



## PREPARACIÓN DE UNA CELDA SOLAR ORGÁNICA: IMPACTO SUSTENTABLE

Fátima Lizbeth González Gregorio<sup>1</sup>, Marlen Hernández-Ortiz<sup>1</sup>, D. A. Contreras Solorio<sup>1</sup>,  
V. M. Castaño<sup>2</sup>, Claudia Martínez-Alonso<sup>3</sup>, M.C. Arenas Arrocena<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas. <sup>2</sup>Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, Campus Juriquilla, UNAM. <sup>3</sup>Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad León, UNAM.

### RESUMEN

En este trabajo se realizó la preparación y caracterización de la capa activa de una celda solar orgánica compuesta de poli-3-hexilteofeno (P3HT) modificada con nanocarbonos (nC), los cuales fueron mezclados mediante el uso de diclorobenceno (DCB), el tratamiento superficial de los nC tiene un amplio campo de acción, debido a la generación de propiedades en el material que optimizan su uso, específicamente, los nC funcionalizados y depositados en materiales para celdas solares. Las nanopartículas de carbono utilizadas son nanotubos de carbono (nTC) y carbón vulcan (CVu), ambos funcionalizados y sin funcionalizar. El depósito de la mezcla en el sustrato de nC y el polímero orgánico se realizó bajo el método de goteo. Las caracterizaciones fueron: resistencia eléctrica, topografía de la capa y absorción óptica.

Palabras Claves: nanotecnología, energía limpia, sustentabilidad.

### INTRODUCCIÓN

Actualmente es importante utilizar para las energías renovables, limpias y sustentables, los materiales orgánicos ya que son biodegradables y los podemos encontrar fácilmente en la naturaleza. Una parte de la aplicación de la nanotecnología se enfoca a los recubrimientos de diversos tipos de celdas solares, como las orgánicas (CSO) utilizando alótropos de nanocarbonos (nC), en especial de nanotubos (Hengameh Hanaei *et al.*, 2016). La mejoría de las CSO depende de la unión interfacial y la buena dispersión de los nC sobre diferentes sustratos. Más aún, es importante tener una buena caracterización de la superficie modificada en los nC (Godfrey Keru *et al.*, 2014). Los grupos funcionales ajustan las propiedades superficiales del nC para mejorar su

dispersabilidad e interacción con el sustrato, las propiedades de adsorción, y los niveles de reactividad; evitando así la formación de grietas.

El polímero P3HT es derivado de tiofeno (Aramis Sánchez *et al.*, 2013), en la actualidad es utilizado en celdas fotovoltaicas por sus propiedades electrónicas. Finalmente, el objetivo de este trabajo fue realizar tanto la preparación como la caracterización de la capa activa, compuesta de heterouniones de los nC y el P3HT. Las nanopartículas de carbono utilizadas son nanotubos de carbono (nTC) y carbón vulcan (CVu), ambos funcionalizados y sin funcionalizar.



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



Hasta el momento se tienen tres generaciones de celdas solares y de mucha variedad de compuestos, y claro está en que se busca la mejor eficiencia en la Figura 1 se muestra una gráfica que contiene la evolución de eficiencias. A continuación, se describirán brevemente.

Las celdas solares de primera generación: las celdas solares se basan en dos láminas con materiales semiconductores, el material más utilizado en esta generación fue el silicio; el silicio puro monocristalino permite un rendimiento en las celdas solares comerciales 16%, pero su precio es caro. El silicio puro policristalino es más barato, pero tiene un rendimiento del 14%, el silicio amorfo tiene un rendimiento del 8% es por eso que se usa en aparatos pequeños como calculadoras (Solar Energía, 2020).

Las celdas de segunda generación: esta se basa en un método de producción epitaxial para crear láminas más delgadas y flexibles que las anteriores. Por esta razón se les llama de lámina delgada. La eficiencia se encuentra entre el 28% y el 30%, pero su elevado coste las limita. Se trabaja para crear celdas solares de bajo costo con materiales diferentes al silicio, como microestructuras CIGS (cobre, indio, galio y

selenio), o CIS que no incluye galio (Solar Energía, 2020).

Las celdas solares de tercera generación: esta generación aún se encuentra en fase de experimentación, persiguen mejorar las celdas de láminas delgadas, se trabaja en varias tecnologías, como las denominadas de huecos cuánticos, nanotubos de carbono o nanoestructuras de óxido de titanio con colorante (DSSC). La eficiencia de los sistemas creados con estas características también podría ser superior (entre el 30% y el 60%) (Solar Energía, 2020).

