

ABX3  
lab

# Aplicaciones Fotovoltaicas de Nueva Generación

*Marta Vallés*

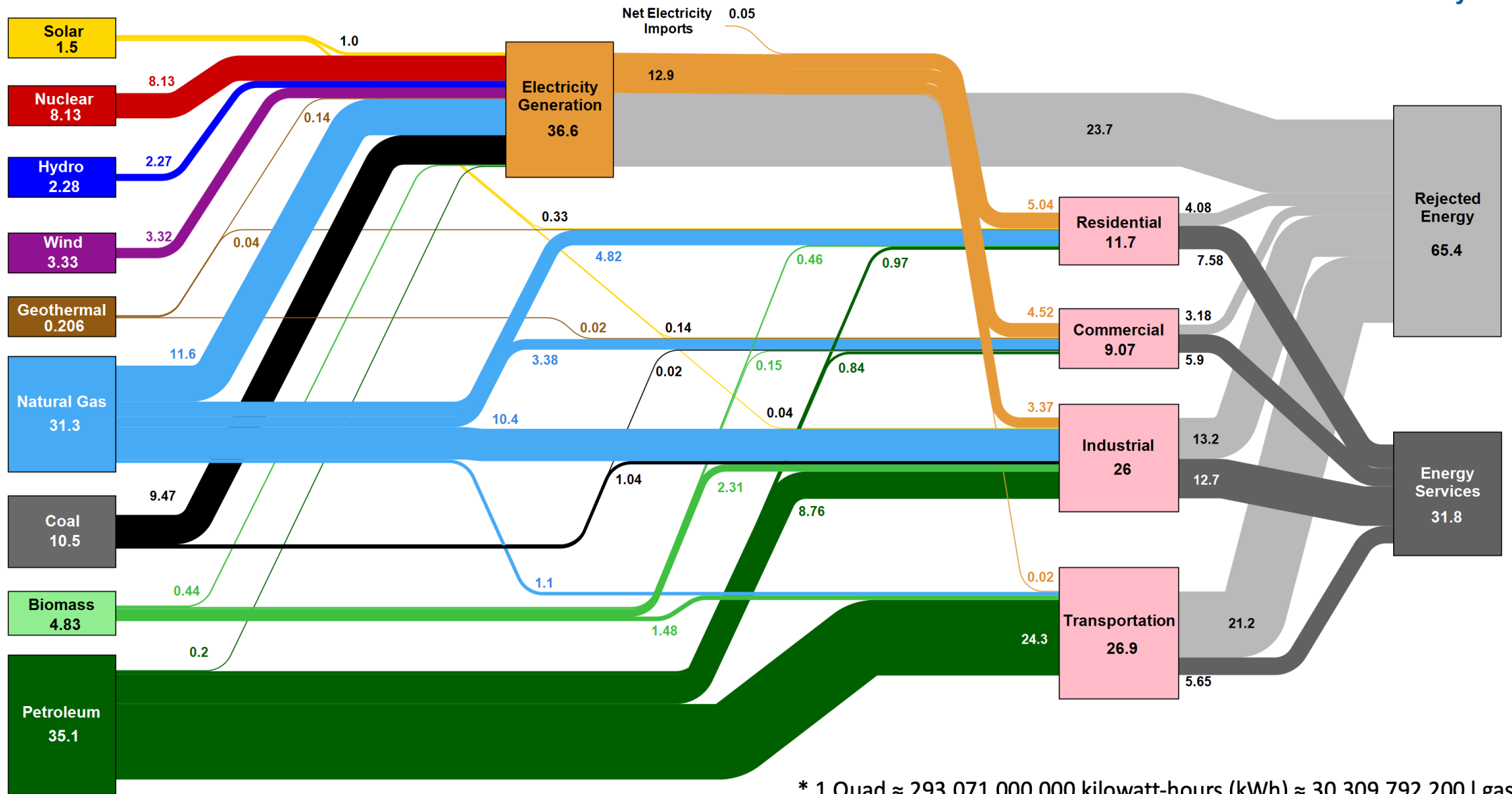


VNIVERSITAT  
ID VALÈNCIA



ICMUV  
INSTITUT DE CIÈNCIA  
DELS MATERIALS de la  
Universitat de València

# Estimated U.S. Energy Consumption in 2021: 97.3 Quads



\* 1 Quad ≈ 293.071.000.000 kilowatt-hours (kWh) ≈ 30.309.792.200 l gasolina

Source: LLNL March, 2022. Data is based on DOE/EIA MER (2021). If this information or a reproduction of it is used, credit must be given to the Lawrence Livermore National Laboratory and the Department of Energy, under whose auspices the work was performed. Distributed electricity represents only retail electricity sales and does not include self-generation. EIA reports consumption of renewable resources (i.e., hydro, wind, geothermal and solar) for electricity in BTU-equivalent values by assuming a typical fossil fuel plant heat rate. The efficiency of electricity production is calculated as the total retail electricity delivered divided by the primary energy input into electricity generation. End use efficiency is estimated as 65% for the residential sector, 65% for the commercial sector, 21% for the transportation sector and 49% for the industrial sector, which was updated in 2017 to reflect DOE's analysis of manufacturing. Totals may not equal sum of components due to independent rounding. LLNL-MI-410527

¿Cómo nos afecta?

# Efecto del calentamiento global

EL PAÍS

SUSCRÍBETE

FORMACIÓN

OFRECIDO POR  
emagister

FORMACIÓN >

## El futuro probable de una sociedad insostenible

Mejorar en la gestión de los residuos y avanzar en sostenibilidad y economía circular son condiciones imprescindibles para que la sociedad del mañana no esté hipotecada por los errores de hoy



MENÚ CERCAR

elPeriódico

INTERNACIONAL INTERNACIONAL PRÒXIM ORIENT CRISI DELS REFUGIATS UNIÓ EUROPEA

UNA CONSTANT HISTÒRICA

## Les guerres del petroli

Els EUA han intervingut militarment per accedir al cru o garantir-ne la circulació

