

Difusión de los Proyectos del Fondo Sectorial de Energía (ANII) del año 2011

Energía eólica, solar e hidro

Proyecto: “Aplicando know-how nacional en celdas solares híbridas polimérico-inorgánicas”

Responsable: Dra. Laura Fornaro

**Grupo de Desarrollo de Materiales y Estudios Ambientales (GDMEA)
Departamento de Desarrollo Tecnológico
Centro Universitario regional del Este (CURE), Sede Rocha
Universidad de la República**

Ventajas de energía fotovoltaica:

- **Renovable**
- **Silenciosa**
- **No posee partes mecánicas → no requiere mantenimiento**
- **Aumento de la potencia instalada mediante la incorporación de nuevos módulos fotovoltaicos**
- **Puede producirse muy cerca del consumidor**

Desventajas:

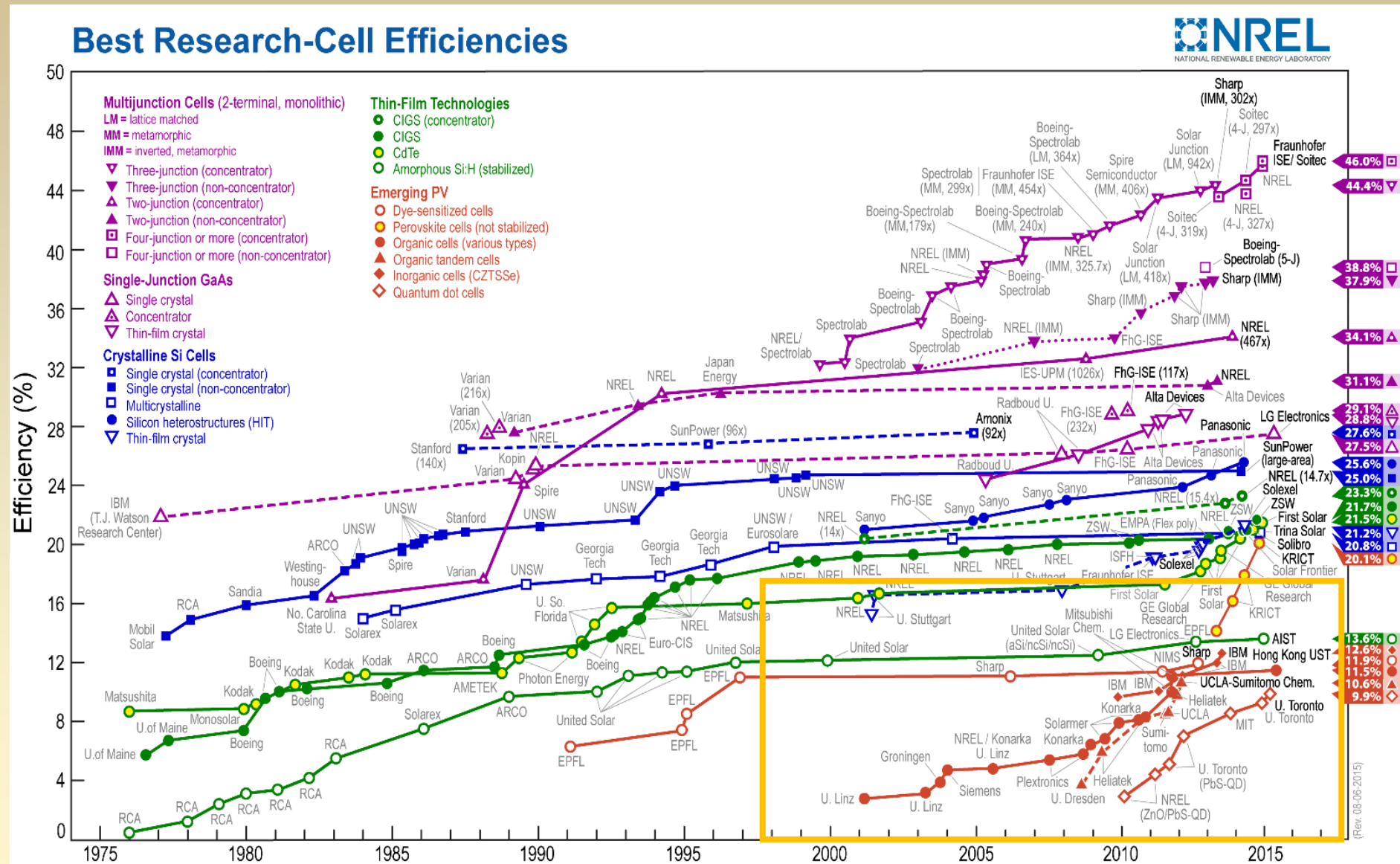
- **Tecnologías de producción controladas por los países industrializados**
- **Es todavía una de las fuentes más caras**

Grupo de Desarrollo de Materiales y Estudios Ambientales (GDMEA)

Desarrollo de materiales para mejorar la eficiencia de las celdas solares

- **Vitrocerámicos transparentes como conversores espectrales**
- **Síntesis de nanopartículas para celdas solares híbridas polimérico-inorgánicas**
- **Desarrollo de celdas solares híbridas polimérico-inorgánicas**

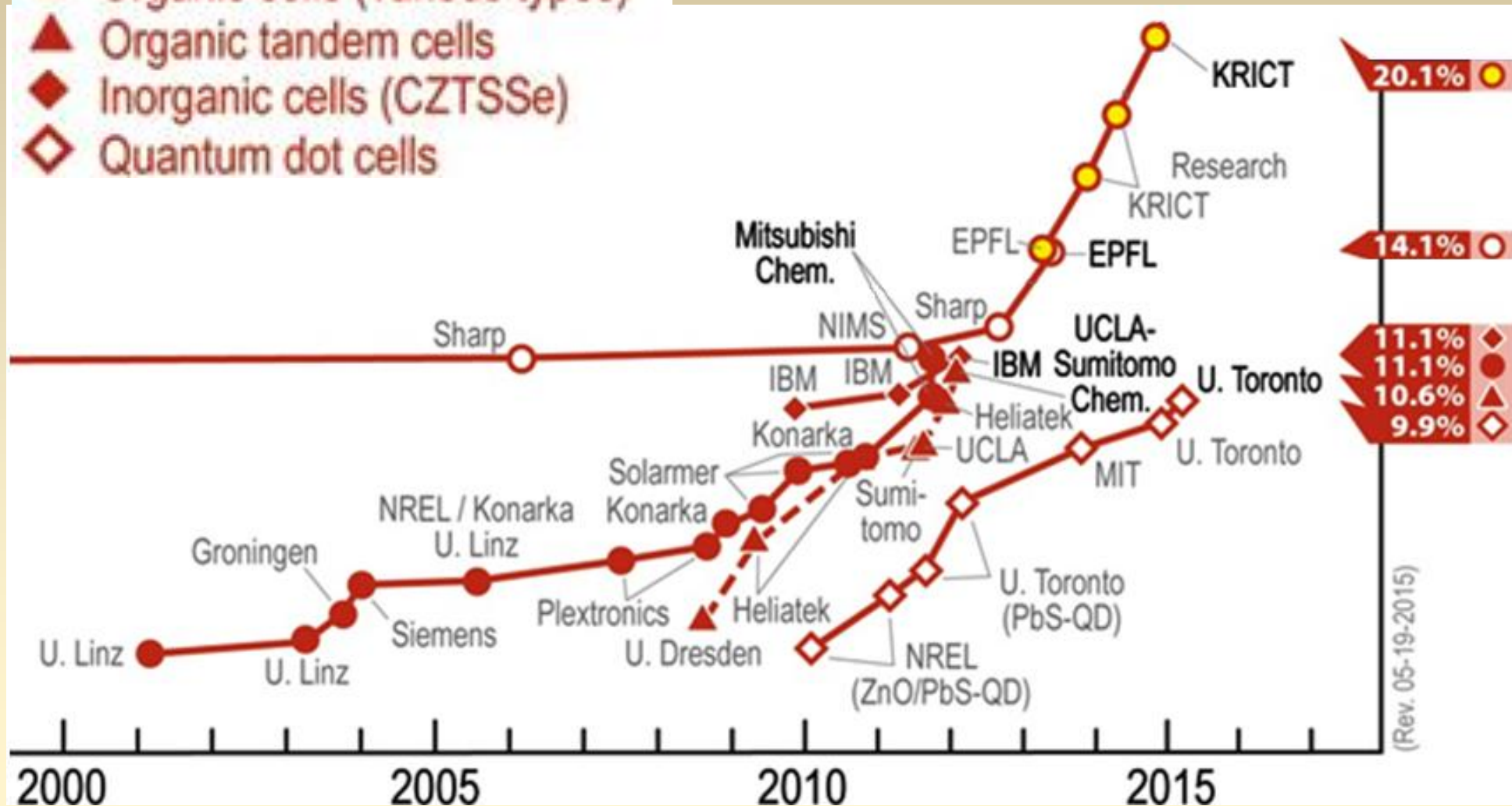
Diferentes generaciones, tecnologías, arquitecturas, materiales.....



Valores máximos de eficiencia de celdas solares en función del tiempo

Emerging PV

- Dye-sensitized cells
- Perovskite cells (not stabilized)
- Organic cells (various types)
- ▲ Organic tandem cells
- ◆ Inorganic cells (CZTSSe)
- ◇ Quantum dot cells