Las celdas solares de cuarta generación: se unen nanopartículas con polímero para lograr que sean más eficientes y baratas. El panel se basaría en varias capas que no solo aprovecharían los diferentes tipos de luz, sino también el espectro infrarrojo. En teoría, las celdas (paneles solares) podrían lograr una conversión de la luz solar en electricidad de un 93% .  
[https://solarenergia.mx].

Cabe mencionar, que en cada generación de celdas solares se mejora la eficiencia. En la figura 1 se muestra la evolución de eficiencia de algunas celdas solares.

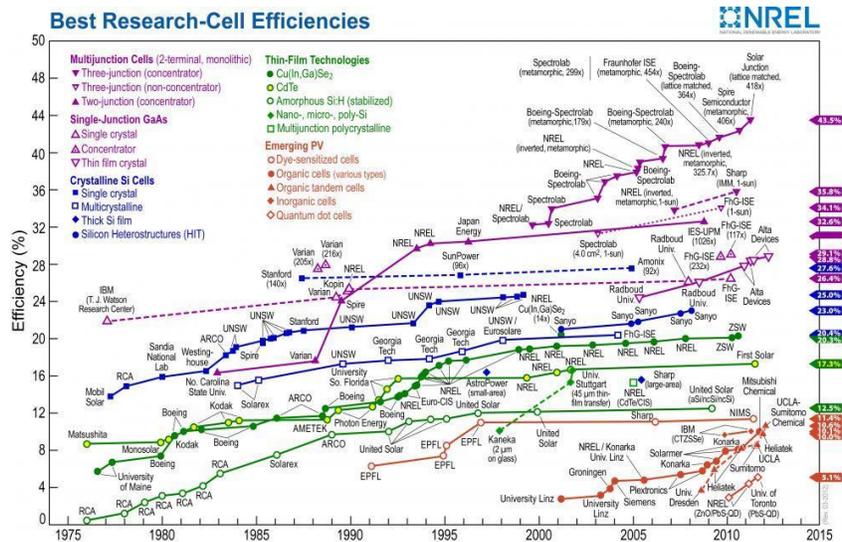


Figura 1: Gráfica de evolución de eficiencias de celdas solares.



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



### METODOLOGÍA

El método de goteo para el depósito fue empleado, basado en los siguientes pasos:

1. Preparación de dos soluciones para cada concentración de carbono, cuya concentración se muestra en Tabla 1, donde DCB es diclorobenceno para facilitar la disolución de la mezcla. La otra solución está compuesta de 2mg de P3HT con DCB.

2. Cada solución se sometió a un tratamiento de agitación ultrasónica por 30 min para mejorar.

- Incorporación de la solución de 0.5mg/250  $\mu$ l P3HT y se agitó nuevamente por 30 min.
- Depósito de la nueva solución en el sustrato (aproximadamente 14 gotas).
- Tratamiento de sustratos en una parrilla a 90° C por 10min para su secado y adherencia de la película delgada.
- Las muestras se caracterizaron mediante las técnicas: espectroscopia UV-Vis, resistencia (Método de Kelvin o 4 puntas) y microscopía de fuerza atómica.

Tipo de heterounión	Solución	Solución	Solución
nTC/DCB	0.1mg/125 $\mu$ l	0.2mg/125 $\mu$ l	0.4mg/125 $\mu$ l
nTC-F/DCB	0.1mg/125 $\mu$ l	0.2mg/125 $\mu$ l	0.4mg/125 $\mu$ l
CVu/DCB	0.1mg/125 $\mu$ l	0.2mg/125 $\mu$ l	0.4mg/125 $\mu$ l
CVu-F/DCB	0.1mg/125 $\mu$ l	0.2mg/125 $\mu$ l	0.4mg/125 $\mu$ l

Tabla1: Concentraciones utilizadas de las soluciones nC/DCB.

### RESULTADOS

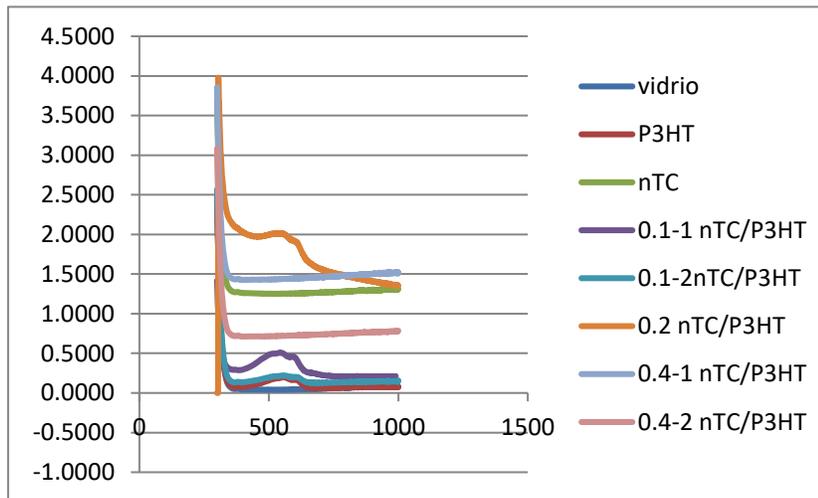
A continuación, se expondrán los resultados obtenidos de las pruebas de caracterización de las muestras:

