

# PELÍCULAS DELGADAS DE SULFUROS SEMICONDUCTORES APLICADAS EN ALMACENAMIENTO Y CONVERSIÓN DE ENERGÍA: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## SEMICONDUCTOR CHALCOGENIDES THIN FILMS APPLIED TO STORAGE AND ENERGY CONVERSION: LITERATURE REVIEW

**Sánchez Rangel Hortensia Susana**

Tecnológico Nacional de México/ I.T. de Ciudad Juárez

<https://orcid.org/0009-0002-9923-2540>

[hortensia.sr@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:hortensia.sr@cdjuarez.tecnm.mx)

**Flores Regalado Anilú**

Tecnológico Nacional de México/ I.T. de Ciudad Juárez

<https://orcid.org/0009-0002-7667-299X>

[anilu.fr@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:anilu.fr@cdjuarez.tecnm.mx)

**Becerra Robles Delfino Francisco**

Tecnológico Nacional de México/ I.T. de Ciudad Juárez

<https://orcid.org/0009-0008-4738-8221>

[delfino.br@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:delfino.br@cdjuarez.tecnm.mx)

**Sánchez Sánchez Héctor Alfredo**

Tecnológico Nacional de México/ I.T. de Ciudad Juárez

<https://orcid.org/0009-0006-7025-6695>

[hector.ss@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:hector.ss@cdjuarez.tecnm.mx)

**Valles Chávez Alfredo**

<https://orcid.org/0009-0004-9057-8101>

Tecnológico Nacional de México/ I.T. de Ciudad Juárez

[alfredo.vc@itcj.edu.mx](mailto:alfredo.vc@itcj.edu.mx)

DOI: <https://doi.org/10.61273/neyart.v2i1.43>

| Recibido: 16/11/2023 | Aceptado: 02/02/2024 | Publicado: 29/02/2024

Esta obra está bajo  
una licencia internacional  
Creative Commons Atribución 4.0.



**Resumen:** En la actualidad, se ha generado un gran interés por desarrollar métodos alternativos para obtener y almacenar energía, lo que conlleva mejorar o diseñar métodos amigables con el ambiente, de bajo costo y no toxicidad. El objetivo del presente trabajo es mostrar una revisión bibliográfica sobre las distintas técnicas de síntesis y obtención de materiales nanoestructurados y películas delgadas, así como analizar los materiales óptimos para aplicar en almacenamiento y conversión de energía. Como resultado de esta revisión se enlistan algunos de los métodos más utilizados para la síntesis de películas delgadas y nanoestructuras, así mismo se exponen los materiales que en la actualidad se sintetizan para su aplicación en almacenamiento y conversión de energía.

**Palabras Clave:** *nanoestructuras, películas delgadas, almacenamiento y conversión de energía.*

**Abstract:** Currently, there has been a great deal of interest in developing alternative methods to obtain and store energy, which entails improving or designing environmentally friendly, low-cost, non-toxic methods. The aim of this paper is to present a literature review on the different techniques for synthesis and obtaining nanostructured materials and thin films, as well as to analyze the optimal materials to be applied in energy storage and conversion. As a result of this review, some of the most commonly used methods for the synthesis of thin films and nanostructures are listed, as well as the materials that are currently synthesized for application in energy storage and conversion.

**Keywords:** *nanostructures, thin films, energy storage and conversion*

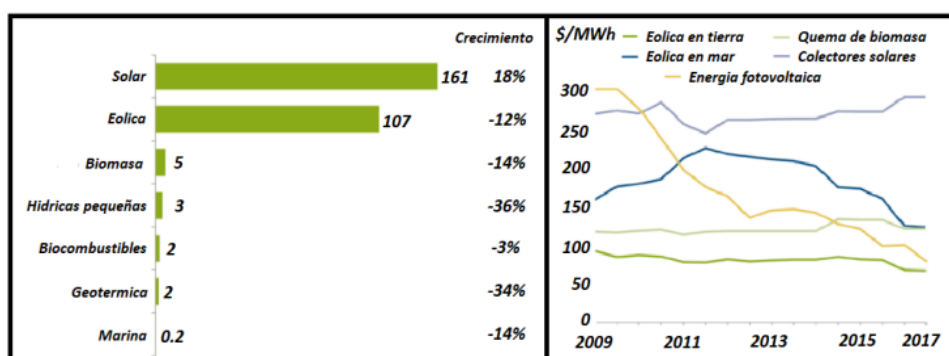
## INTRODUCCIÓN

Los combustibles fósiles (gas, carbón, petróleo) han sido la fuente de energía para el desarrollo de la humanidad, pero se sabe que durante la producción y suministro de la energía obtenida por medio de estos combustibles se generan emisiones de gases de efecto invernadero teniendo un impacto negativo en el medio ambiente (Villegas, 2012).