Celdas polimérico inorgánicas

Material orgánico donador de electrones

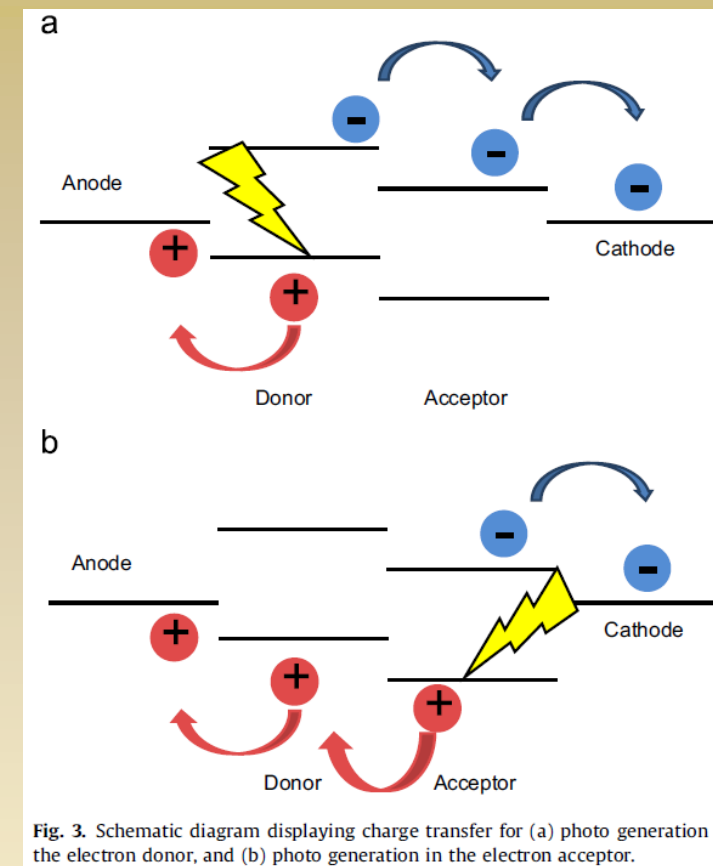


**Altos coeficientes de absorción
Procesamiento solución, baja T
Flexibilidad y bajo peso**

Material inorgánico aceptor de electrones



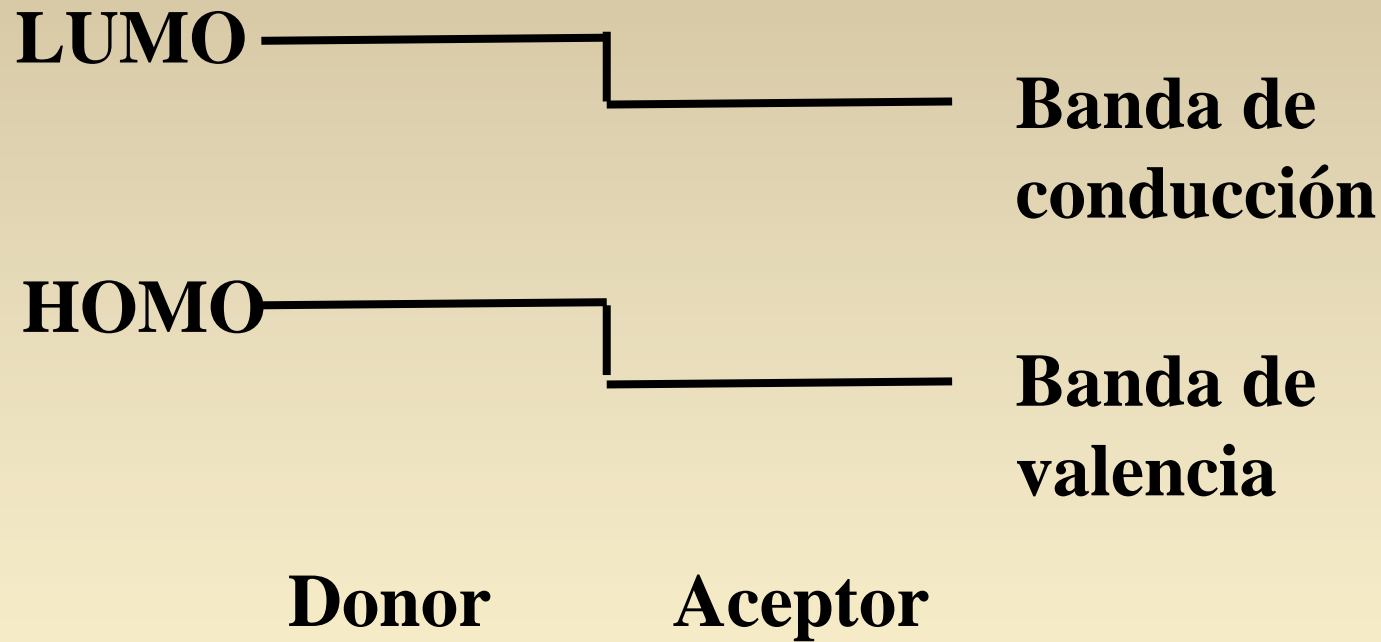
**Estabilidad física y química
Band gap modificable:**



Transferencia de cargas para fotones absorbidos en donador y en aceptor

Los fotones son absorbidos por el polímero y por las nanopartículas inorgánicas, generando excitones que difunden a la interfase polímero donador – nanopartículas aceptor y que se disocian en e y h. Estos se transportan a través de donador y de aceptor hacia los electrodos, donde son colectados

Celdas polimérico inorgánicas: combinación polímero-nanoestructuras- electrodos



Combinación de bandas de energía apropiada

LUMO: lowest unoccupied molecular orbital

HOMO: highest occupied molecular orbital

Polímeros

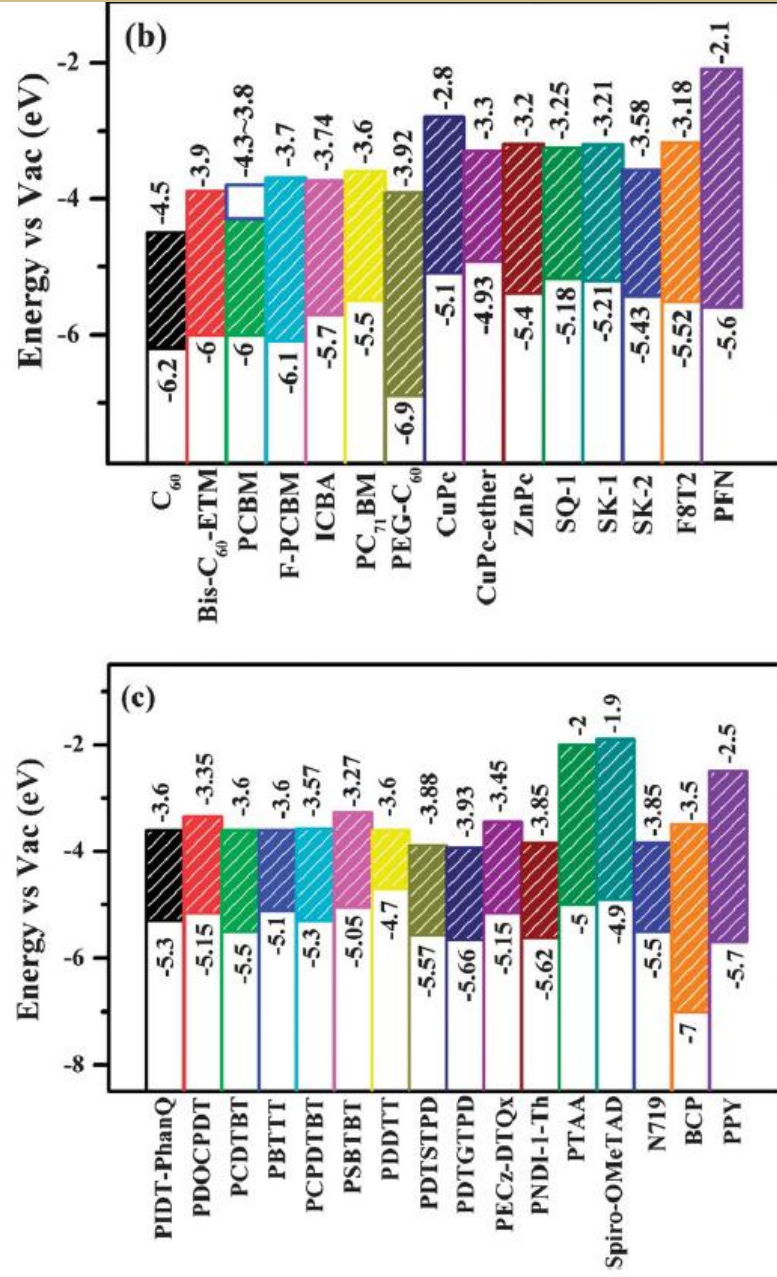
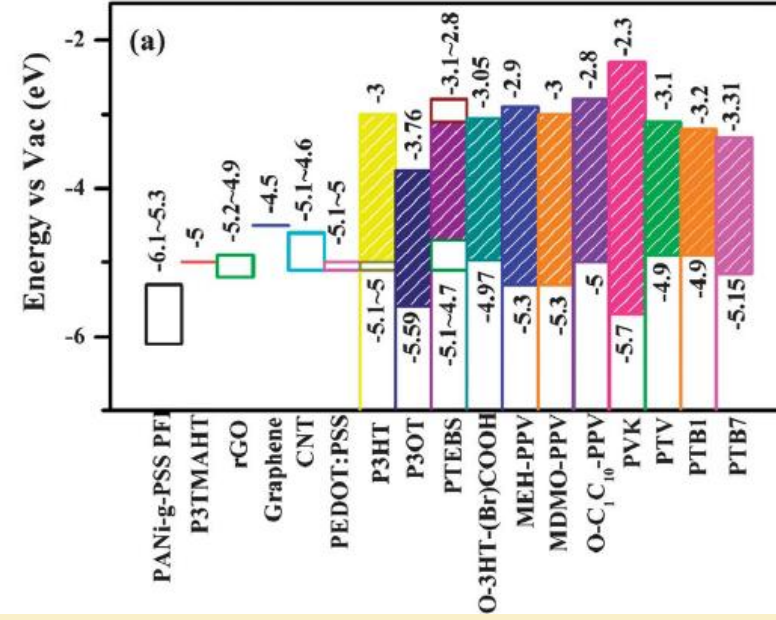


Fig. 3 Schematic of the energy bands of frequently used organics in OIH solar cells (a-c)