Absorción óptica: En la gráfica (Figura 2) se observan 4 picos entre 250 y 550 nm de 0.2 nTC/P3HT, de 0.1-2 y 0.1-1 nTC/P3HT, y de p3HT solo. Para este tipo de carbón se hicieron doble muestras de las concentraciones 0.1 nTC/P3HT Y 0.4 nTC/P3HT, esto es porque las primeras muestras 0.1-1 nTC/P3HT y 0.4-1 nTC/P3HT se creyeron insuficientes para las caracterizaciones por lo cual se generaron las

otras dos muestras 0.1-2 nTC/P3HT y 0.4-2, pero como se muestra en la gráfica (Figura 2) la concentraciones que comportan de formas similares, las de concentración 0.1 nTC/P3HT teniendo un pico entre el rango de 250 y 550 nm, pero nótese que la concentración 0.1-1 nTC/P3HT tiene el pico más elevado que la concentración 0.1-2 nTC/P3HT esto quiere decir que tiene mejor absorción a la radiación, en las muestras 0.4-1 nTC/P3HT y 0.4-2 nTC/P3HT no absorbe luz, esto es por la saturación de nTC.



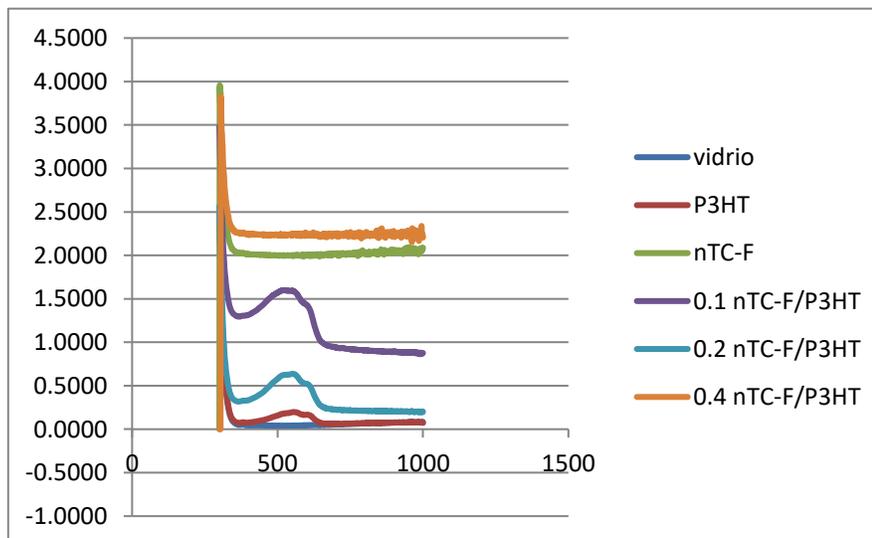
## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



**Figura 2: Absorción (UA) vs. Longitud de onda de los nTC con polímero P3HT, en diferentes concentraciones.**

En la gráfica siguiente (figura 3) se observa que hay tres picos entre 300 a 650nm de P3HT, 0.1 nTC-F/P3HT y 0.2 nTC-F/P3HT, si la comparamos de la gráfica anterior (figura 2) se observa que en este caso los picos de 0.1 nTC-F/P3HT y 0.2 nTC-F/P3HT son más elevados que 0.1-1 nTC/P3HT y 0.2 nTC/P3HT, esto dice que al funcionalizar los nTC la absorción es

mejor. También nótese que ha concentraciones bajas de nTC-F la absorción del P3HT sigue dominando y que incluso no cambia de rango. Otra cosa que se puede observar es que igual que la gráfica anterior (figura 2) decaen las concentraciones de 0.4, esto es debido a la saturación de carbón en la muestra.