R. M. F. / WASHINGTON

Diumenge, 04/01/2015 | Actualitzat el 08/01/2015 a les 20:37 CET

BBC

Menú

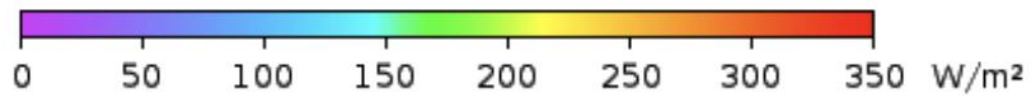
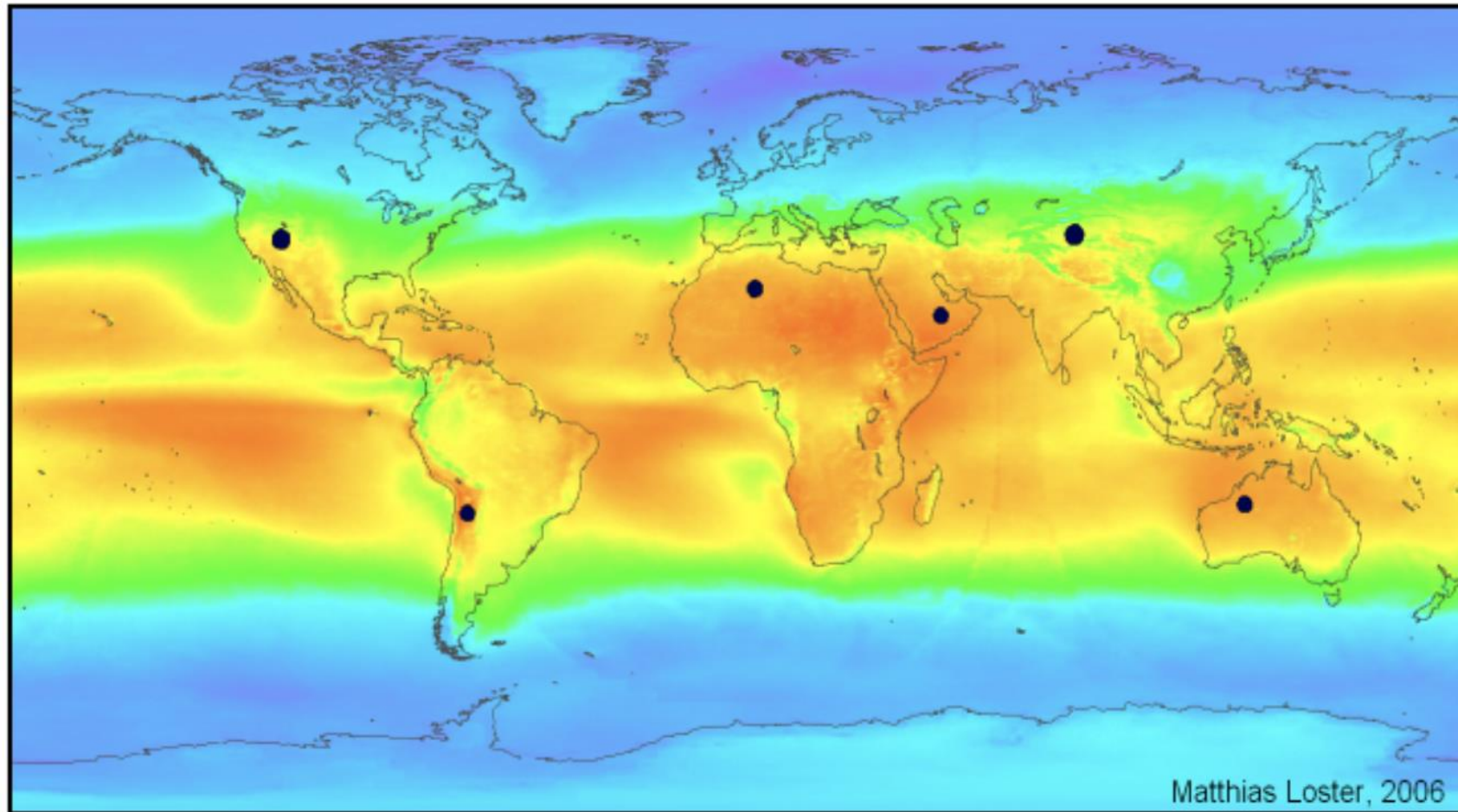
NEWS | MUNDO

Noticias | América Latina | Internacional | Economía | Tecnología | Ciencia | Salud

## La nueva guerra del gas: ¿por qué las políticas de Donald Trump son una amenaza para la economía de Bolivia?

Guillermo D. Olmo  
BBC Mundo

# Energía solar



$\Sigma \bullet = 18 \text{ TWe}$

# ¿De qué vamos a hablar?

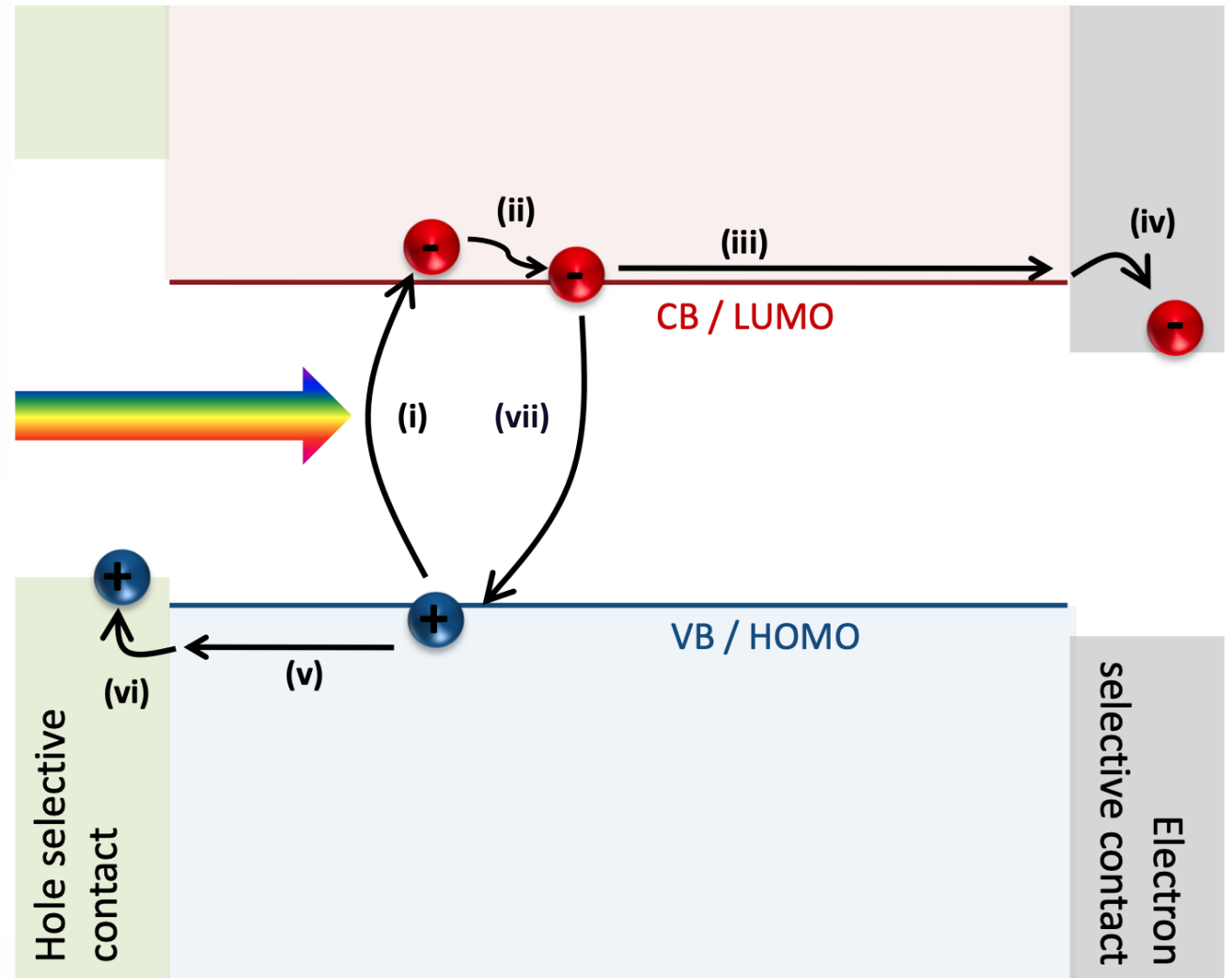
---

1. Dispositivos fotovoltaicos: principios básicos de funcionamiento
2. Tipos de células fotovoltaicas
3. Perovskitas?
4. Líneas de investigación

