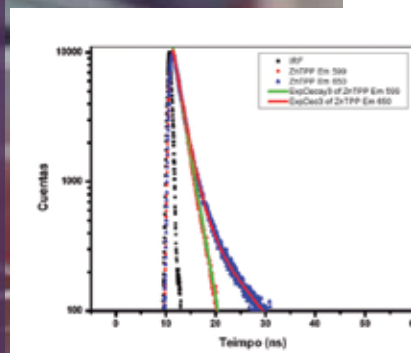


Figura 6. Histograma del tiempo de vida del zinc tetrafenil porfirina (ZnTPP) tomado a 599nm y 650nm.

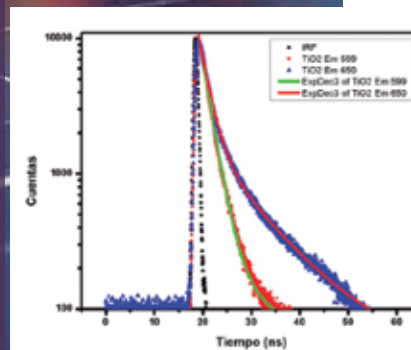


Figura 7. Histograma del tiempo de vida de dióxido de titanio, tomado a 599nm y 650nm.

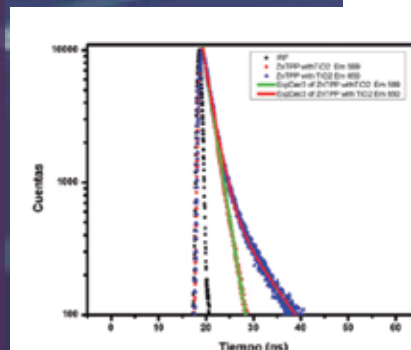


Figura 8. Histograma del tiempo de vida del zinc tetrafenil porfirina (ZnTPP) con dióxido de titanio tomado a 599nm y 650nm.