**Figura 3: Absorción (UA) vs. Longitud de onda de los nTC-F con polímero P3HT, en diferentes concentraciones.**

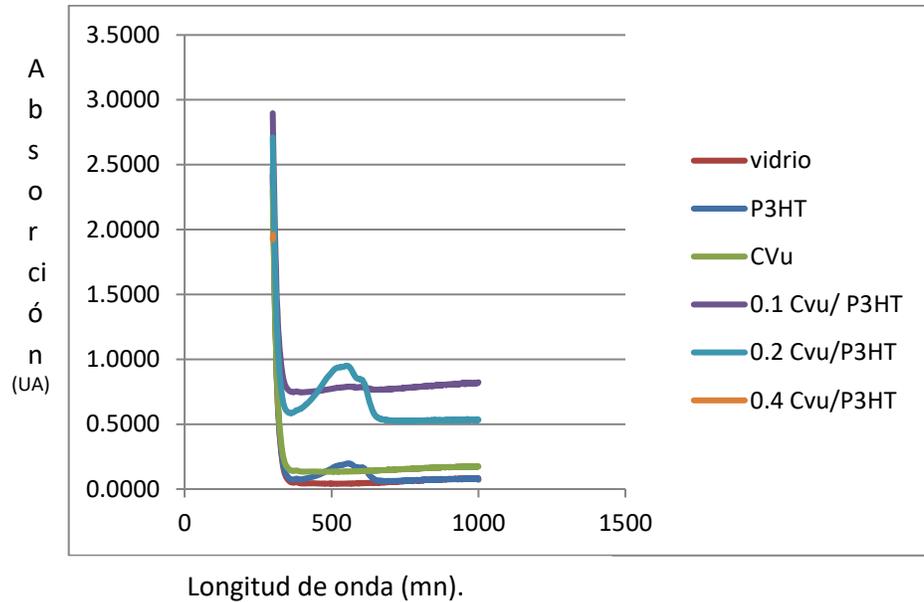


## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



En esta gráfica (figura 4) se aprecian solo dos picos en el rango de 400 a 650 nm de P3HT y 0.2CVu/P3HT, se muestra que 0.1 CVu tiene una muy pequeña elevación, esto es que en concentraciones bajas no absorbe mucha

radiación, también se observa que al igual que con los nTC/P3HT y nTC-F/P3HT se tienen que en las concentraciones de 0.4 decaen por la saturación de CVu.



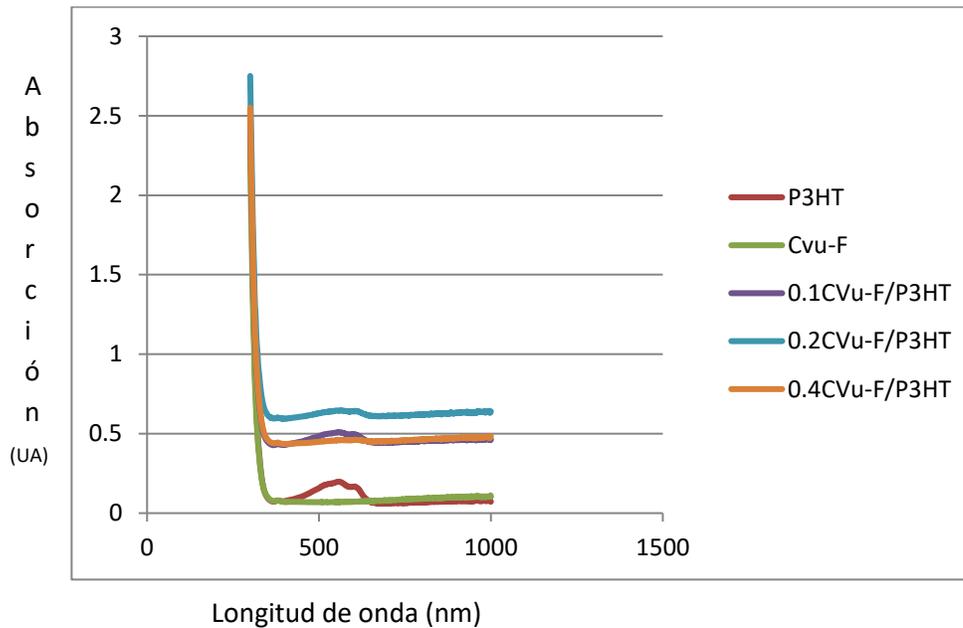
**Figura 4: Absorción (UA) vs. Longitud de onda de CVu con polímero P3HT, en diferentes concentraciones.**

Como se puede apreciar en la siguiente gráfica (figura5) hay un pico elevado que es de P3HT, 0.1CVu-OH y 0.2CVu-OH tienen una pequeña elevación en el rango 400 a 550 nm, esto dice que al funcionalizar los CVu mejora su

absorción a la radiación. Como en las demás heterouniones cuando se tiene la concentración de 0.4 (en este caso 0.4 CVu-OH) se presenta un decaimiento por saturación.