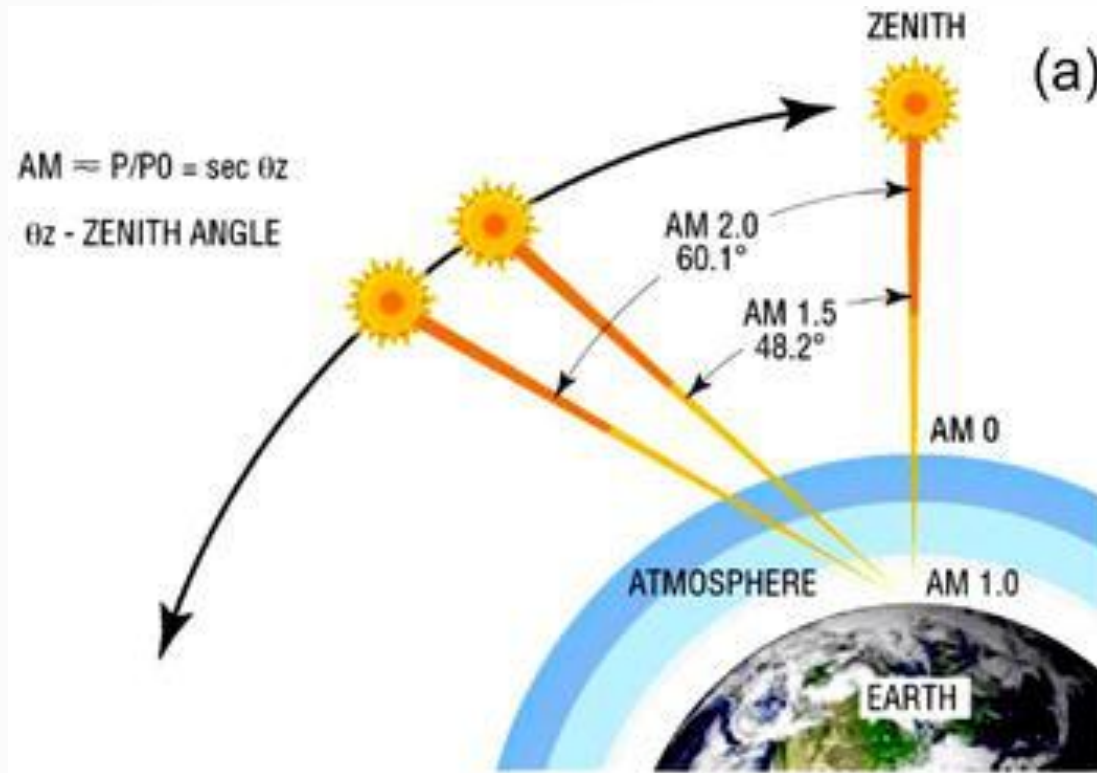


# Procesos físicos

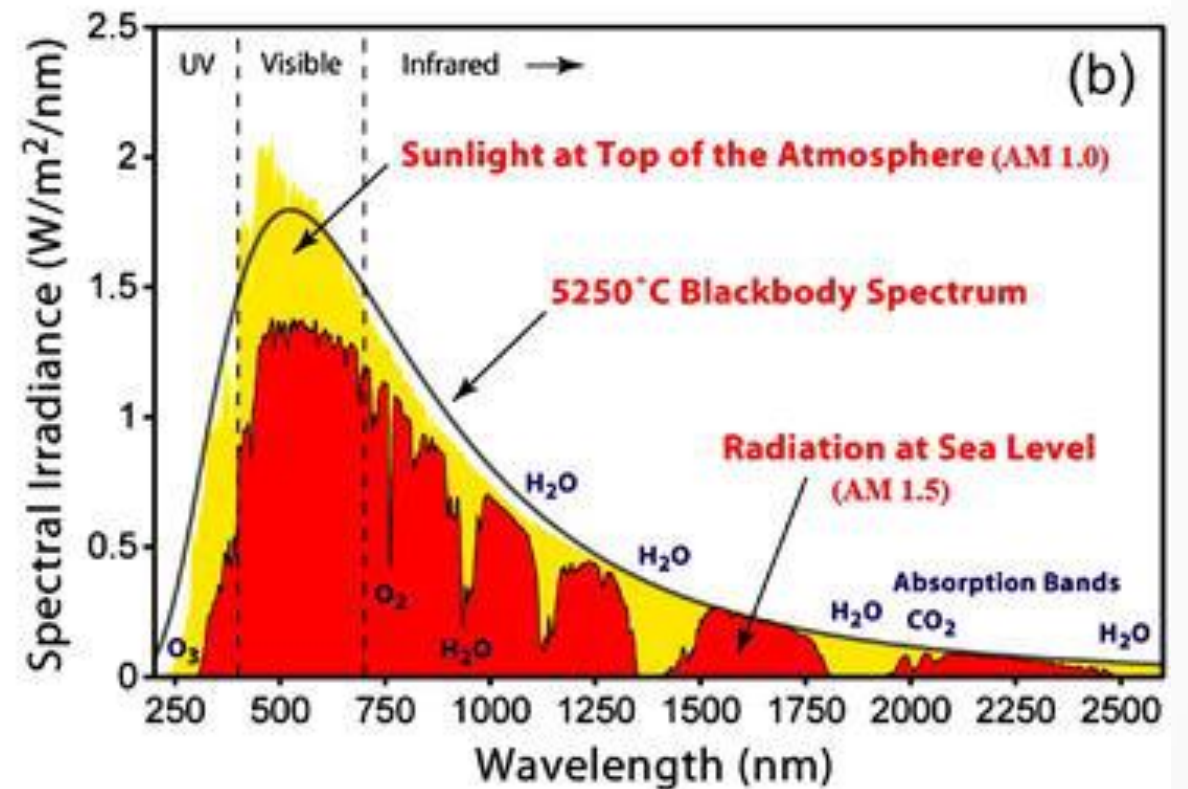
- (i) **Generació de  $e^-$  i  $h^+$**
- (ii) **Exciton dissociation or charge separation**
- (iii) **Electron transport**
- (iv) **Electron extraction**
- (v) **Hole transport**
- (vi) **Hole Extraction**
- (vii) **Recombination**



# ¿Qué energía tenemos disponible?



Espectro Solar AM1.5G



# Midiendo un dispositivo fotovoltaico



Corriente de circuito cerrado ( $J_{sc}$ )