Compuestos inorgánicos

Electrodos

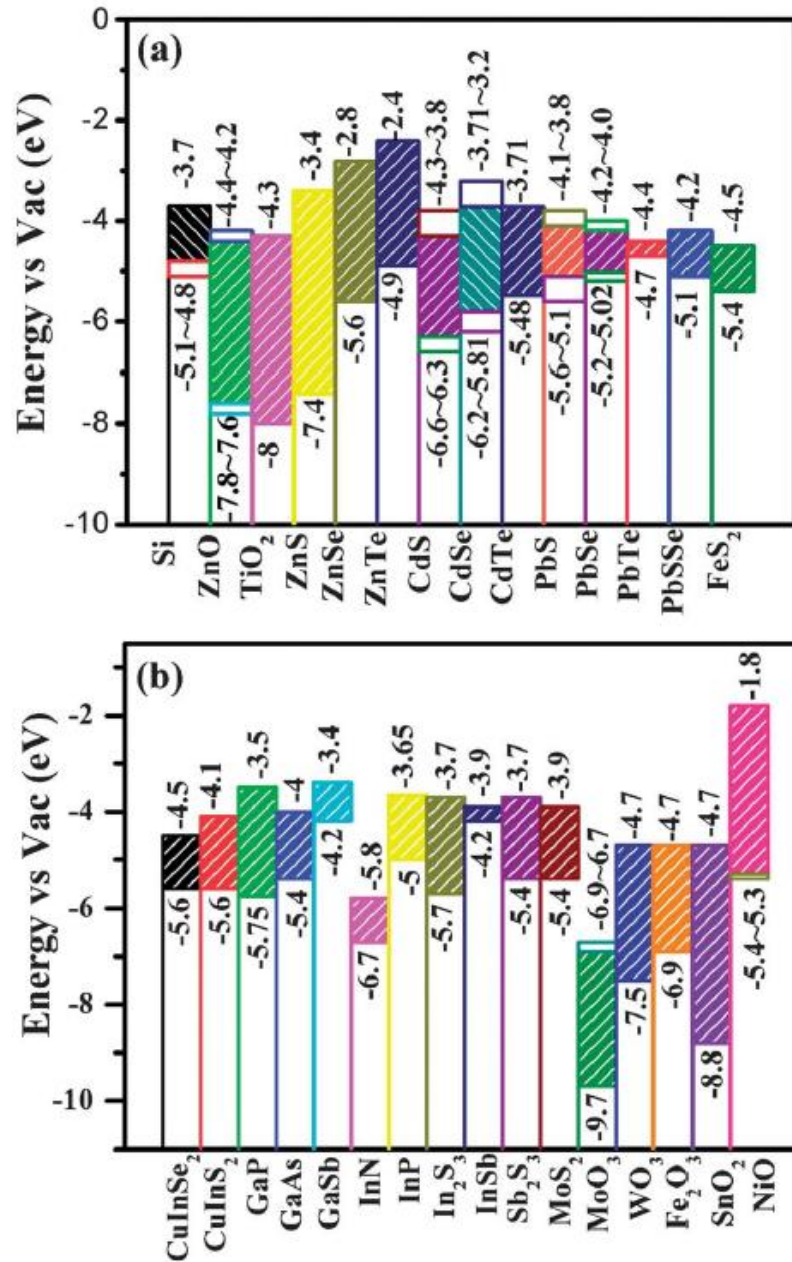
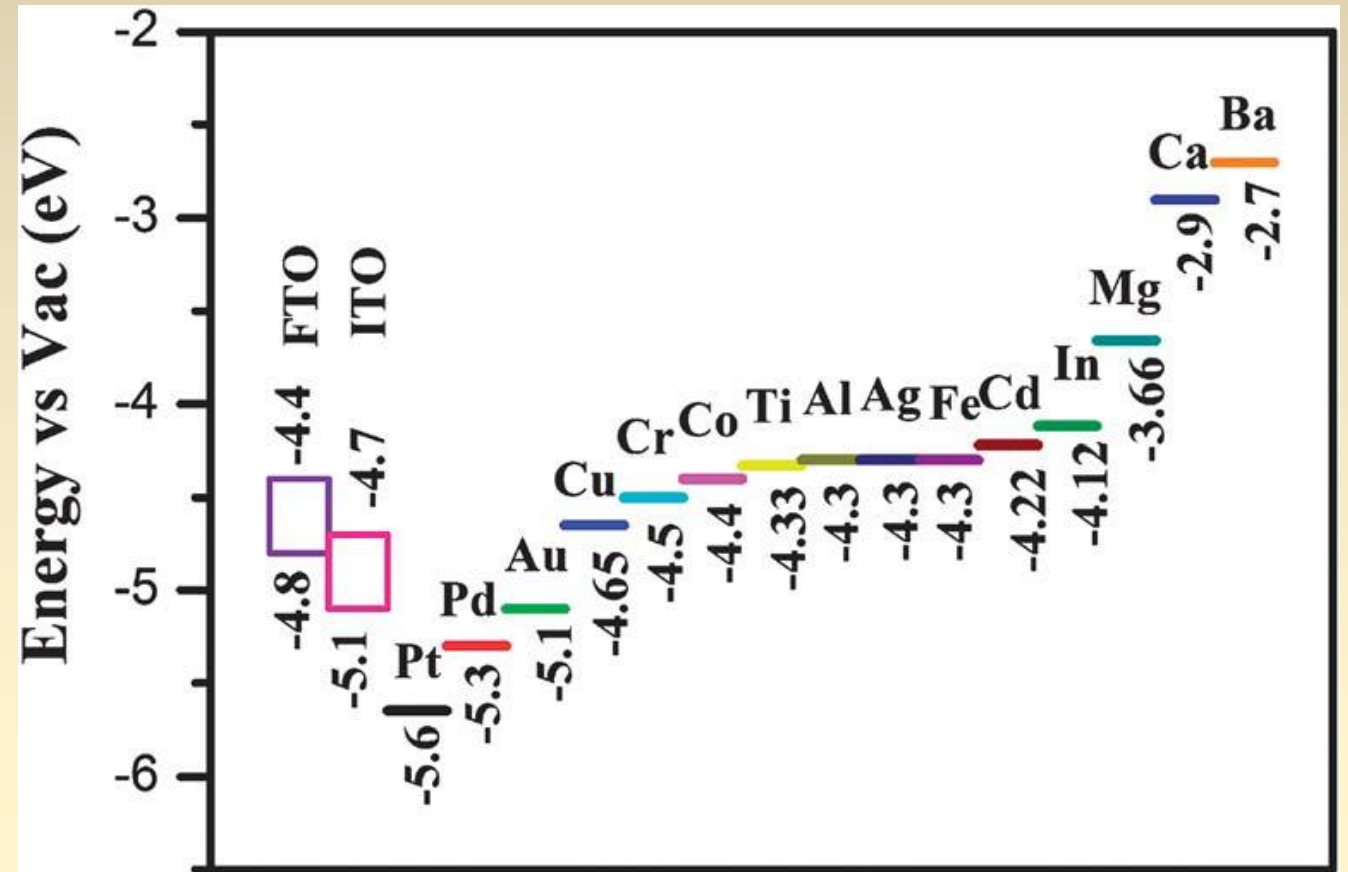


Fig. 4 Schematic of the energy bands of frequently used inorganics (a) and (b) in OIH solar cells.



Celdas polimérico inorgánicas: combinación polímero-nanoestructuras- electrodos

Problema (y riqueza en cuanto a investigación):

El espectro de absorción y, sobre todo, la banda de energía prohibida de las nanopartículas inorgánicas **depende de su tamaño (varía en varios eV)**

O se dispone de los valores ya probados, o.... hay que determinar la energía de las nanopartículas en cada caso, según su tamaño y determinar su correcta correspondencia con el polímero

Objetivos y actividades previstas del Proyecto

Objetivo general: Desarrollar celdas solares híbridas polimérico-inorgánicas de área mínima 1 cm^2 y eficiencia de conversión de potencia mínima de 1%

Objetivos/actividades:

- Obtener y caracterizar nanocristales de yoduros de metales pesados del orden de nm y morfología controlable
- Obtener y caracterizar capas activas híbridas polímero-nanocristales
- Construir celdas solares polimérico-inorgánicas
- Caracterizar las celdas obtenidas en sus parámetros (voltaje en circuito abierto, densidad de corriente en cortocircuito, factor de llenado, potencia máxima, eficiencia cuántica interna (IQE) y externa (EQE) y de conversión de potencia (PCE))
- Concluir sobre los materiales más adecuados
- Difundir los resultados del Proyecto

Trabajos realizados y resultados obtenidos

- 1. Creación de infraestructura para el desarrollo del Proyecto**
- 2. Síntesis y caracterización de nanopartículas**
- 3. Construcción de celdas solares híbridas**
- 4. Caracterización eléctrica de las celdas**
- 5. Formación de recursos humanos**
- 6. Difusión de lo realizado**

Creación de infraestructura

❖ Específica para el Proyecto

Para preparación de las celdas



Spin Coater Laurell Technologies, WS-650Hz-23NPP-UD-3. Software Spin 3000



Generador de nitrógeno gaseoso Peak Scientific

Cámara de guantes de atmósfera controlada



Para caracterización de las celdas



**Simulador solar Abet
Technologies, SUN 3000, clase
AAA. Software ReRa Systems®
Tracer2
SMU Keithley-ABET 2410**

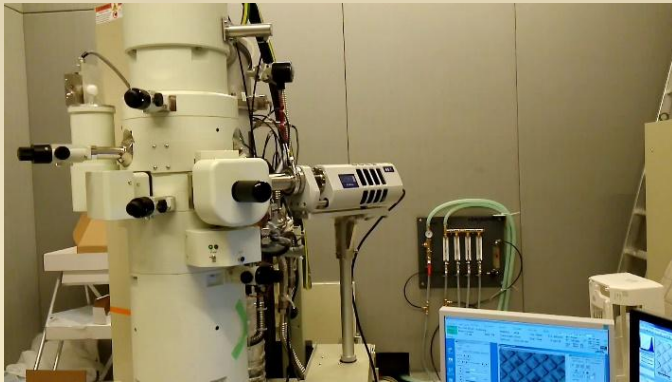


**Sistema de medida de eficiencia
cuántica
QE- Oriel IQE-AC-QTH-SI-220.
Software IQE 200 – Quantum
Efficiency Measurement System v. 2.5**

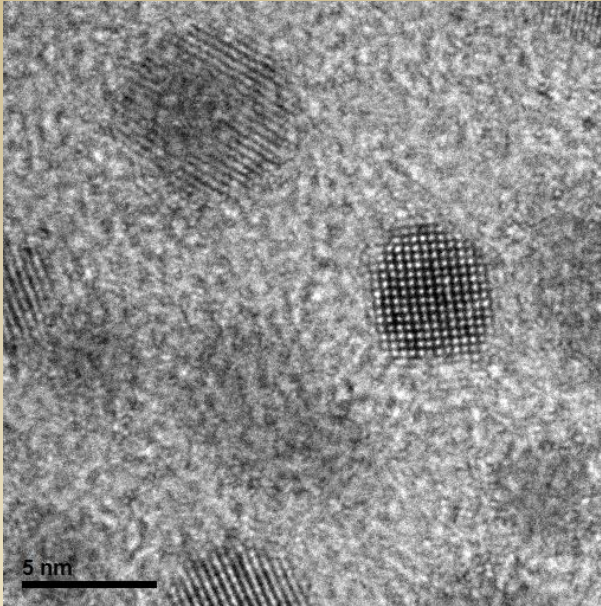
Creación de infraestructura

❖ No específica, pero necesaria para el Proyecto

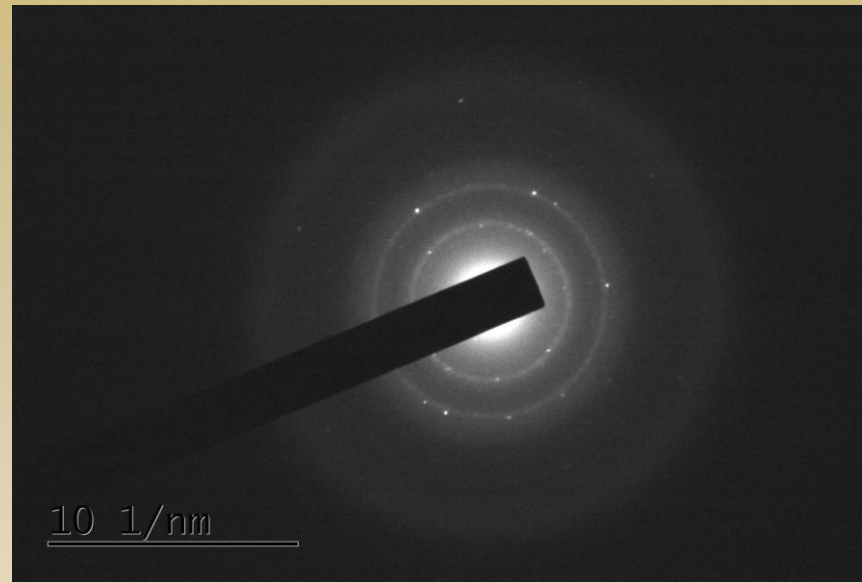
Microscopio de transmisión electrónica de alta resolución (HR-TEM) Jeol
2100 200 KV