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



**Figura 5: Absorción (UA) vs. Longitud de onda de CVu-OH con polímero P3HT, en diferentes concentraciones.**

**Resistencia Eléctrica:** Las siguientes tablas muestran los resultados de las resistencias de cada tipo de heterounión de nanocarbón.

En la tabla 2 están los resultados de las resistencias de nTC/P3HT, los cuales muestran que la 0.1-2% sobrepasan el límite de medición (Over flow), esto es que su resistencia es elevada. La muestra que tiene concentración 0.1-

1 % presenta mayor resistencia que 0.2 %, esto se debe a que la capa no está uniforme en el sustrato. Además, no te que las muestras con concentración 0.2% y 0.4-2 % tienen la misma conducción y esta es mayor que en las demás concentraciones. Las imágenes de las muestras fueron tomadas con la cámara iSight de 8 megapíxeles.

**Tabla 2: Medidas de resistencia de nTC/P3HT.**

Concentración	Resistencia (en ohm, $\Omega$ )	Imagen de las películas
0.1-1%	$153.04 \times 10^6$	
0.1-2%	Over flow	
0.2%	$22.30 \times 10^3$	



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



0.4-1%	$0.85 \times 10^6$	
0.4-2%	$22.35 \times 10^3$	

En la tabla 3 tenemos los resultados de las mediciones de resistencia para nTC-F/P3HT, lo que se observa aquí es que las muestras de

concentraciones 0.1% y 0.4% tienen mayor conductividad que la de 0.2%, atribuido a la heterogeneidad.

**Tabla 3: Medidas de resistencias de nTC-F/P3HT.**

Concentración	Resistencia (en ohm, $\Omega$ )	Imagen de la película
0.1%	$3.79 \times 10^3$	
0.2%	$0.27 \times 10^6$	
0.4%	$112.42 \times 10^3$	

En la tabla 4 se observan las medidas de resistencias de CVu/P3HT, se notan que 0.2% y 0.4% tienen más conductividad que la muestra con concentración 0.1%. Entonces de las tres

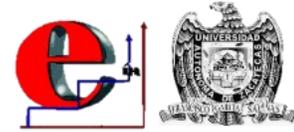
diferentes concentraciones la que mejor respuesta presenta es la de concentración 0.2% por que tiene mayor conductividad.

**Tabla 4: Medidas de resistencia de CVu/P3HT.**

Concentración	Resistencia (en ohm, $\Omega$ )	Imagen de la película
0.1%	$168.33 \times 10^6$	
0.2%	$5.47 \times 10^3$	
0.4%	$14.80 \times 10^3$	



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



En la tabla 5 con las mediciones de las resistencias de CVu-F, aquí definitivamente no hubo cambios significativos en la respuesta de resistencia, esto implica que la concentración no influye mucho al flujo de electrones. También se

nota que la resistencia es alta respecto con los nTC/P3HT y nTC/P3HT-F en donde se muestran resistencias menores a estas ( $10^3$ ) con respecto a la tabla 5.

**Tabla5: Medidas de resistencia de CVu-F/P3HT.**

Concentración	Resistencia (en ohm, $\Omega$ )	Imagen de la película
0.1%	$144.51 \times 10^6$	
0.2%	$171.81 \times 10^6$	
0.4%	$169.20 \times 10^6$	

Como ya se había mencionado, hay aumento de conductividad o disminución de resistencia en las muestras con concentración 0.2 % y 0.4% de CVu/P3HT (tabla 4). Lo que llama la atención es que son CVu sin funcionalizar. Se esperaba un aumento de conductividad en las muestras funcionalizadas. De hecho, para el caso de las muestras con nTC -F/P3HT y nTC/P3HT no se muestra claridad en lo esperado, según los valores reportados. Todo esto se debe a las deficiencias de las muestras, es decir que como no hay uniformidad de la capa, no son de tamaño y espesor mayor, afecto a la hora de medir las resistencias.

AFM (topografía de capa): A continuación, se dan a conocer las imágenes resultado de poner a las muestras en el Microscopio de fuerza atómica (Nanosurfe).