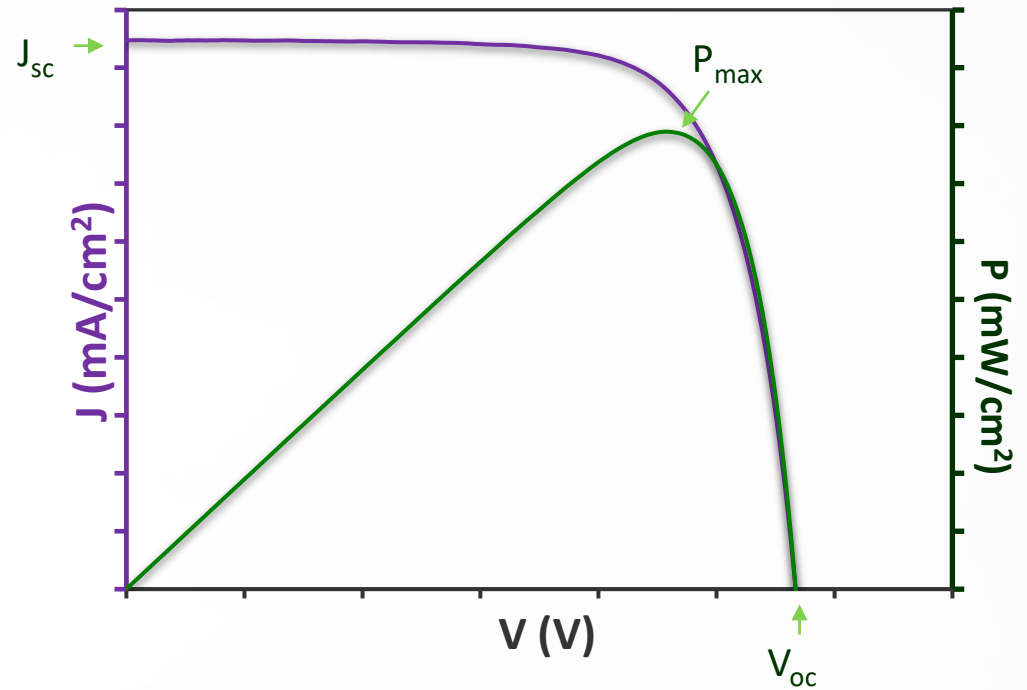
Potencial a circuito abierto ( $V_{oc}$ )



Factor de forma (FF)

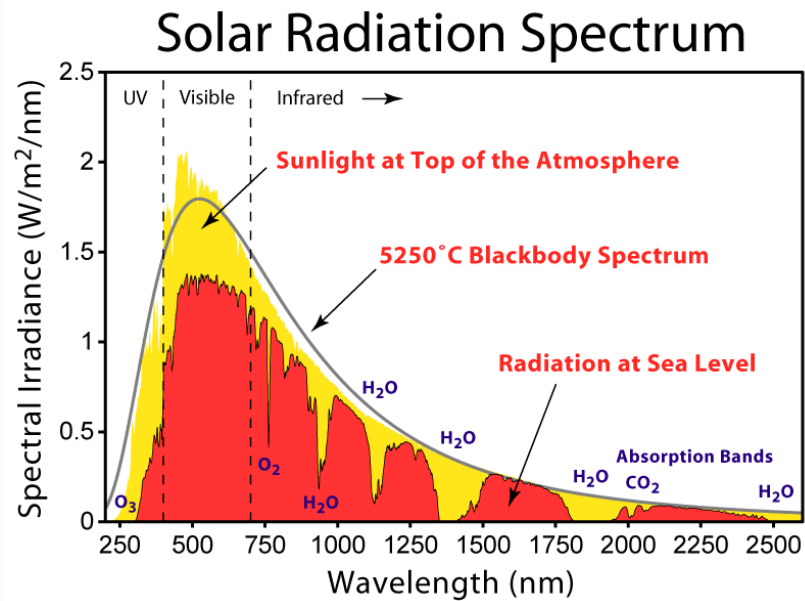


Potencia Fotovoltaica ( $J \cdot V$ )



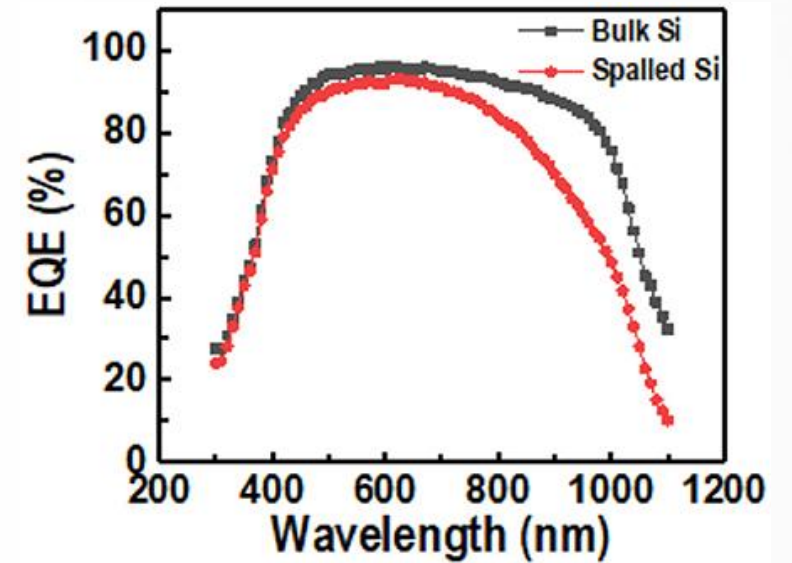


# Midiendo un dispositivo fotovoltaico



$J_{sc}$

Corriente máxima que produce la célula solar



# Midiendo un dispositivo fotovoltaico

## FF

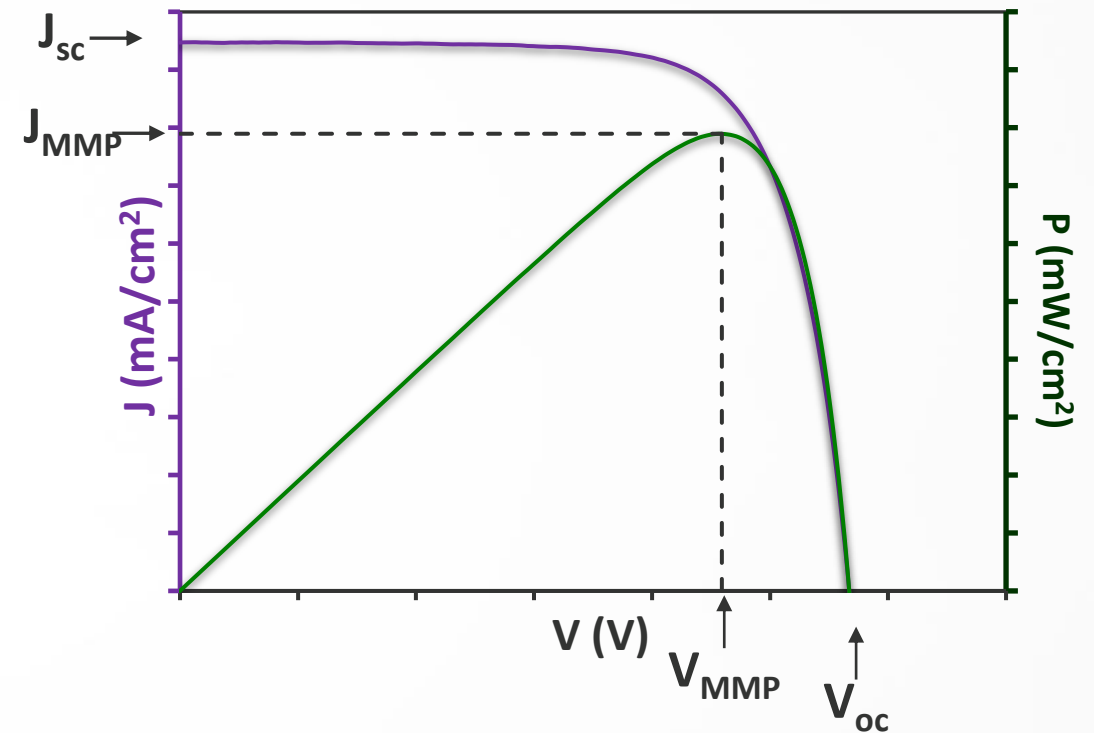
$$FF = \frac{J_{MPP} \cdot V_{MPP}}{J_{SC} \cdot V_{OC}}$$