Estos factores y tomando en cuenta que el sol es la fuente de energía más importante se vuelve necesario cubrir la demanda de tecnologías de energía limpia que además ha despertado interés académico e industrial en el descubrimiento de nuevas y eficientes formas de capturar y almacenar la energía solar (Saraf, 2012).

Las energías limpias corresponden solamente al 12.1% de la energía global generada en 2017 (Frankfurt School-UNEP Collaborating Centre for Climate & Sustainable Energy Finance, 2018), aunque con el avance de los años se a podido comprobar que el apoyo gubernamental mundial hacia este tipo de energías tiene un comportamiento exponencial positivo.

En la figura 1 de lado izquierdo se aprecia el crecimiento que han tenido las diversas energías renovables, entre las que destacan la energía solar y la energía eólica, además, de lado derecho se encuentra el precio en dólares del Mwatt/hr a través de los años de los diversos tipos de energía.



**Figura. 1.** Energías limpias analizadas crecimiento y costo a través de los años. (Frankfurt School-UNEP Collaborating Centre for Climate & Sustainable Energy Finance, 2018).

Desde la perspectiva económica y la relación eficiencia/costo, este tipo de tecnologías están limitadas debido que la energía producida es significativamente más costosa que la producida convencionalmente. Esto es provocado por el alto costo de fabricación de los módulos fotovoltaicos (FV) de silicio, asociado al alto precio de los materiales y de los procesos de manufactura.

Una de las primeras estrategias para mejorar la relación eficiencia/costo es la de implementar nuevos materiales nanoestructurados y películas delgadas, ya que han generado gran interés debido a las propiedades eléctricas, ópticas, magnéticas y mecánicas que adquieren al limitar sus dimensiones. (Jong-Heun, 2009)

Las nuevas tecnologías y dispositivos que se han desarrollado en los últimos tiempos obligan a los profesionistas y científicos de las áreas de ingeniería y ciencia de materiales a realizar la búsqueda, creación de nuevos materiales o la mejora de los ya existentes. Los sulfuros semiconductores representan una amplia gama de oportunidades para su aplicación en almacenamiento y conversión de energía, debido a que son materiales de bajo costo, no toxicidad, abundantes y de fácil fabricación.

Las películas delgadas y nanoestructuras son estudiados con gran interés en la actualidad debido a que poseen buenas propiedades mecánicas, ópticas, fotovoltaicas y fotocatalíticas (Chen-Ho, 2012).

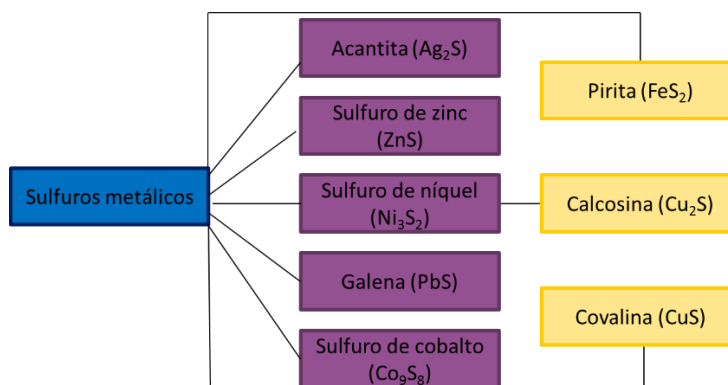
Existen diversos métodos de obtención de películas delgadas y nanoestructuras como son: sol-gel, reacciones sólido-vapor, deposición por baño químico, electrodeposición, pirólisis por spray (Wu, 2008). Bajo requerimiento de material, poco uso de energía intensa en el proceso y el posible uso de sustratos flexibles son algunos de los beneficios que presentan las películas delgadas para su aplicación en celdas solares (Kosyachenko, 2011). Por otro lado, se ha reportado que el crecimiento de materiales nanoestructurados sobre sustratos metálicos es de suma importancia específicamente en aplicaciones en dispositivos fotovoltaicos. (Chen-Ho, 2012).