En la tabla 6 se muestran las microscopias de las capas 0.1-2 nTC / P3HT, 0.2nTC / P3TH, 0.1nTC-F / P3HT, 0.2nTC-F / P3HT, tanto de dimensión 2 a una escala de  $10 \mu\text{m}$ , como en 3D,

considerando un área de 50 por 50  $\mu\text{m}$  y una altura promedio de 7.45  $\mu\text{m}$  (Ra: Media aritmética de los valores absolutos de las ordenadas  $Z(x)$  dentro de una longitud de muestreo, Rms: es el promedio de las variaciones cuadráticas respecto a la altura media). Las imágenes en tercera dimensión muestran que las películas preparadas y depositadas en la superficie del sustrato no son homogéneas ni aquellas que se compone de nC-F. A excepción de la muestra 0.1 nTC-F, esta presenta una capa activa con menos grosor que las demás y mayor homogeneidad; sin embargo, su ilustración en 2D indica que hay varios huecos en el depósito. La más gruesa es la muestra 0.2 nTC/P3HT.

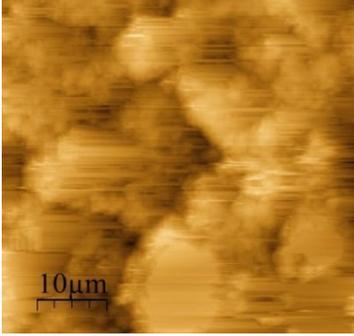
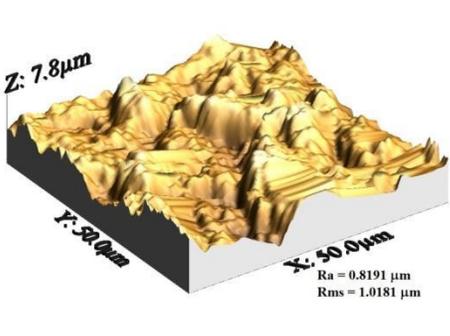
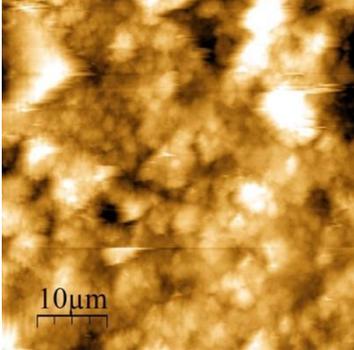
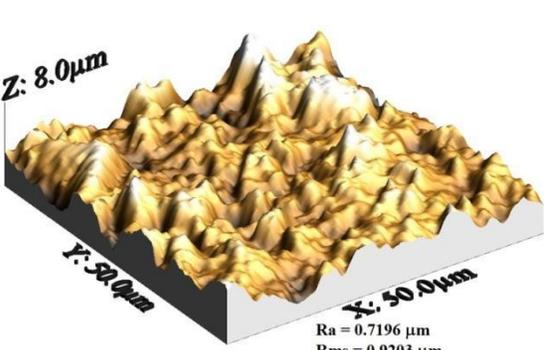
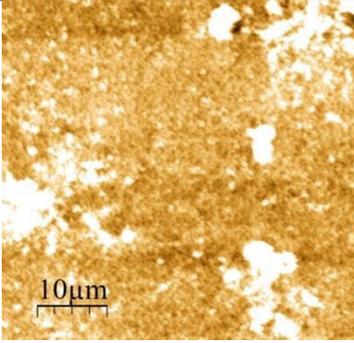
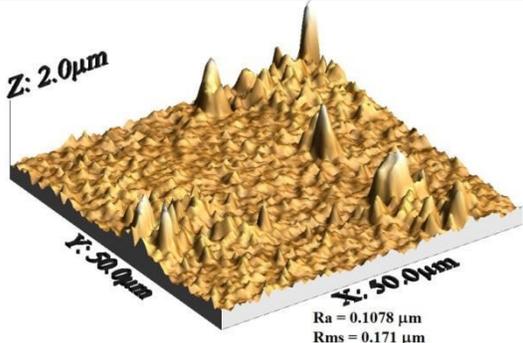
Para las muestras 0.1-1 nTC/P3HT, 0.4-1 nTC/P3HT, 0.4-2nTC/P3HT y 0.4nTC-F/P3HT no hay imágenes, esto se debe al método para adherir la capa en el sustrato que las capas están muy rugosas y la aguja del MFA no pudo registrar nada.