## Potencia máxima

$$P_{MPP} = J_{SC} \cdot V_{OC} \cdot FF$$

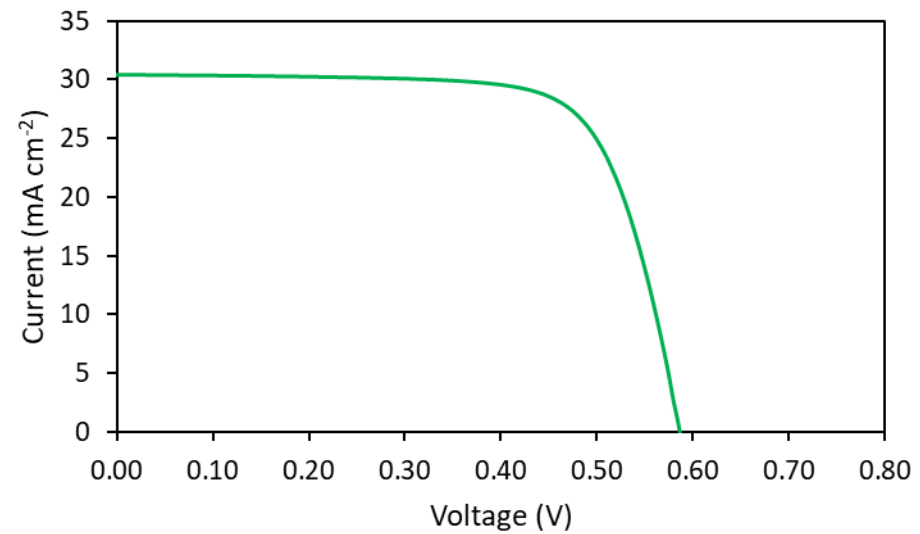
## Eficiencia

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{P_{AM1.5G}} \cdot 100\% = \frac{J_{SC} \cdot V_{OC} \cdot FF}{P_{AM1.5G}} \cdot 100\%$$