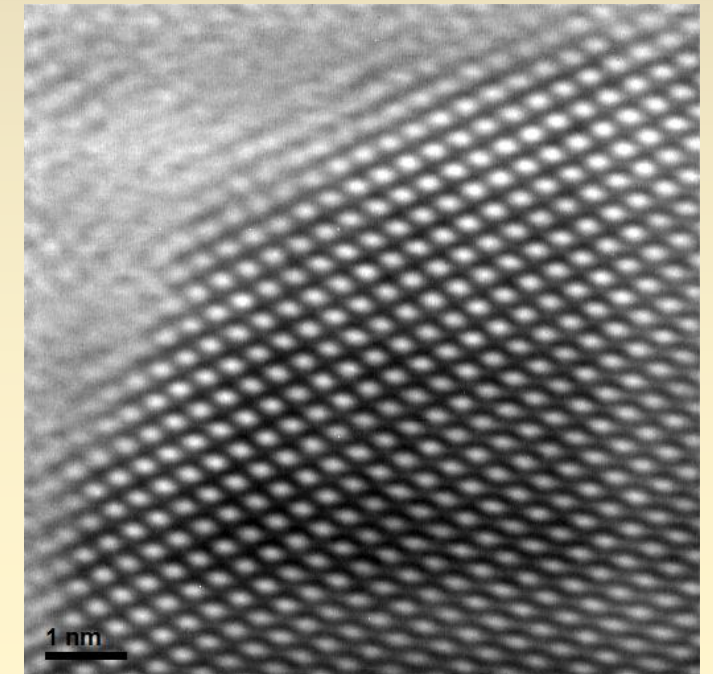
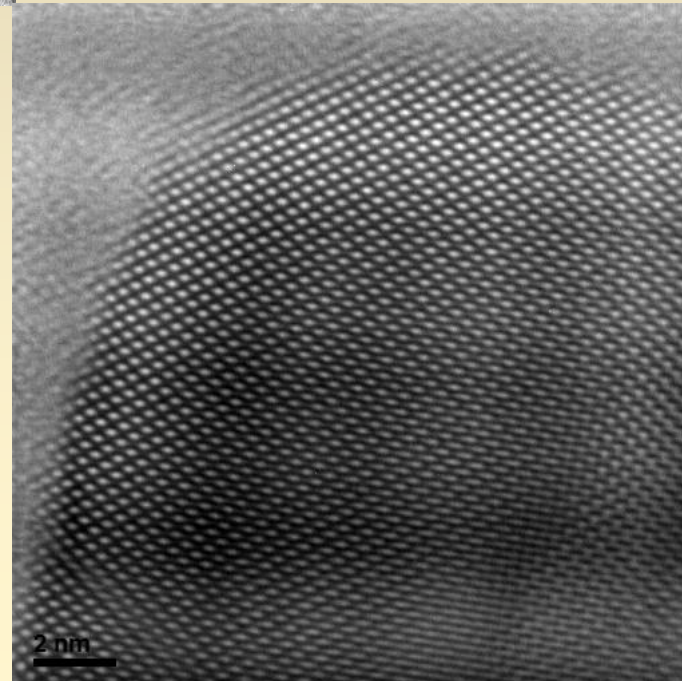




**Imagen de nanopartículas
de tri-yoduro de bismuto**

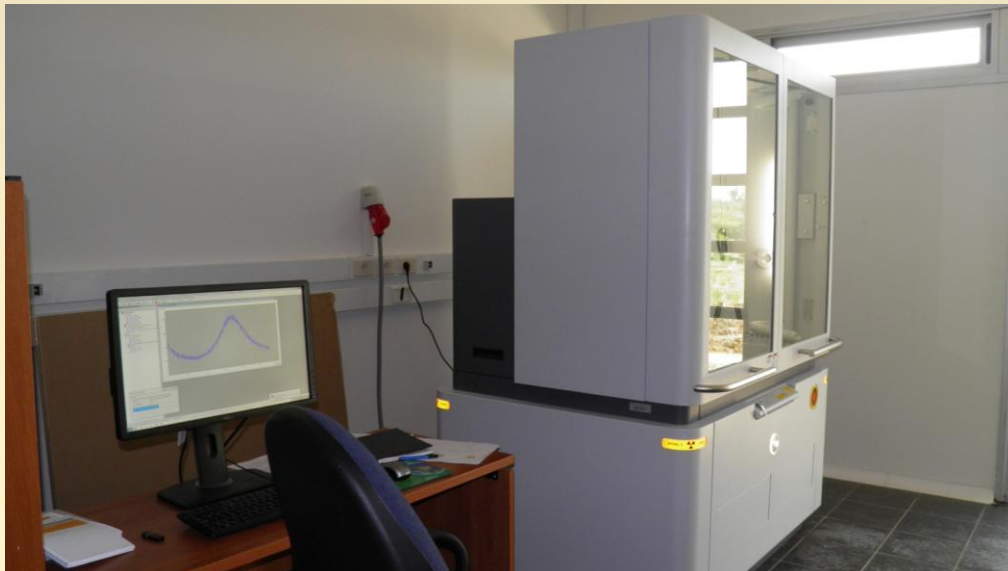


Difracción de electrones de nanopartículas de tri-yoduro de bismuto

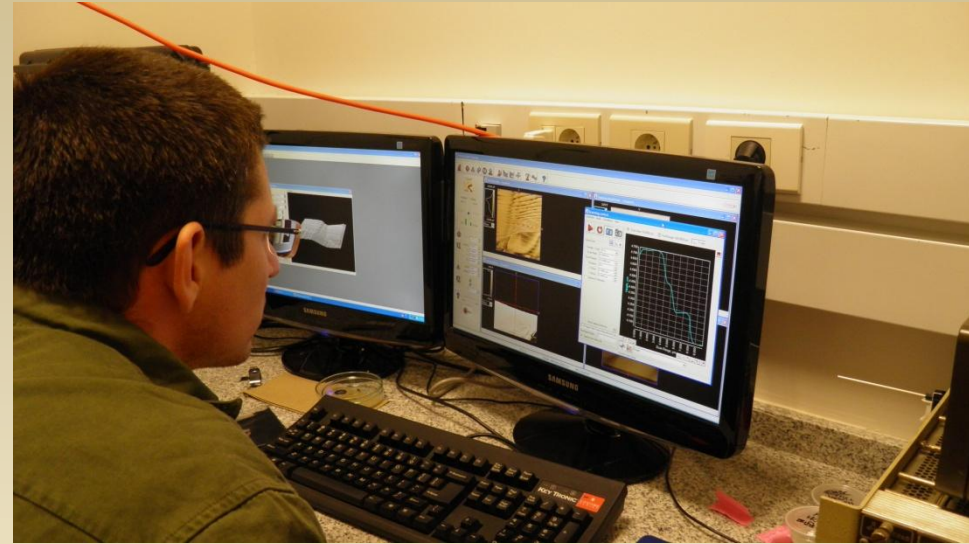
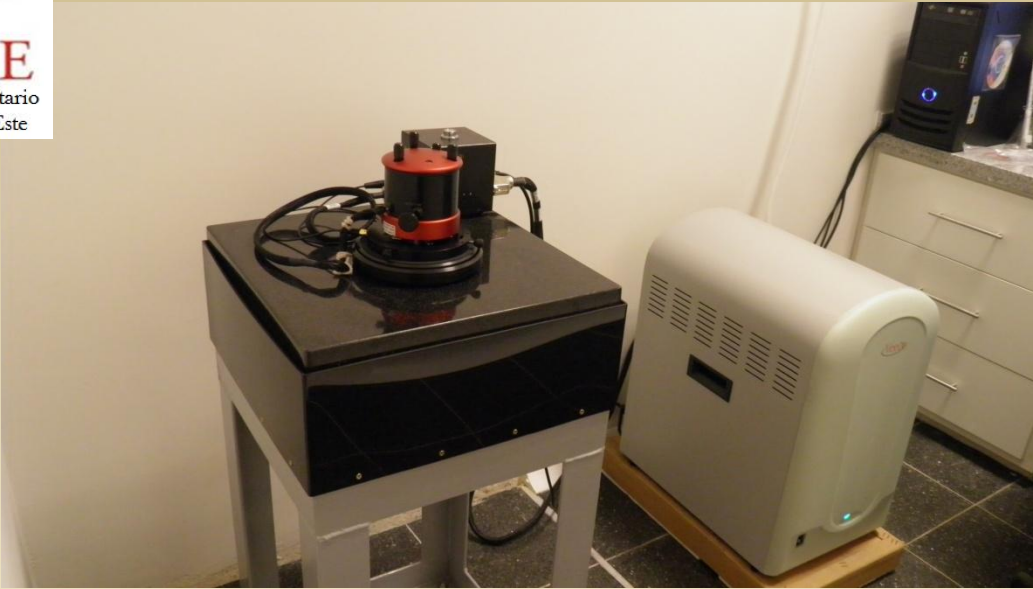


**Imágenes de nanopartículas
de sulfuro de mercurio**

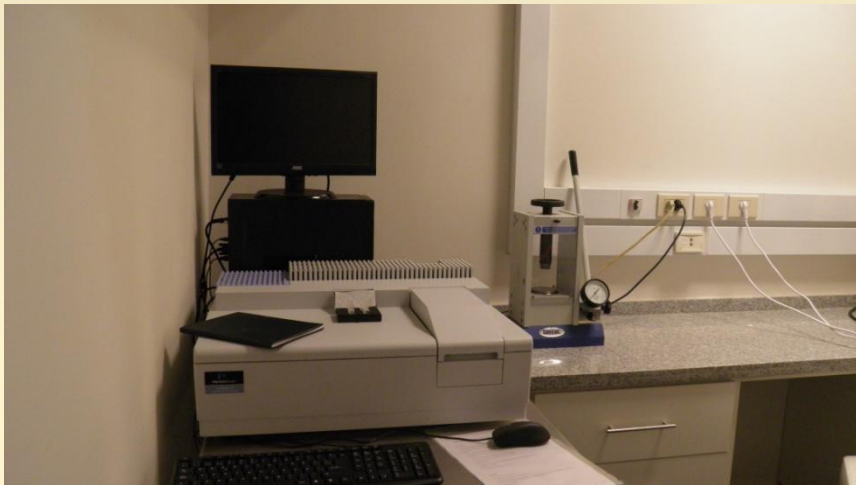
Difractómetro de Rayos X Panalytical, Empyrean



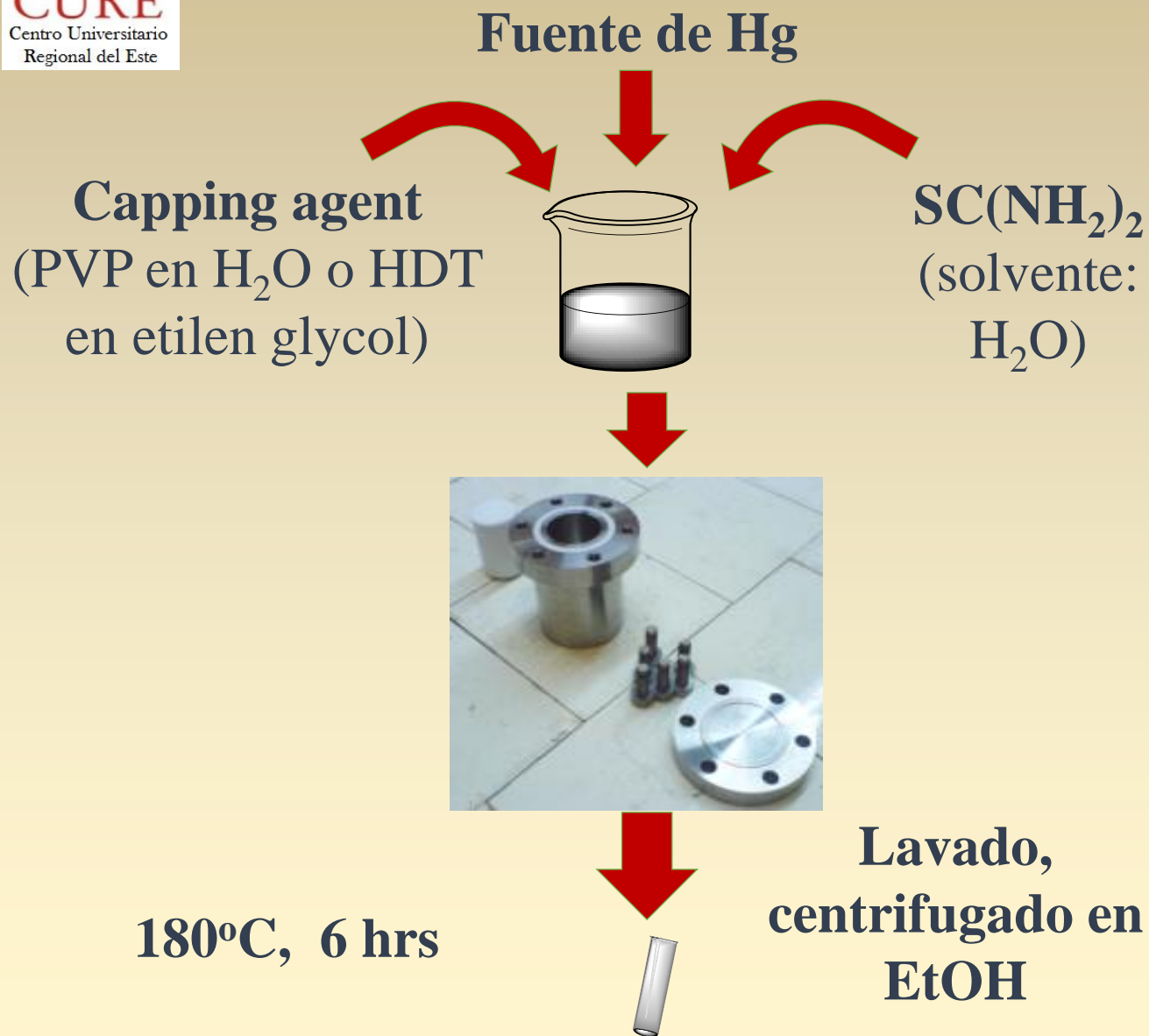
Microscopio de fuerzas atómicas (AFM) Veeco, Caliber