II Seminario de Investigación en Economía:  
Sustentabilidad y Nanotecnología

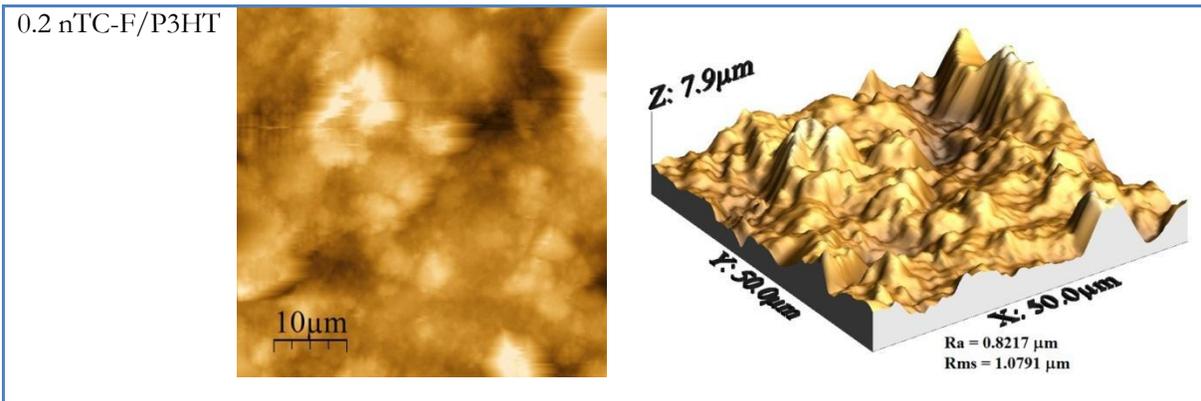


Tabla 6. Imágenes de MFA de nTC/P3HT y nTC-F/P3HT.

	2D ( $\mu\text{m}$ ).	3D ( $\mu\text{m}$ ).
0.1-2 nTC/P3HT		 <p>Z: 7.8<math>\mu\text{m}</math> X: 50.0<math>\mu\text{m}</math> Y: 50.0<math>\mu\text{m}</math> Ra = 0.8191 <math>\mu\text{m}</math> Rms = 1.0181 <math>\mu\text{m}</math></p>
0.2 nTC/P3HT		 <p>Z: 8.0<math>\mu\text{m}</math> X: 50.0<math>\mu\text{m}</math> Y: 50.0<math>\mu\text{m}</math> Ra = 0.7196 <math>\mu\text{m}</math> Rms = 0.9203 <math>\mu\text{m}</math></p>
0.1 nTC-F/P3HT		 <p>Z: 2.0<math>\mu\text{m}</math> X: 50.0<math>\mu\text{m}</math> Y: 50.0<math>\mu\text{m}</math> Ra = 0.1078 <math>\mu\text{m}</math> Rms = 0.171 <math>\mu\text{m}</math></p>



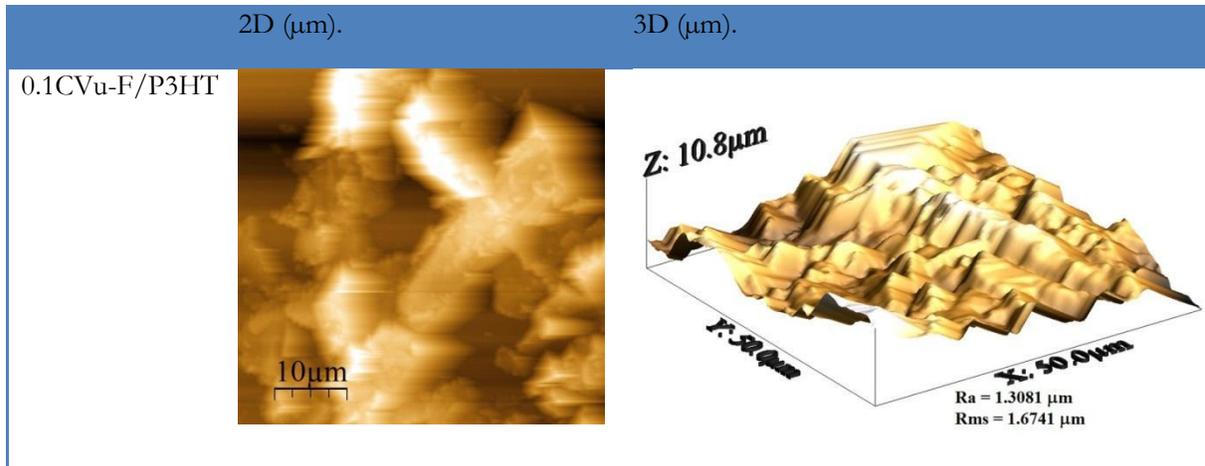
## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



En la tabla 7 se muestran las microscopias de las capas 0.1 CVu-F/P3HT y 0.2 CVu-F/P3HT, en dimensión 2 en escala de 10 μm, y dimensión 3 considerando un área de 50 por 50 μm y una altura promedio 7.5 μm. En estas muestras al igual que las anteriores de la tabla 7 en las