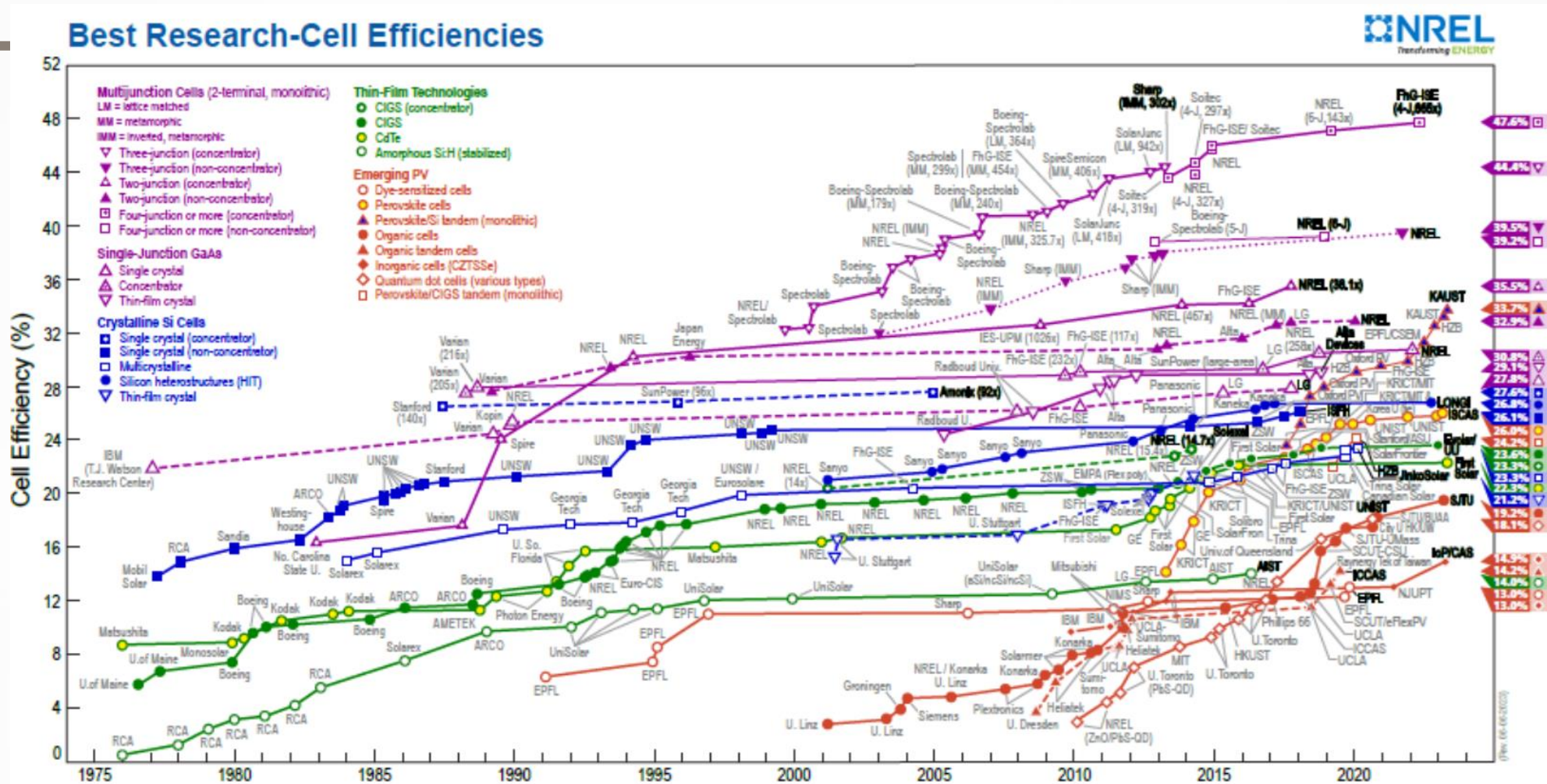
# Midiendo un dispositivo fotovoltaico

Celda solar de Si  
Bandgap 1.1 eV



Jsc (mA cm <sup>-2</sup> )	Voc (V)	FF (%)	PCE(%)
30	0.59	73	13

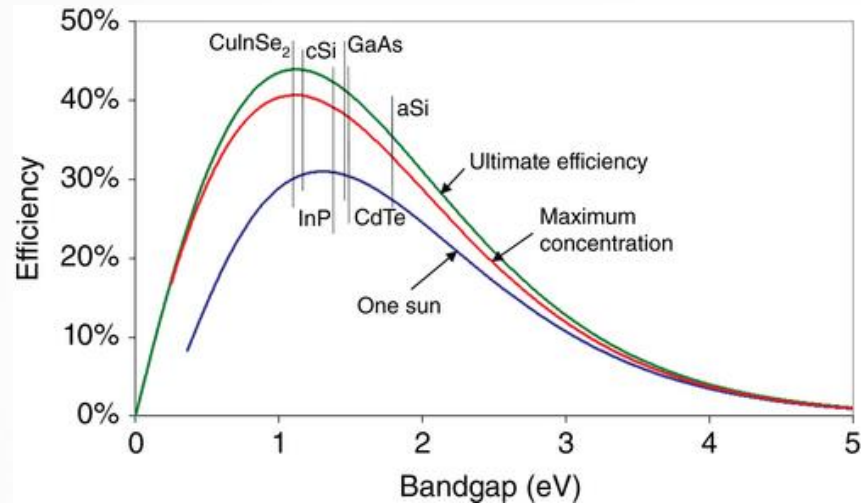
# Midiendo un dispositivo fotovoltaico



This plot is courtesy of the National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO. <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>

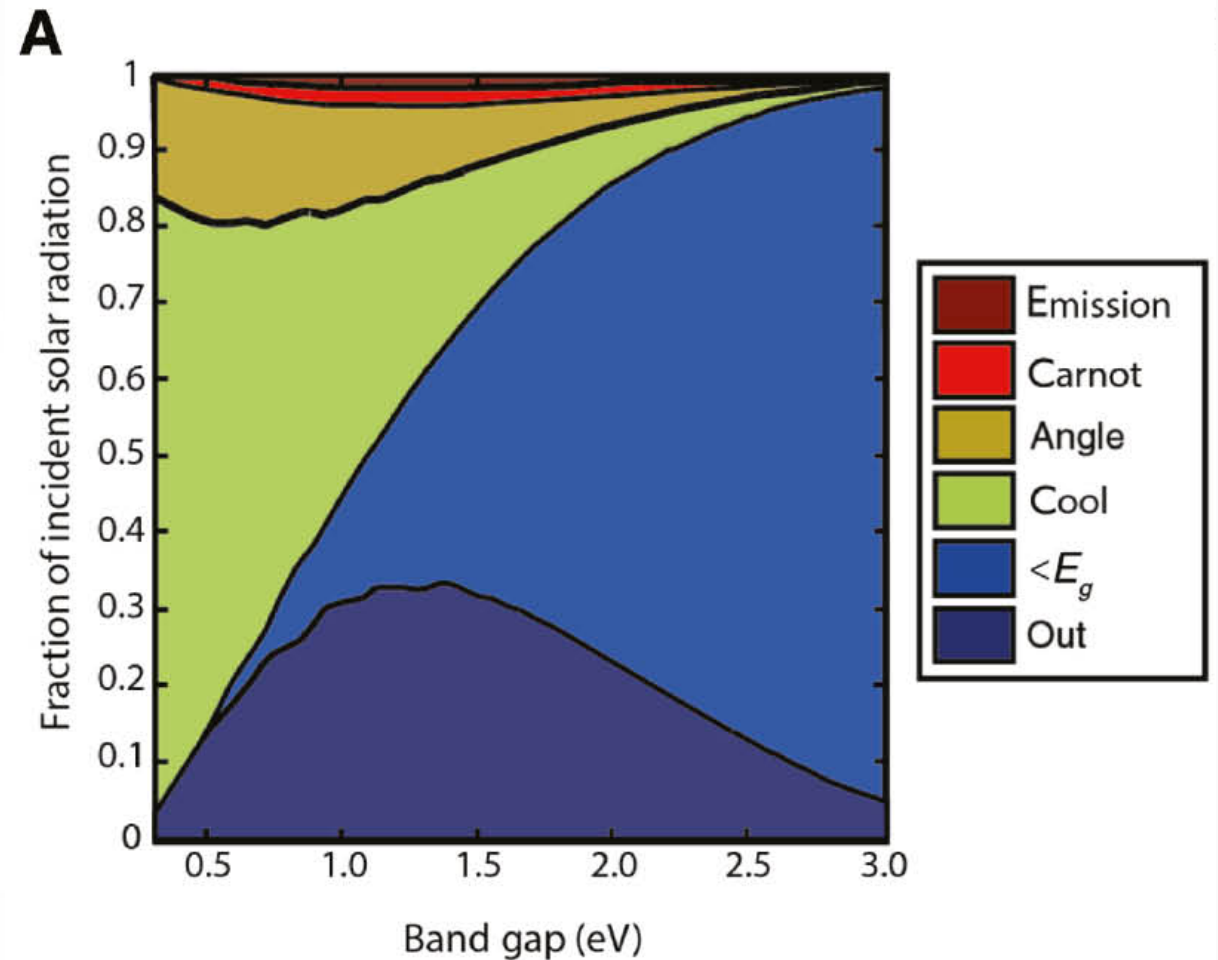
¿Por qué no 100%? ¿Dónde perdemos la energía?