## DESARROLLO

El presente trabajo titulado “películas delgadas de sulfuros semiconductores aplicadas en almacenamiento y conversión de energía: revisión bibliográfica”, tiene como objetivo general analizar los diferentes materiales y métodos implementados para la obtener películas delgadas y nanoestructuras con la finalidad de poderlos aplicar en el almacenamiento y conversión de energía. Como objetivos específicos se tienen los siguientes:

- Realizar revisión de literatura
- Analizar métodos de síntesis de películas delgadas y materiales nanoestructurados
- Establecer cuáles son los materiales que podrían ser aplicados en almacenamiento y conversión de energía

Entre la diversidad de materiales que se desarrollan actualmente, los sulfuros metálicos han atraído la atención debido a sus excelentes propiedades y a su potencial aplicación en dispositivos electrónicos, ópticos-optoelectrónicos y de almacenamiento y conversión de energía. Por otro lado, son materiales abundantes y económicos ya que usualmente se encuentran en la naturaleza.(Fig.2)



**Figura. 2** Sulfuros metálicos aplicados en la síntesis de materiales nanoestructurados y películas delgadas.

Dentro de los sulfuros metálicos resultan de interés los sulfuros de cobre ya que poseen varias fases estequiométricas que son estables a temperatura ambiente, partiendo de las que son ricas en azufre ( $\text{CuS}$ ) hasta las que son ricas en cobre ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) conocidas como fase covalita y calcocita respectivamente (Parraguez, 2020). El sulfuro de cobre es un semiconductor de tipo p con valores de banda prohibida de entre 1.2 a 2.6 eV. Debido a la deficiencia de átomos de cobre se generan vacancias en la estructura cristalina, generando flujo de electrones (Parraguez, 2020). Tanto las nanoestructuras como las películas delgadas de estos materiales son prometedoras por el fácil procesamiento y bajo costo, además de la baja toxicidad y abundancia, lo que los coloca como uno de los materiales óptimos para aplicaciones en almacenamiento y conversión de energía.

Bajo requerimiento de material, poco uso de energía intensa en el proceso y el posible uso de sustratos flexibles son algunos de los beneficios que presentan las películas delgadas (Kosyachenko, 2011). Se ha reportado que el crecimiento de nanoestructuras sobre sustrato metálico es generado por medio de reacciones químicas de baja temperatura y nula producción de productos secundarios (Martínez Ruvalcaba, 2012).

Suhua Wang y Shihe Yang en 2001 generan nanocables de sulfuro de cobre colocando el sustrato de cobre dentro de un reactor con flujo controlado de gases, usando  $\text{O}_2/\text{H}_2\text{S}$  y como gas inerte Ar o  $\text{N}_2$ . La reacción se llevo a cabo a temperatura ambiente con una atmosfera de entre 1.05-1.08 atm por un lapso de 10h. todos estos parámetros tuvieron un efecto positivo en el crecimiento de los nanocables, además de que se concluyo que el aumento en la temperatura de reacción provoca un aumento en el diámetro de los cables.

En 2011 Dr. Alex Martinson utiliza la técnica de deposición por capas atómicas (ALD) ya que la técnica permite crear nanoestructuras mediante el depósito de sulfuro de cobre sobre sustratos transparentes que son necesarios para permitir el paso de la luz y mejorar el rendimiento del material. (Martinson, 2011) Muñiz Lerma en 2011 obtiene nanoestructuras de plata sobre sustratos metálicos de plata con deformación mecánica, por medio de una reacción solido-vapor, encuentra que la morfología de dichas estructuras puede ser controlada por la atmosfera presente durante la reacción.

Para 2012 Martínez Ruvalcaba estudia el efecto del tiempo, temperatura y voltaje en la síntesis de nanoestructuras de plata empleando como método una reacción solido-vapor obteniendo nanoestructuras de morfología columnar y hoja de planta. Utilizando temperaturas de 75 a 110°C, voltajes de 1,2 y 3 volts y tiempos de 10 y 40h.