Espectrofotómetros UV-Vis, IR cercano, IR medio-lejano, Perkin Elmer



Síntesis y caracterización de nanopartículas de HgS

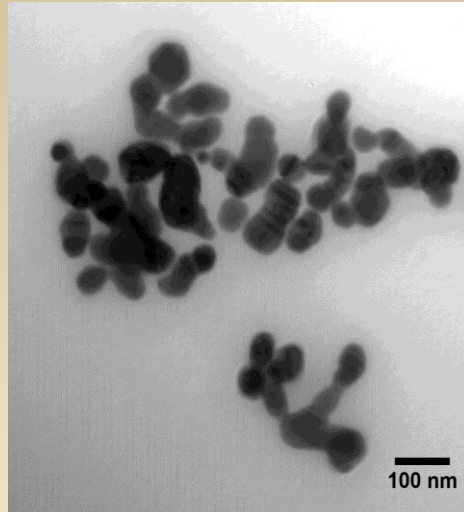


Np	Hg Source	CA	Hg:CA molar ratio
1	Hg(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	PVP	10:1
2	HgO	PVP	10:1
3	HgO	HDT	10:1
4	HgO	HDT	1:1

Capping agents:
PVP: polivinilpirrolidona
HDT: hexanodecanotiol

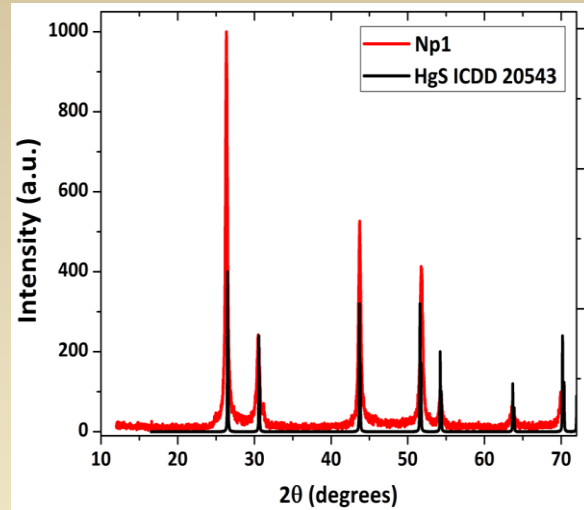
Síntesis y caracterización de nanopartículas de HgS

TEM

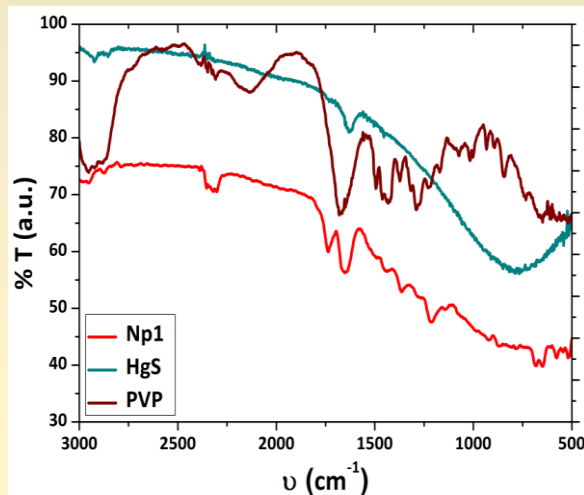


β -HgS nanopartículas con tamaño relativamente uniforme, pero se aglomeran y mantienen PVP

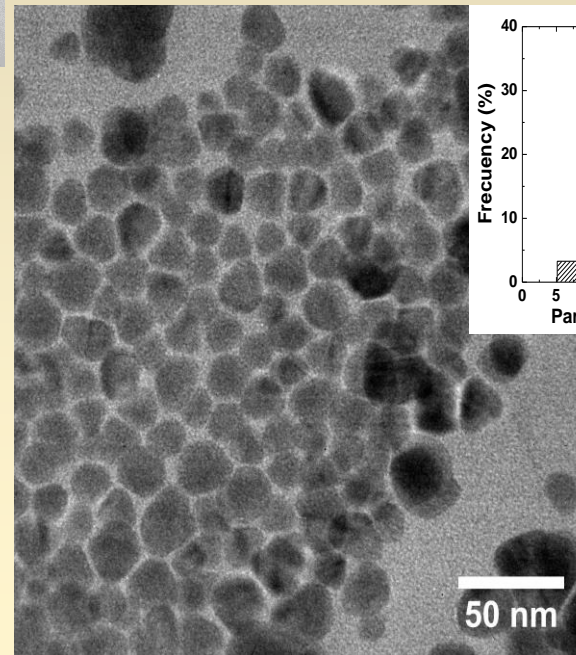
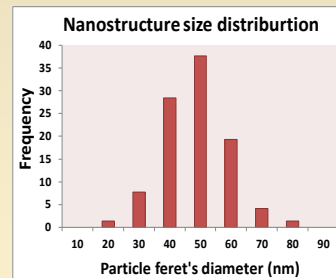
Con el HR-TEM



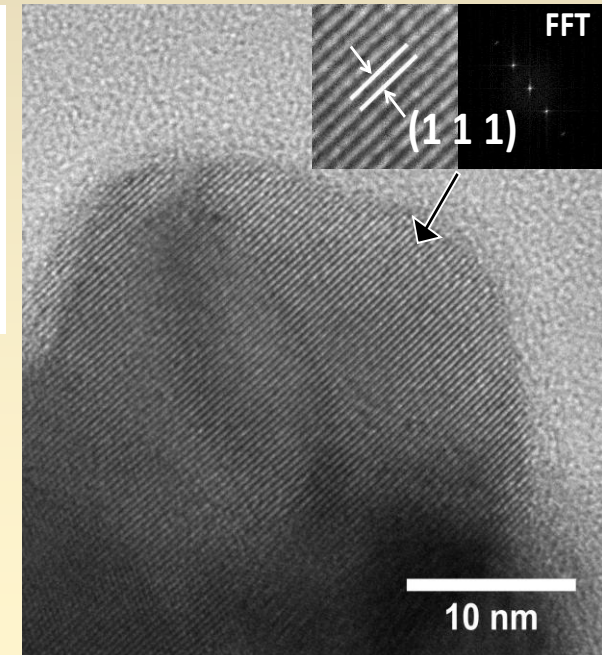
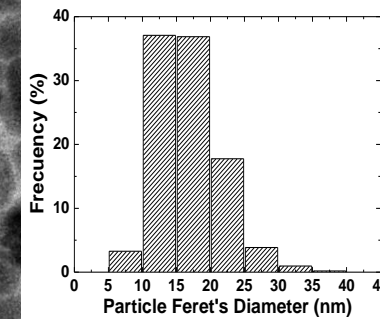
XRD