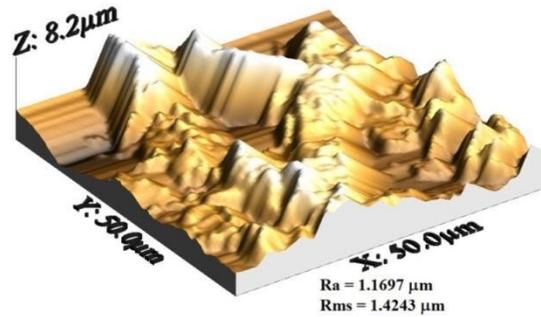
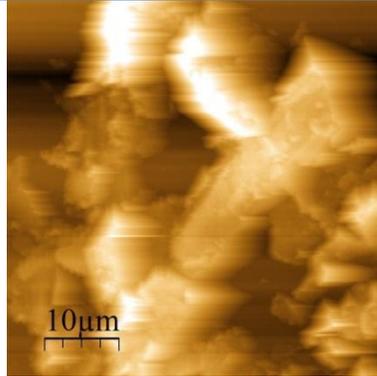
imágenes en 3D muestran que las capas no son homogéneas. Las muestras de CVu/P3HT al igual que la muestra 0.4 CVu-F/, no aparecen imágenes ya que la punta del MFA no pudo registrar nada de la topografía de estas, se cree que se debe a la rugosidad de las capas.

**Tabla 7. Imágenes de MFA de CVu-F/P3HT.**





0.2CVu-F/P3HT



## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se tiene que los nTC-F/P3HT absorben más que los nTC/P3HT, en los CVu's pasa que los funcionalizados tienen más elevaciones en las concentraciones, pero en menor absorción, se observa que a mayor concentración menor será su absorción y también a muy baja concentración (<0.1%).

En cuestión a la resistencia los resultados no salieron favorecedores, ya que, en la mayoría de los nC tienen muy poca conductividad, algo curioso que se debe de

resaltar es que en los CVu-F/P3HT es que el orden de magnitud es constante. Estos resultados se deben a varios factores, uno es que para medir a cuatro puntas la película debió de ser de mayor tamaño y otro, es que la capa estaba aglomerada en un lado del sustrato por de desestabilidad de la superficie que la soportaba. Entonces al no ser homogéneas la resistencia varía en toda la película. Por lo tanto, este trabajo previo indica la necesidad de mejorar la forma de adherir la capa activa sobre el sustrato.

## AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León (ENES)-UNAM, en especial a la Dra. M. Concepción Arenas Arroca y a la Dra. Claudia Martínez Alonso del Laboratorio de Investigación Interdisciplinaria en el área de Nanoestructuras & Biomateriales por aceptarme para poder hacer la parte experimental de este trabajo. Al Centro de Investigaciones en Óptica y al Dr José Luis Maldonado Rivera por permitirme hacer las mediciones de resistencia eléctrica y absorción óptica. Al Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada-UNAM por hacernos la caracterización de difracción de rayos X del material. También al Dr. Omar

Martínez Álvarez por las imágenes de microscopía de fuerza atómica. Al proyecto PAPIIT-DGAPA:IN115018 "Obtención de nanoestructuras de sulfuros de metales de transición no-tóxicos para el aprovechamiento de energía sostenible en celdas solares híbridas" por el financiamiento parcial para el desarrollo de este trabajo de tesis. Así como al proyecto UAZ-PTC-211-PRODEP: 511-6/17-7763 "Modelo Gompertz con aplicación en nanotecnología", a cargo de la Dra. Marlen Hernández Ortiz, por su apoyo en la primera estancia realizada en la ENES-UNAM.



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



### BIBLIOGRAFÍA

- Sánchez Juárez, A. A. (2013). *Fabricación y caracterización de películas delgadas orgánicas para su aplicación en dispositivos optoelectrónicos* [Tesis de doctorado, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)]. Repositorio Institucional-INAOE.
- Serena Domingo, P. A. (2002). Nanociencia y Nanotecnología: aspectos generales. *Encuentros multidisciplinarios*, 4(12), 2-14.
- Keru, G. Ndungu, P.G. y Nyamor, V. O. (2014). A review on carbon nanotube/polymer composites for organic solar cells. *International Journal of Energy Research*, 38(13), 1635-1653. <https://doi.org/10.1002/er.3194>
- Hanaei, H. Khalaji Assadi, M. y Saidur, R. (2016). Highly efficient antireflective and self-cleaning coatings that incorporate carbon nanotubes (CNTs) into solar cells: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 620–635. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.017>
- Solar Energía. (2020). *¿En qué consisten las generaciones de los paneles solares?* Recuperado el 25 de noviembre de 2020 de <https://solarenergia.mx/productos/en-que-consisten-las-generaciones-de-los-paneles-solares/>