Ese mismo año Shinde y colaboradores (Shinde, 2012), utilizando la técnica de deposición por baño químico, depositaron nanocristales de  $\text{Cu}_2\text{S}$  en sustratos de vidrio para formar películas delgadas con diferentes espesores. Encontraron que los parámetros de deposición tienen una influencia significativa en la calidad y espesor de las películas delgadas de  $\text{Cu}_2\text{S}$ . Se reporta que el rango del espesor esta entre los 130 y los 400 nm.

El tamaño de grano cambio de 30 a 250 nm. La banda prohibida obtenida esta entre 1.9 y 2.36 eV y la resistividad eléctrica fue cambiando de  $8.973 \times 10^{-3}$  a  $6.463 \times 10^{-2} \Omega\text{-cm}$ , lo que significa que las propiedades ópticas, eléctricas y estructurales son dependientes del espesor.

Así mismo Jing Li y colaboradores (Jing Li., 2013), sintetizaron Nanoestructuras jerárquicas con forma de pétalo de  $\text{Cu}_2\text{S}$  vía solvotérmica utilizando DMSO (dimetilsulfoxido) y hojas de Cu. Reportan valores de banda prohibida de 1.6 eV. Estas Nanoestructuras son candidatos prometedores para su aplicación como materiales en la fabricación de celdas solares, debido a la morfología que presentan en forma de hoja o pétalo ya que podría tener mayor capacidad de absorción.

Wenfeng y colaboradores en 2014 (Shen, Wenfeng; Xianpeng, Zhang; Qijin, Huang; Qingsong, Xu; Weijie, Song;, 2014) sintetizan nanopartículas de plata por medio de un método de química húmeda, el cual es simple y amigable con el ambiente. Con las partículas obtenidas se dispersan en medio acuoso para generar tintas acuosas y depositarse sobre sustratos de papel y polietilen-tereftalato (PET) los cuales reciben la tinta por medio de una impresora convencional. Reportan valores de conductividad 20% más elevado que la plata en bulto. Este método permite la fabricación de dispositivos electrónicos flexibles, como, por ejemplo, la impresión por inyección de tinta de circuitos conductores de dispositivos LED.

Otras de las aplicaciones del cobre en la electrónica flexible es el reportado en 2015 por Jingping y colaboradores (Jingping, Liu; Yang, Cheng; Peichao, Zou; Rui, Yang; Chao, Xu; Binghe, Xie; Zivin, Lin; Feiyu, Kang; Ching Ping, Wong;, 2015), en el cual se utiliza el proceso galvánico, donde en un sustrato flexible (PET) se deposita una capa de zinc el cual se sumerge en una resina, luego al agregar el cobre este se reduce y genera una capa de cobre en la superficie del sustrato. Se generan películas de 30  $\mu\text{m}$  altamente conductoras las cuales son utilizadas en circuitos flexibles por medio de técnicas de impresión. 2017 Malek y colaboradores (Malek, A.H.; Kadhim, R.; Ammar, T.; Aus, A., 2017), reportan la obtención de películas delgadas de covalita sobre sustrato de vidrio y silicón por medio de evaporación térmica, los análisis de caracterización mostraron películas con rugosidad de 14.1nm y aglomeraciones de partículas de 66 nm una alta transmisión menor al 80% en la región visible y una energía de banda de 3.81 eV.

Año 2022 se reporta la fabricación de películas delgadas de óxido de zinc para transistores sobre sustratos de plástico utilizando la técnica de spray pyrolysis ultrasónico de alta frecuencia usando bajas temperaturas, las cuales van desde 110 a 200°C. El tereftalato de polietileno (PET) es utilizado como sustrato de las películas delgadas. Las películas exhiben una movilidad de electrones de 1.25cm<sup>2</sup>/Vs y un voltaje de 10.5 V.

## DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Después de la búsqueda y comparación de las diversas fuentes de información, se puede analizar lo siguiente:

- Los materiales que se aplican en almacenamiento y conversión de energía son materiales semiconductores, los cuales se encuentran en el rango entre los conductores y los aislantes, la densidad de portadores de carga eléctrica puede ser modificada por medios externos lo que significa que bajo determinadas condiciones estos materiales permiten la circulación de la corriente eléctrica en un sentido, pero no en el sentido contrario. Los átomos de los elementos semiconductores pueden poseer de entre dos a cinco electrones en su capa de valencia, lo que provoca que formen enlaces de tipo covalente lo que no permite que la corriente eléctrica fluya a través de su estructura cuando se les aplica una diferencia de potencial o corriente eléctrica, indicando que en esa condición se comporta como un aislante. Por lo tanto, la conductividad de un material semiconductor se puede modificar al alterar alguna de las siguientes condiciones: aumento de temperatura, introducción de impurezas dentro de la estructura cristalina (dopaje) y/o incrementando la iluminación. Conociendo lo anterior, se determina que el hecho, de modificar

los valores en las variables temperatura, tiempo y atmosfera dentro de las técnicas mencionadas producen un efecto en el comportamiento óptico y eléctrico de los materiales sintetizados, además de afectar la morfología y crecimiento.

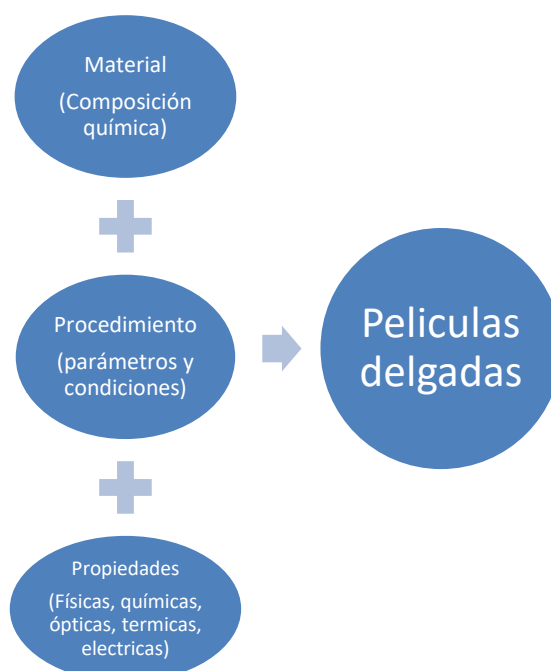
**Tabla 1.** Lista de materiales semiconductores utilizados en generación de películas delgadas.

| Compuesto Químico | Nombre    | Banda Prohibida (eV) |
|-------------------|-----------|----------------------|
| Sulfuro de Cobre  | Calcosita | 1.5                  |
|                   | Covalita  | 1.7                  |
| Sulfuro de Plata  | Acantita  | 1.9                  |
| Sulfuro de Plomo  | Galena    | 0.37                 |
| Sulfuro de Cadmio | -         | 2.42                 |
| Sulfuro de Zinc   | -         | 3.6                  |

- En las últimas dos décadas se han desarrollado diversas técnicas de síntesis y formación de materiales, algunas se han estudiado extensivamente mientras que otras han generado menor interés. Dentro de estas se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: Crecimiento espontaneo, síntesis base-plantilla, Electrohilado y Litografía. Cada una de ellas ofrece ventajas y desventajas, como por ejemplo morfología (hojuelas, hilos, hojas, clústers, películas delgadas, nanopartículas), valores de banda prohibida (band gap), propiedades térmicas, eléctricas y ópticas, las cuales dependen de la aplicación para la cual se generen los materiales.

**Tabla 2.** Relación entre técnica de síntesis y morfología obtenida.

| Técnicas               | Morfología                   |
|------------------------|------------------------------|
| Reacción Sólido-Vapor  | Esferas, laminas, hojas      |
| Electrohilado          | Hilos                        |
| Crecimiento espontaneo | Películas delgadas, clústers |
| Litografía             | Hojas, películas delgadas    |



**Figura. 3.** Criterios para considerar al seleccionar metodología para la producción de películas delgadas.

- La baja toxicidad, la abundancia y la facilidad para obtener o transformar materiales son aspectos importantes a considerar al momento de realizar una selección de precursores, sustancias y sustratos que se verán involucrados en los métodos de síntesis aplicados.
- Se puede también determinar que el tipo de material y técnica utilizada tiene un efecto directo en la infraestructura, equipo, mobiliario y herramientas utilizadas para la obtención de estos materiales, lo cual genera que la inversión económica en cada caso sea diferente. Por ejemplo, si se busca una técnica de bajo costo en la mayoría de los casos se recurre a técnicas de crecimiento espontáneo, si por el contrario se busca un control en la morfología o en el comportamiento eléctrico se optará por técnicas de deposición o electrohilado, aunque estas sean de un costo más elevado.