FTIR

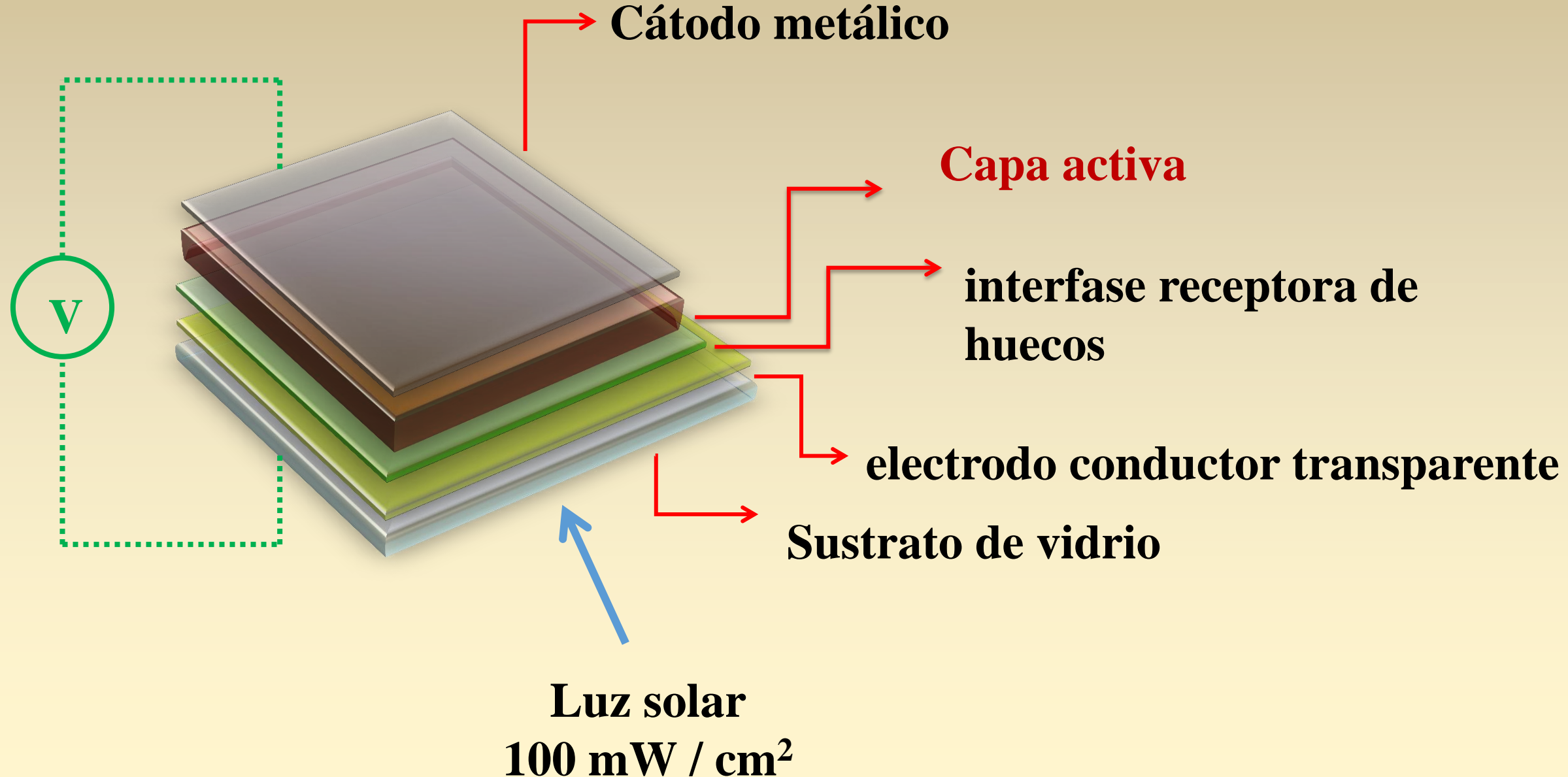


a

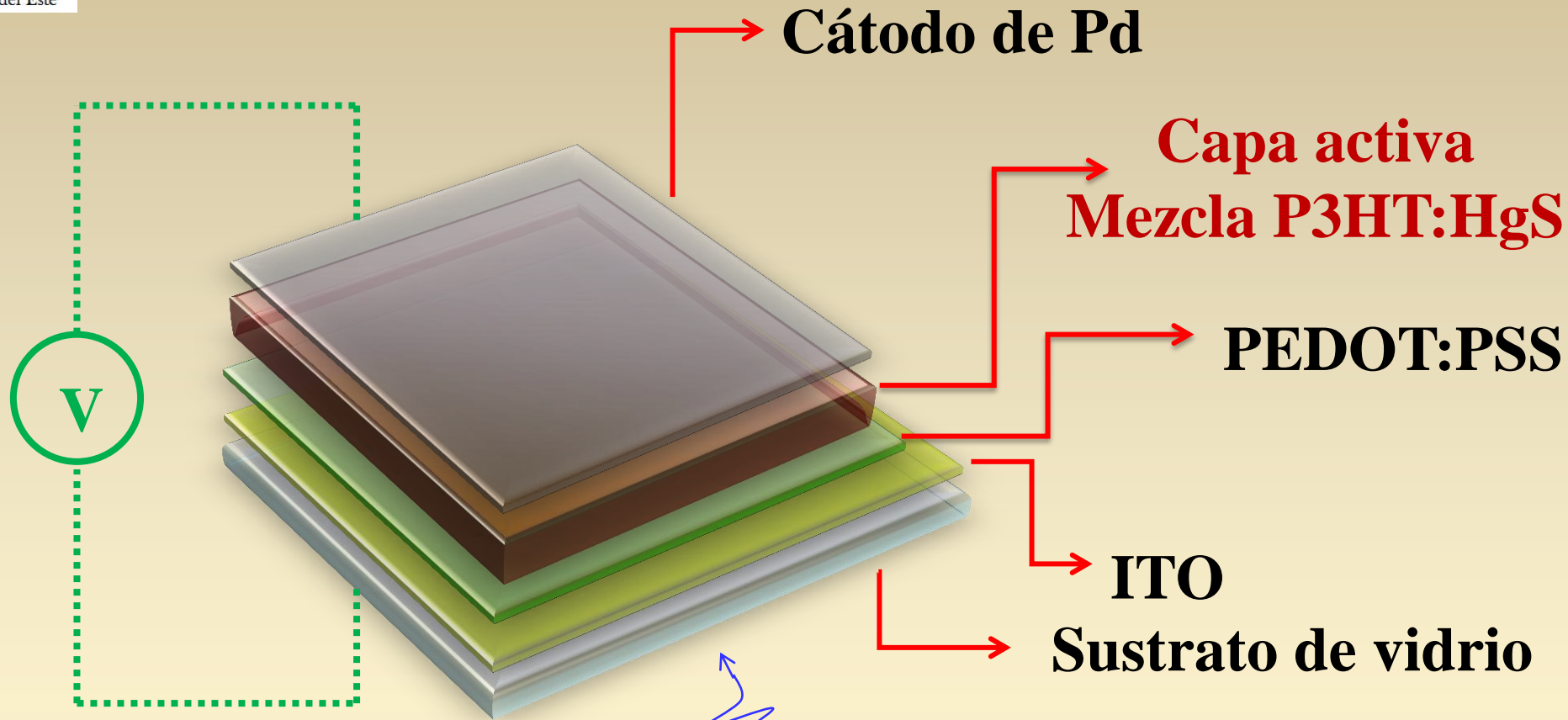


b

Construcción de celdas solares híbridas



Construcción de celdas solares híbridas



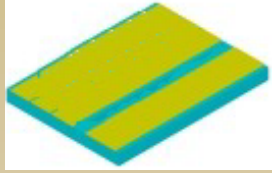
$h\nu$

$100 \text{ mW} / \text{cm}^2$

ITO = óxido de indio y estaño

PEDOT:PSS = poli(3,4-etilendioxitiofeno) – poli(estirensulfonato)

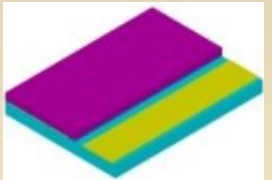
Proceso de construcción de celdas solares híbridas



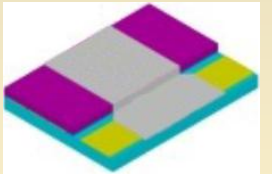
Remoción de ITO de ciertas partes del sustrato
Lavado de sustratos



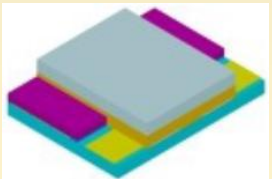
Deposición de la capa de PEDOT:PSS
Annealing térmico



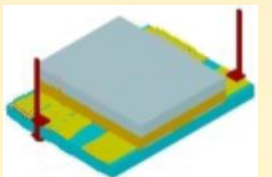
Deposición de la capa activa de P3HT:HgS
Annealing térmico



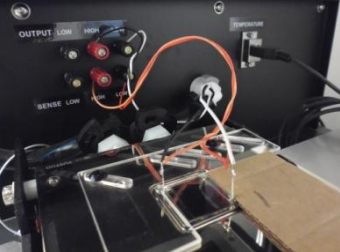
Deposición del cátodo metálico de Pd



Encapsulado

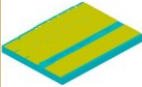
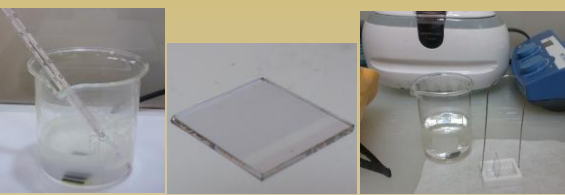
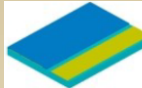

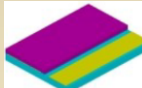





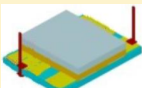
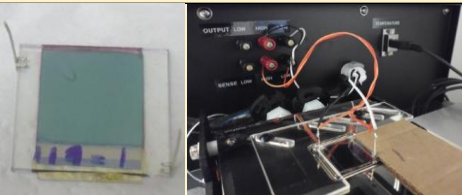


Adición de los contactos eléctricos



Centro Universitario
Regional del Este



	<p>Remoción de ITO de ciertas partes del sustrato para formar el patrón de electrodo deseado.</p> <p>Lavado de sustratos</p>	
	<p>Deposición de la capa de PEDOT:PSS, seguida de annealing térmico</p>	
	<p>Deposición de la capa activa de P3HT:HgS</p>	
	<p>Deposición del cátodo metálico de Pd.</p> <p>Annealing térmico antes o después de este paso</p>	
	<p>Encapsulado</p>	
	<p>Adición de los contactos eléctricos y finalización de la celda</p>	

Capa activa P3HT-HgS

Sustancia o Mezcla	Comportamiento en los solventes	
	<i>Clorobenceno</i>	<i>Cloroformo</i>
HgS-PVP	Suspensión apropiada	Suspensión apropiada
HgS-HDT	Suspensión apropiada	Suspensión apropiada
HgS-PVP : P3HT	Suspensión no apropiada (se forman aglomerados)	Suspensión apropiada
HgS-HDT : P3HT	-	Suspensión apropiada

Parámetros ensayados:

- **Proporción HgS:P3HT**
- **Concentración de HgS**
- **Volumen dispensado**
- **Método de deposición (dinámico/estático)**
- **Tiempo de dispensado y de secado**
- **Velocidad de dispensado y de secado**