# ¿Por dónde perdemos la energía?



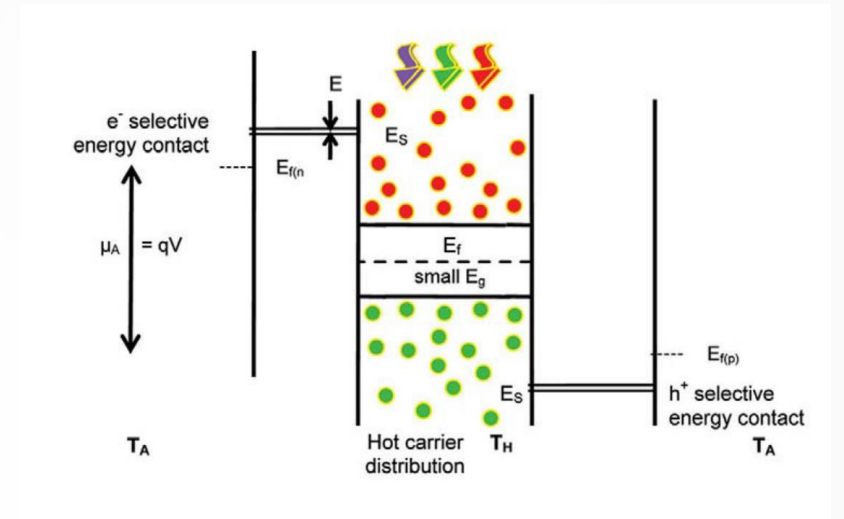
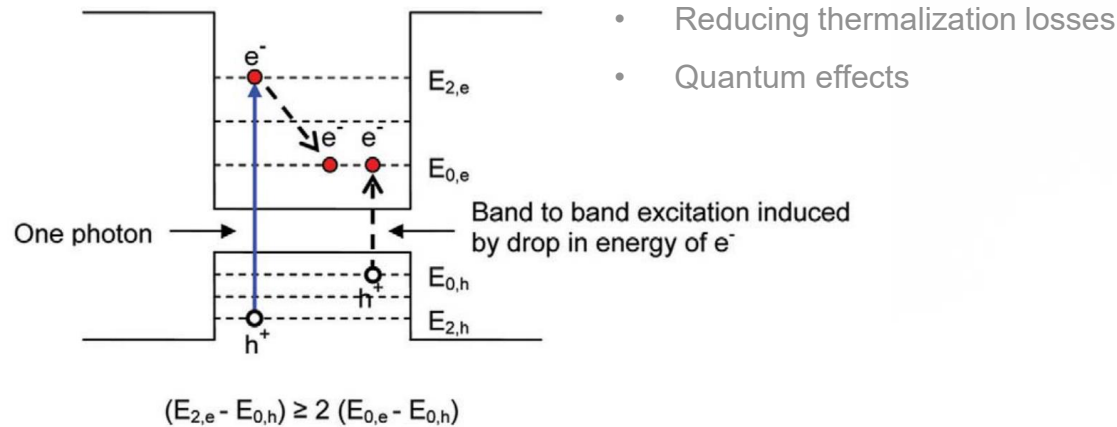
## Límite de Shockley-Queisser

Define cuál es la eficiencia máxima de un dispositivo fotovoltaico de unión simple.



¿Por qué no 100%? ¿Dónde perdemos la energía?

# Más allá del límite



- Far from real application
- Huge potential

Si ~ 21%  
SQL ~ 33%  
Hot carriers >65%

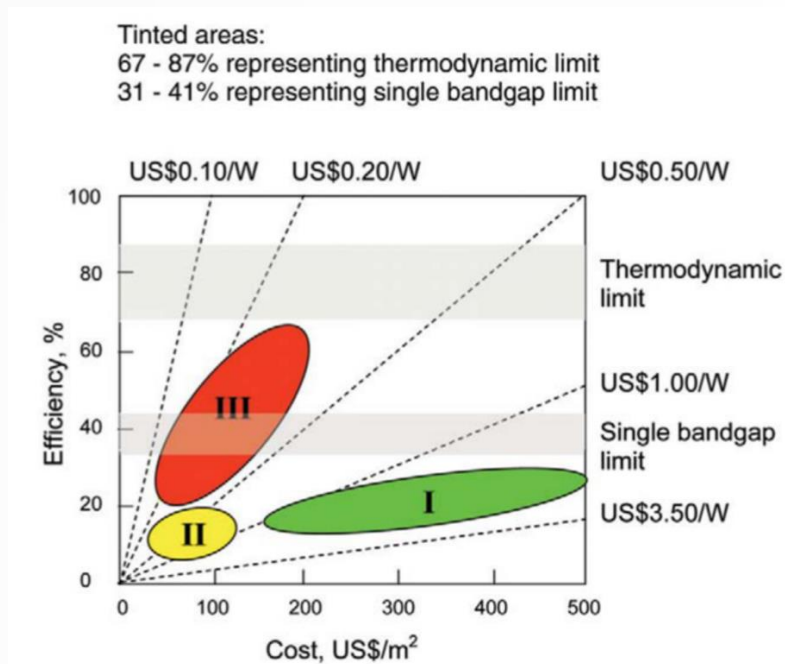
# ¿De qué vamos a hablar?

---

1. Dispositivos fotovoltaicos: principios básicos de funcionamiento
2. Tipos de células fotovoltaicas
3. Perovskitas?
4. Líneas de investigación



# Tipos de dispositivos fotovoltaicos



Conibeer, G. *Mater. Today* **10**, 42–50 (2007)

## Three generations of PV technologies

### First generation solar PV cells

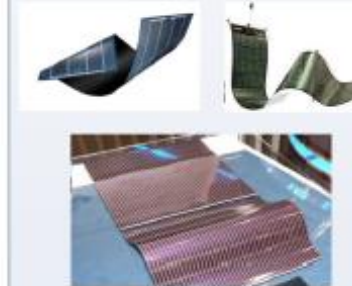
*Single-crystal or monocrystalline silicon*  
*Polycrystalline or multicrystalline silicon*



- Basadas en “wafers”
- Materiales puros (alto coste)
- Procesos caros
- Poco versátiles

### Second generation solar PV cells

*Amorphous silicon (a-Si)*  
*cadmium telluride (CdTe),*  
*copper indium gallium selenide (CIGS)*



- Basadas en “capa fina”
- Menos restricciones en la pureza de los materiales
- Procesos de bajo coste
- Comprometemos la eficiencia

### Third generation solar PV cells

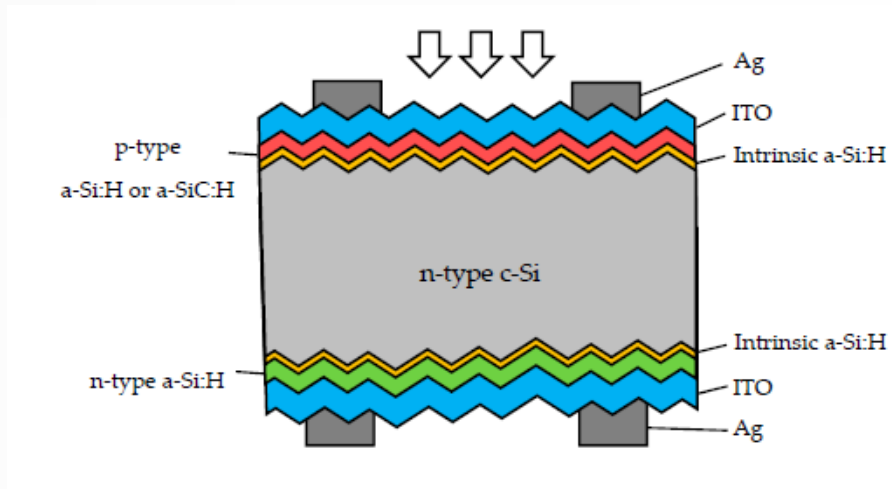
*Copper zinc tin sulphide (CZTS) PV cell*  
*Organic solar cell*  
*Perovskite Solar Cell*  
*Polymer PV cell*  
*Hybrid Solar Cell*  
*Buried Contact Solar Cell*  
*Concentrated PV Cell (CVP)*  
*Luminescent Solar Concentrator (LSC) Cell*  
*Multijunction Solar Cell (MJ)*  
*Nanocrystal Solar Cell*  
*Quantum Dot Solar Cell*  
*Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*  
*Photoelectrochemical Cell (PEC)*  
*Etc.*