## CONCLUSIÓN

Por último, se puede concluir que es factible la obtención de materiales semiconductores para aplicación en almacenamiento y conversión de energía por una diversidad de métodos, entre los que se puede resaltar que las técnicas de crecimiento espontáneo como por ejemplo las reacciones sólido-vapor son ideales ya que son métodos de bajo costo, nula toxicidad (dependiendo de los precursores a utilizar), baja

o nula generación de productos secundarios, bajo gasto energético y no menos importante el uso de equipos y material básico de laboratorio.

Los sulfuros metálicos en especial los sulfuros de cobre en las fases covalita y calcocita son materiales con propiedades ópticas, eléctricas y morfológicas óptimas para su aplicación en almacenamiento y conversión de energía.

Al modificar o alterar las condiciones de temperatura, atmosfera, sustratos, diferencia de potencial y precursores químicos se tiene un efecto en la morfología de las nanoestructuras y películas delgadas, así como también en el comportamiento óptico y eléctrico.

Los valores de banda prohibida de entre 1.2 a 2.05 eV son los recomendables y óptimos para las aplicaciones en energía renovables.

Es necesario realizar un análisis de los procesos aquí revisados con la finalidad de comprobar que sean amigables con el medio ambiente y sustentables, ya que en las metodologías en que se tienen reacciones sólido-vapor, se puede controlar el mecanismo de reacción lo que a su vez permite cuantificar los productos secundarios (si es que se generan), esto permite tener un proceso limpio y ecológicamente amigable. Otro punto importante es poder cuantificar el porcentaje de rendimiento en la producción de películas delgadas por los distintos métodos, esto fortalece la toma de decisiones. Además, los equipos, herramientas y maquinas implementadas en el proceso, deben ser verificados en cuanto disponibilidad, estandarizaciones y costos.

## RECOMENDACIONES

Para la selección de materiales y técnicas de síntesis es necesario considerar la aplicación en la cual se implementará.

Es importante considerar que se busca generar energías limpias, procesos sustentables, amigables con el medio ambiente y de bajo costo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- C.H. Lai, K. H. (2010). Direct growth of high-rate capability and high capacity copper sulfide nanowire array cathodes for lithium-ion batteries. *Journal of Material Chemistry*, 6638-6645.
- Carrasco, B. (2013). *Universidad Tecnologica Metropolitana, Facultad de Fisica*. Recuperado el 18 de noviembre de 2015, de [www.es.scrib.com/doc/5514035/comportamiento-de-componentes-ohmicos-no-ohmicos#scribd](http://www.es.scrib.com/doc/5514035/comportamiento-de-componentes-ohmicos-no-ohmicos#scribd)

- Chen-Ho, M.-Y. L.-J. (2012). Metal sulfide nanostructures: synthesis, properties and applications in energy conversion and storage. *Journal of material chemistry*, 19-30.
- Conocimiento de estructuras cristalinas*. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2012, de [http://conocimientoscrystalstructure.blogspot.mx/2010\\_03\\_01\\_archive.html](http://conocimientoscrystalstructure.blogspot.mx/2010_03_01_archive.html)
- Grozdanov, I. y. (1995). Optical and electrical properties of copper sulfide films of variable composition. *Journal of solid state chemistry*, 469-475.
- Jing Li., H. Z. (2013). In situ fabricate Cu<sub>2</sub>S thin film with hierarchical petal-like nanostructures. 2940-2943.
- Jingping, Liu; Yang, Cheng; Peichao, Zou; Rui, Yang; Chao, Xu; Binghe, Xie; Zivin, Lin; Feiyu, Kang; Ching Ping, Wong;. (2015). Flexible copper wires through galvanic replacement of zinc paste: a highly cost-effective technology for wiring flexible printed circuits. *Journal of materials chemistry*.
- Jong-Heun, L. (2009). Gas sensor using hierarchical and hollow oxide nanostructures:overview. *Sensor and Actuators*, 319-336.
- Karthik Romasamy, M. A. (2013). Routes to nanostructured inorganic materials with potential for solar energy applications. *Chemistry of materials*, 3551-3569.
- Kosyachenko, L. A. (2011). Thin-film photovoltaics as a mainstream of solar power engineering. *solar cells-thin film technologies*, 1-38.
- Luminita, I. P. (2010). Copper sulfide (Cu<sub>x</sub>S) thin films as possible p-type absorbers in 3D solar cells. *Journal Energy Procedia*, 71-78.
- Malek, A.H.; Kadhim, R.; Ammar, T.; Aus, A.;. (2017). Novel covallite CuS single-crystal thin films for optoelectronic applications. *Plasmonics*.
- Martinez Ruvalcaba, I. E. (2012). *Estudio del efecto del tiempo, temperatura y voltaje en la síntesis de estructuras multi-escala de sulfuro de plata*. Juarez.
- Obregón, O., Luna-López, J.A, Rosales, P., Dominguez M.A. (2022). *Transistores de película delgada basados en óxido de zinc por spray pyrolysis ultrasónico de alta frecuencia a baja temperatura*. Revista Mexicana de Física. Vol. 67 No.4
- Pearce, J. (2006). Catalyzing mass production of solar photovoltaic cells using university driven green purchasing. *International journal of sustainability in higher education*, 425-436.
- Perraguez Correa, B.P. (2020). *Estudio de la electrodeposición de sulfuros de cobre para la fabricación*