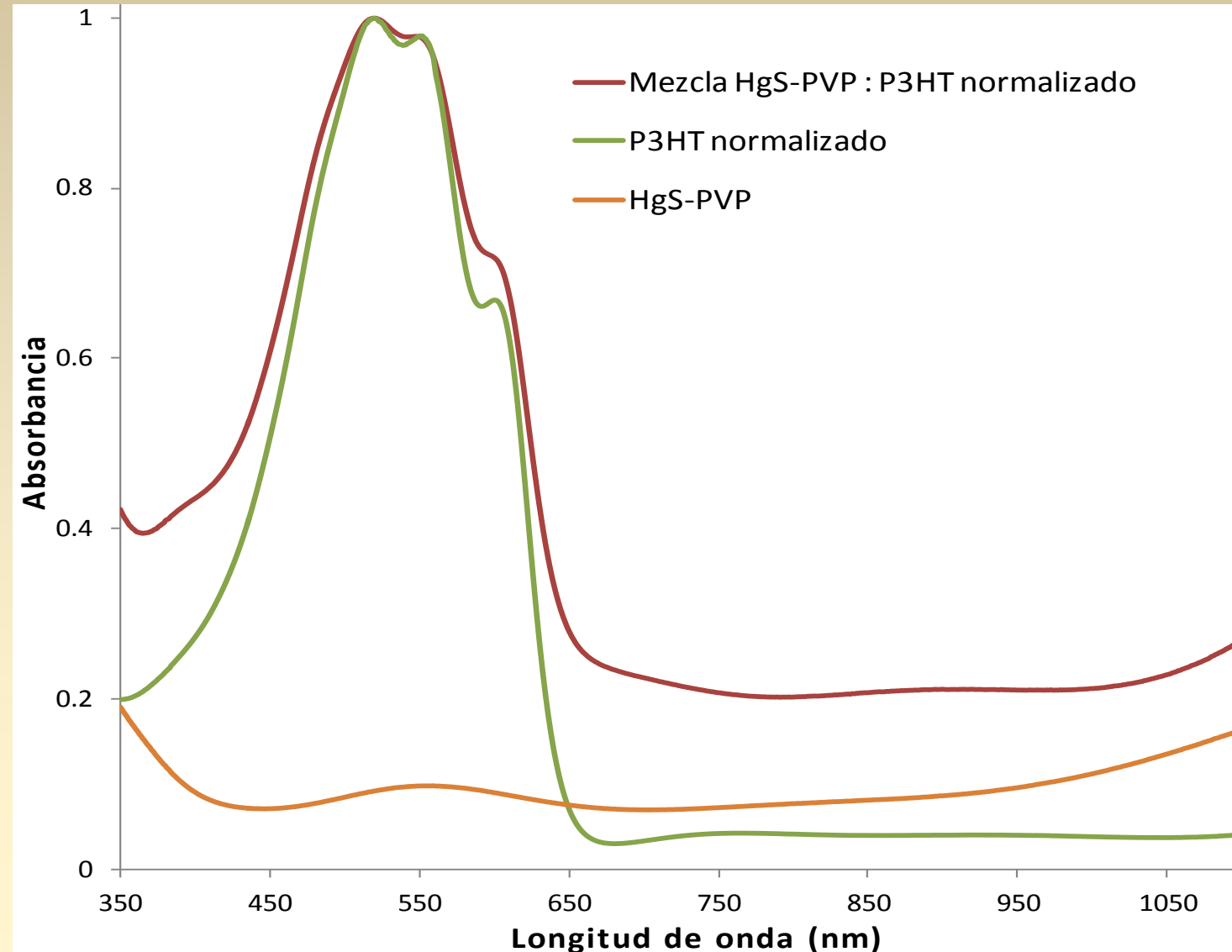
Caracterización de la capa activa

a) Espectroscopía de absorción UV-visible

Sustratos de vidrio con ITO

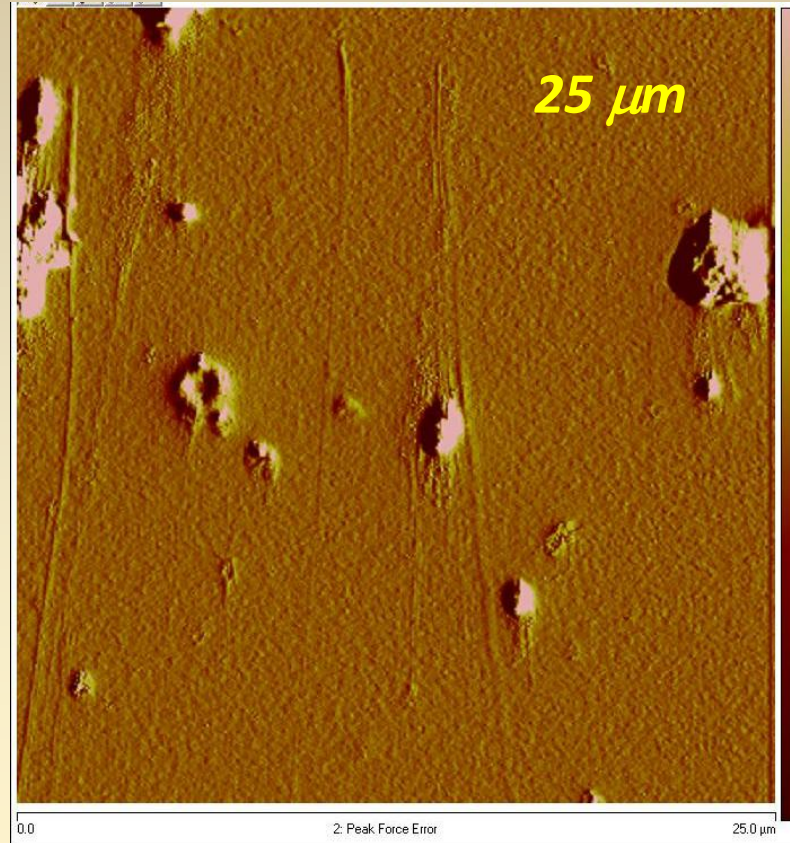
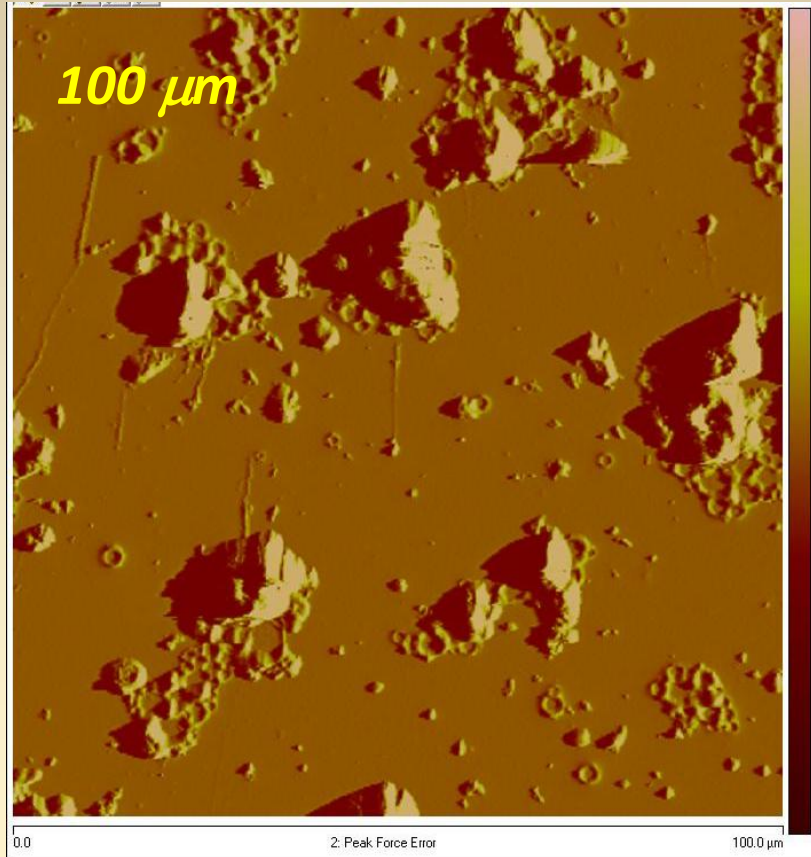
Espectros por separado:

- Sustrato vidrio / ITO
- Capa de NPs de HgS-PVP
- Capa de P3HT
- Capa de mezcla de P3HT
con HgS-PVP



b) Microscopía de fuerzas atómicas

Capa activa de NPs de β -HgS-HDT : P3HT

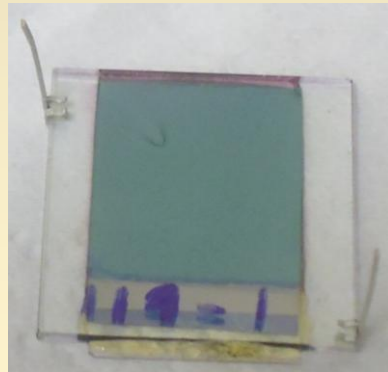
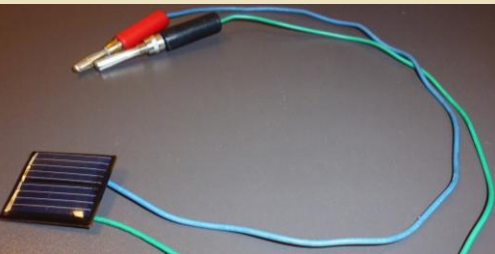


Logramos realmente una capa activa???

Caracterización eléctrica de las celdas solares

Curvas J-V, sin iluminación y bajo iluminación directa equivalente a 1 sol \rightarrow espectro AM 1.5 ($100 \text{ mW} / \text{cm}^2$)

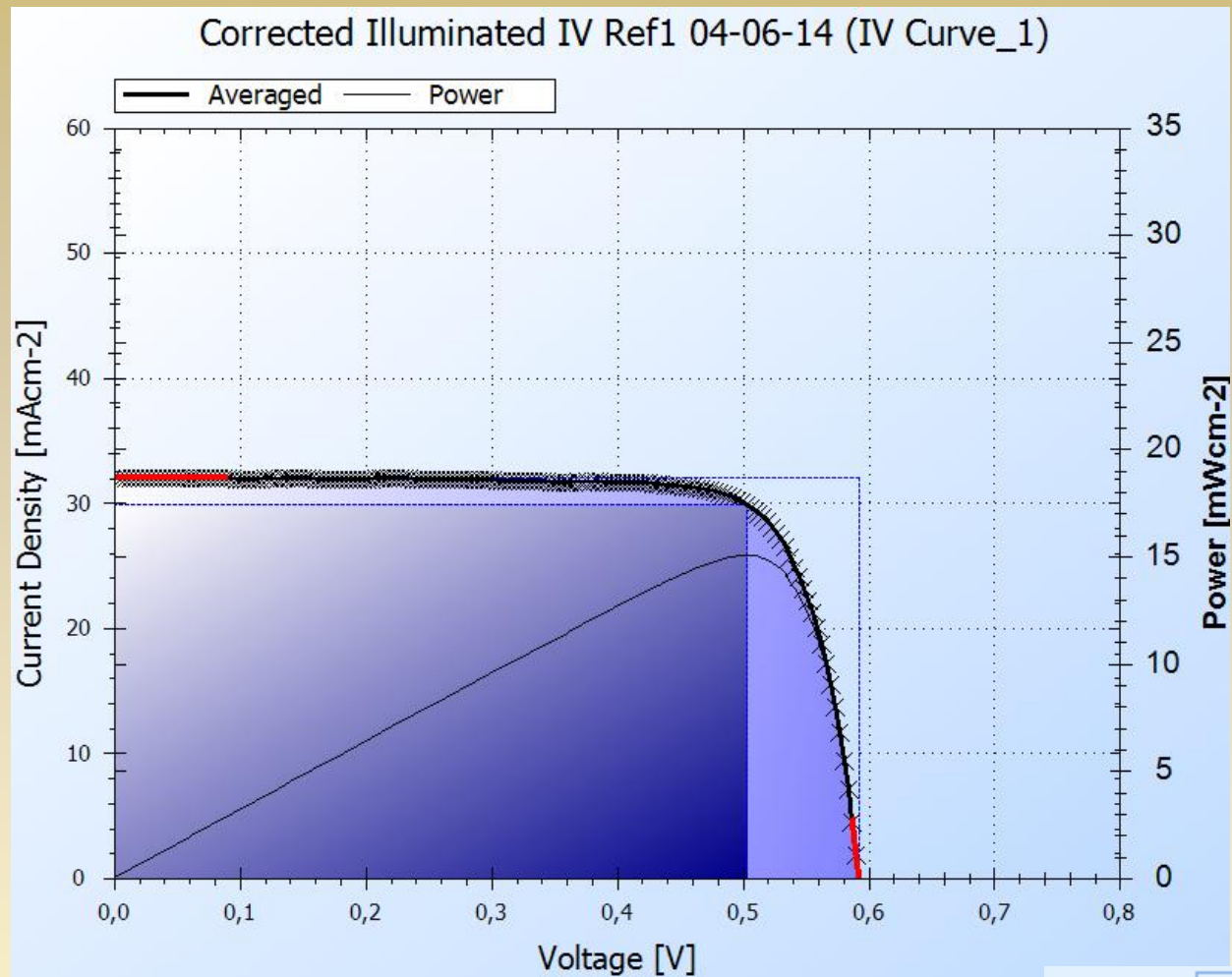
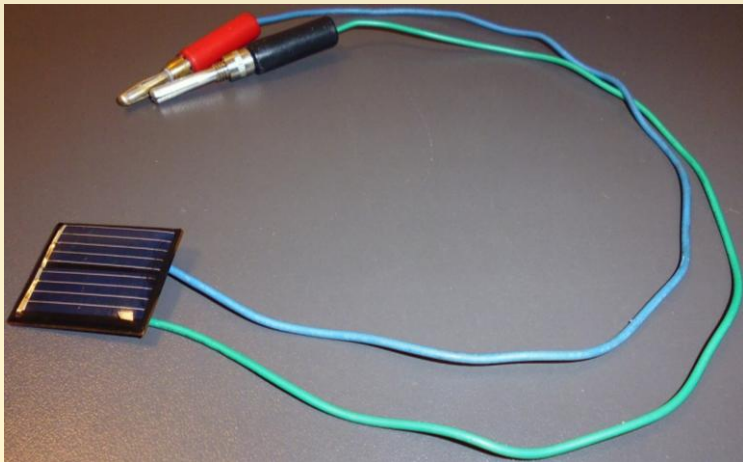
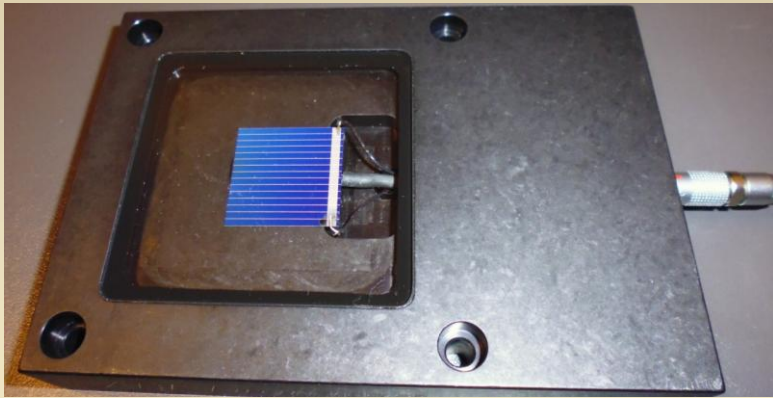
V_{oc} , J_{sc} , FF y eficiencia de conversión