- de fotocátodos para la hidrólisis de agua en una celda dotoelectroquímica.* Tesis de licenciatur
- Popovici, I. D. (2009). Electrical conductivity in copper sulfides- influence of deposition parameters and precursors concentration. *Product design for sustainable development*, 193-196.
- Saraf, R. (2012). High efficiency and cost effective Cu<sub>2</sub>S/CdS thin-film solar cell. *Journal of electrical and electronics engineering*, 47-51.
- Shen, Wenfeng; Xianpeng, Zhang; Qijin, Huang; Qingsong, Xu; Weijie, Song;. (2014). Preparation of solid silver nanoparticles for inkjet printed flexible electronics with high conductivity. *Nanoscale Journal*.
- Shinde, M. A. (2012). Thickness dependent electrical and optical properties of nanocrystalline copper sulfide thin films grown by simple chemical route. *Journal of pure and applied physics*, 657-660.
- Tecnologia, V. (2010). *Materiales Semiconductores*. Recuperado el 31 de julio de 2012, de <http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/materiales-semiconductores.pdf>
- Vas-Ummuay Paravee., C. C.-H. (2013). Growth kinetics of copper sulfide thin films by chemical bath deposition. *Journal of solid state science and technology*, 120-129.
- Villegas, J. S. (2012). Desarrollo de celdas solares con estructura Mo/CuInS<sub>2</sub>/In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/ZnO. Bogota , Colombia.
- Wu, Y. (2008). Synthesis and photovoltaic application of copper (I) sulfide nanocrystals. *Nanoletters*, 2551-2555.
- Yue, W. W. (2008). Synthesis and photovoltaic application of copper sulfide nanocrystals. *nanoletters*, 2551-2555.

### Tabla Trabajo Colaborativo

| Rol               | Autor (es)  |
|-------------------|---|
| Conceptualización | Hortensia Susana Sánchez Rangel   |
| Metodología       | Hortensia Susana Sánchez Rangel, Alfredo Valles Chavez  |
| Validación        | Hortensia Susana Sánchez Rangel, Anilú Flores, Alfredo Valles Chávez, Héctor Alfredo Sánchez Sánchez, Delfino Francisco Becerra Robles. |
| Análisis Formal   | Hortensia Susana Sánchez Rangel   |
| Investigación     | Hortensia Susana Sánchez Rangel   |
| Recursos          | Hortensia Susana Sánchez Rangel, Anilú Flores, Alfredo Valles Chávez, Héctor Alfredo Sánchez Sánchez, Delfino Francisco Becerra Robles. |

|   |   |
|---|---|
| Curación de datos                             | Anilú Flores Regalado   |
| Escritura - Preparación del borrador original | Hortensia Susana Sánchez Rangel, Alfredo Valles Chávez  |
| Escritura - Revisión y edición                | Hortensia Susana Sánchez Rangel, Anilú Flores, Alfredo Valles Chávez, Héctor Alfredo Sánchez Sánchez, Delfino Francisco Becerra Robles. |