Simulador solar Abet Technologies, SUN 3000, clase AAA. Software ReRa Systems® Tracer2

Electrómetro Keithley-ABET 2410

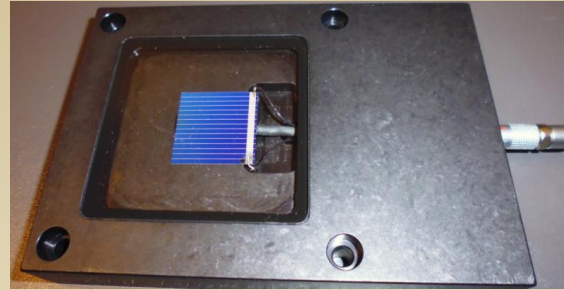
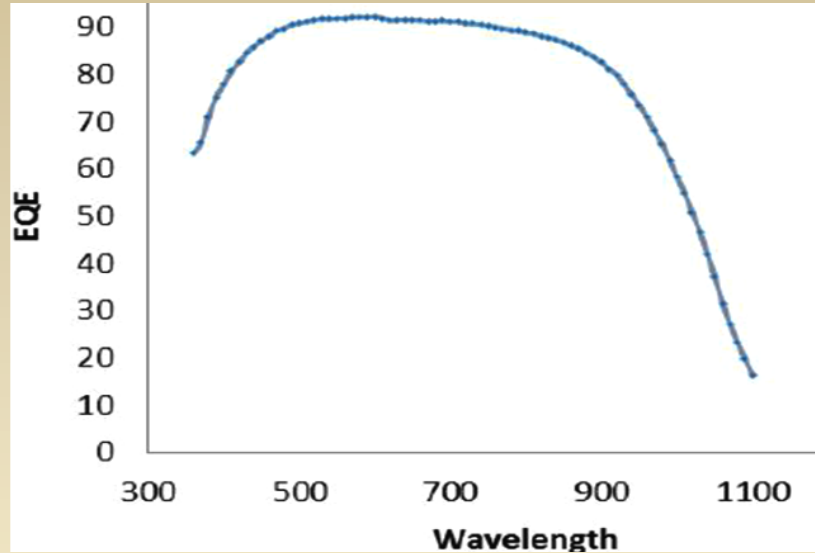
a) Celda de silicio de referencia Abet Technologies Inc. RR-219-O



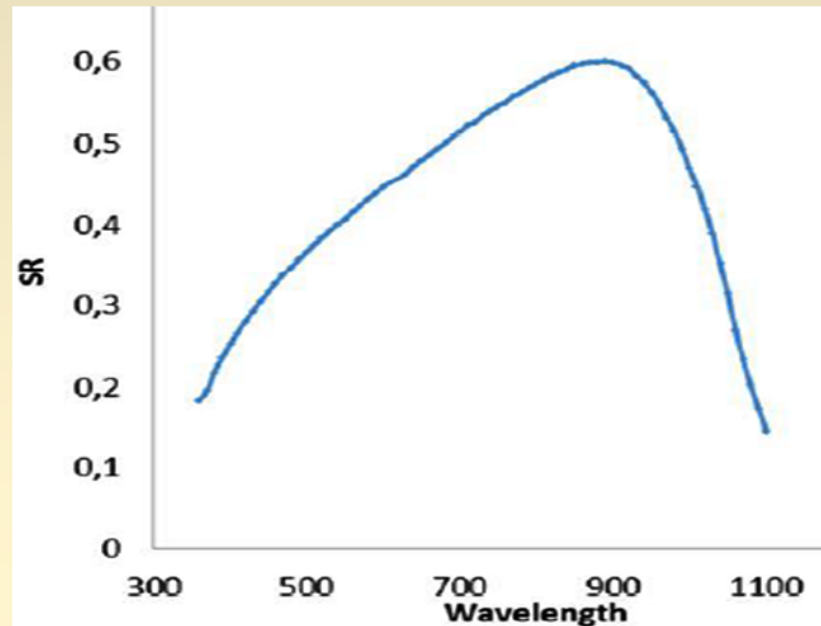
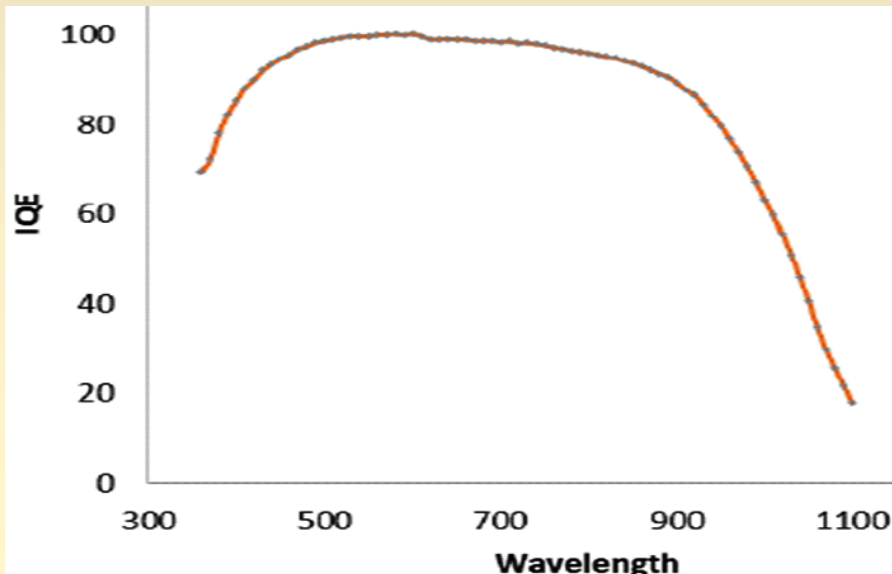
**El simulador solar
funciona correctamente**

Jsc:	32,02 mA/cm2
Isc:	128,07 mA
Voc:	592,791 mV
Imp:	119,53 mA
Vmpp:	502,977 mV
Fill Factor:	79,19 %
Efficiency:	15,03 %

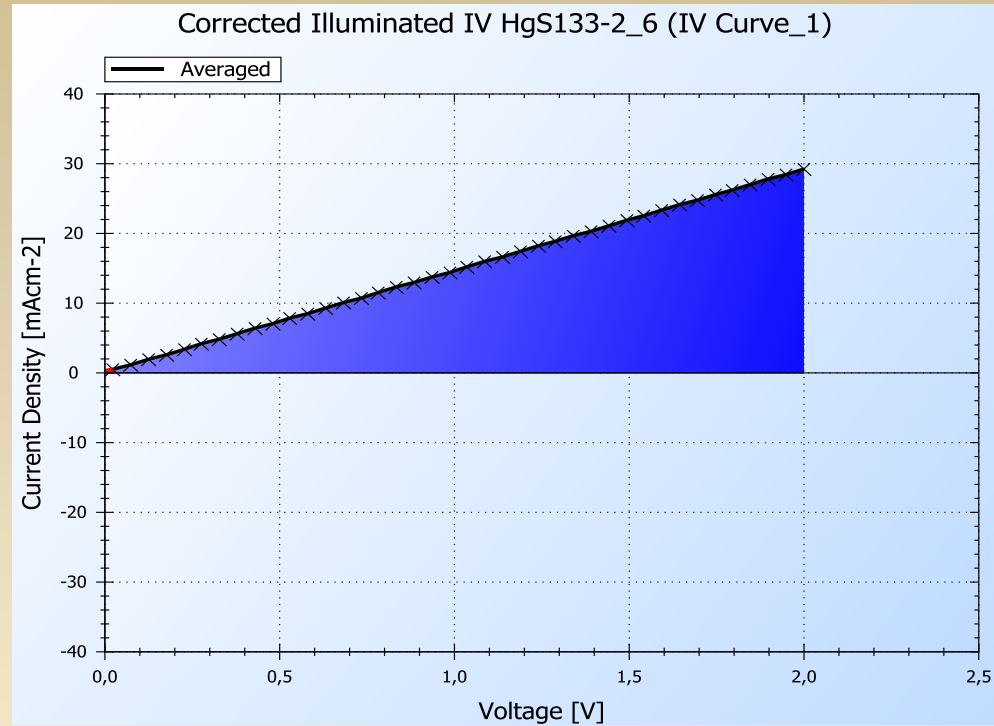
Curvas de eficiencia cuántica externa e interna y respuesta espectral de la celda de referencia



**El medidor de eficiencia
cuántica
funciona correctamente**



Caracterización eléctrica de las celdas solares construidas



Comportamiento óhmico para los dispositivos contruidos.....

Proceso de elaboración de celda correcto pero.....

- Problemas con el contacto metálico ?
- El Pd utilizado está sufriendo un proceso de pasivación ?
- **O... No existe una capa activa de β -HgS : P3HT, corroborando los resultados de caracterización previos**

Algunos trabajos futuros

- ❖ optimización de las etapas de construcción de las celdas
- ❖ búsqueda de diferentes combinaciones de materiales
 - ❖ ITO pero también FTO para el contacto conductor
 - ❖ diferentes proporciones de HgS:P3HT y concentraciones de HgS
 - ❖ diferentes polímeros para la capa activa
 - ❖ nanocristales de otros semiconductores compuestos: PbS, ZnS, HgI₂ y BiI₃
 - ❖ Ingeniería de ligandos como capping agent (piridina, por ejemplo)
- ❖ Capa activa no polimérica, en especial metilamonio-yoduro de plomo (“perovskitas”) sintetizado por deposición química de vapor como film cristalino, o por spin coating (interfase receptora de electrones C70-PCBM)
- ❖ Diferentes metales como Au o Al, con o sin LiF, para el cátodo superior

Difusión y formación de recursos humanos específica del Proyecto

“Preliminary Study of Hybrid Solar Cells from a Blend of Ligand-Capped HgS Nanoparticles and Poly(3-hexylthiophene)”, L. Bethencourt, I. Galain, H. Bentos Pereira, G. Azcune, L. Fornaro, presentado en el XIII SBPMat, 28 de Setiembre – 2 de Octubre de 2014, Joao Pessoa, PB, Brasil

Postgrado en Química: “Desarrollo de celdas solares híbridas polimérico-inorgánicas” (con beca ANII), actualmente en etapa de doctorado

Formación del resto de recursos humanos que participaron del Proyecto

Conclusión final

Aplicando la infraestructura, la experiencia y los resultados en síntesis y caracterización de nanopartículas, y en preparación y caracterización de celdas solares híbridas, la realización del Proyecto permite poder enfrentar nuevas etapas y desafíos, buscando la combinación de materiales y los procesos más adecuados para las distintas partes que componen las celdas, a fin de llegar a la mayor eficiencia posible.

Muchas gracias por su atención