- Combina bajo coste de 2ª generación con alta eficiencia
- Superando el SQL

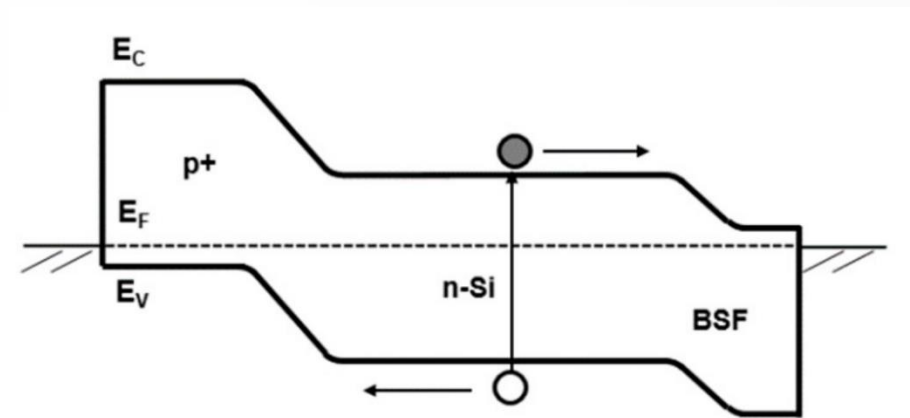


# Célula solar de Silicio



**Bandgap Indirecto**

Necesita materiales de 100-500  $\mu\text{m}$

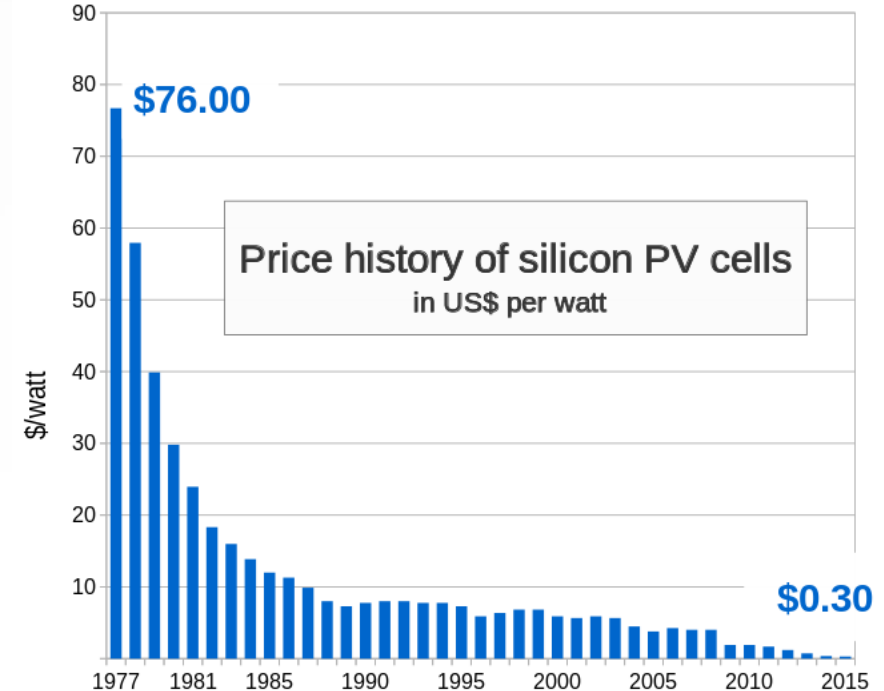


**Basada en heteroestructuras**

Depende de uniones p-n

# Célula solar de Silicio

- Dispositivos más comunes
- Tecnología madura i establecida
- Ostensible bajada de precio en los últimos años
- Eficiencia ~ 20%



Source: Bloomberg New Energy Finance & pv.energytrend.com

- Poco versátil
- No flexible/semitransparente
- Alto precio de instalación

# Célula solar de Arseniuro de Galio y III-Vs

---

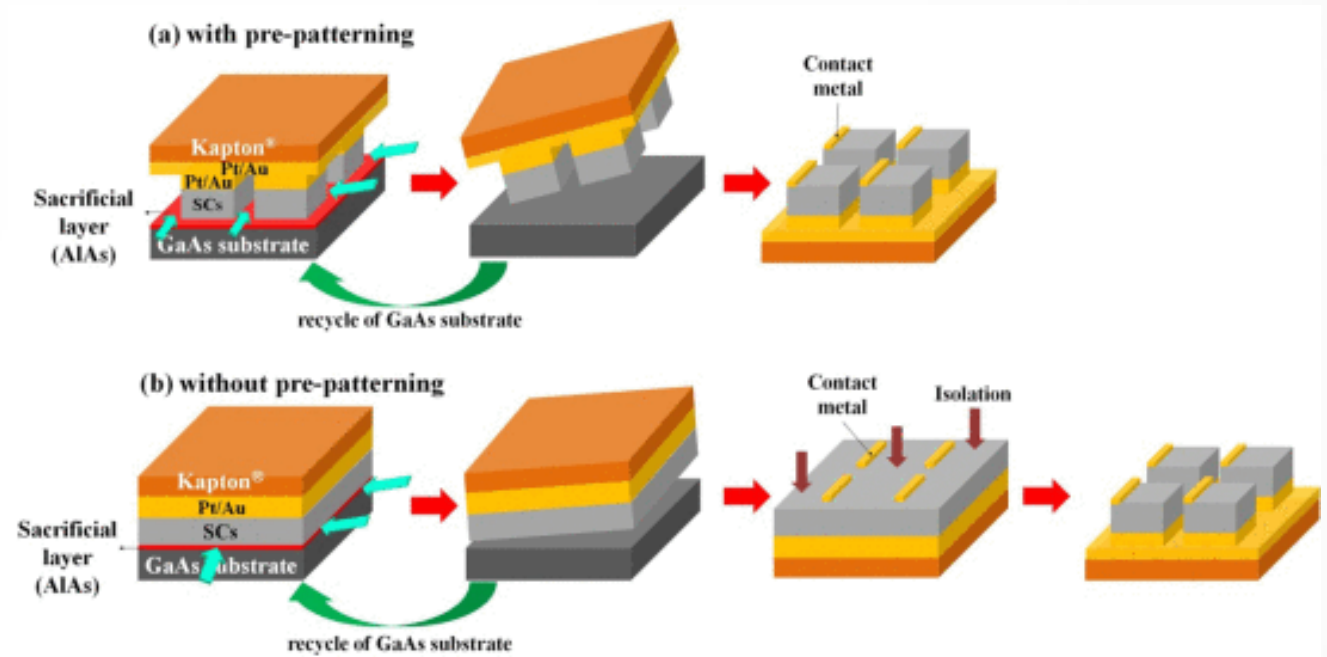
- Fabricación de coste extremadamente alto (MOCVD)
  - Sin semi-transparencia
  - Materiales poco comunes
  - Alto precio de instalación
- 
- Los dispositivos más eficientes ~30%
  - Reciclaje de fotones
  - Capa fina → posibilidad de flexibilidad



# Arseniuro de Galio y III-Vs

Potencial para reducir el precio

Crecimiento epitaxial + *lift-off*



# Capa fina inorgánica

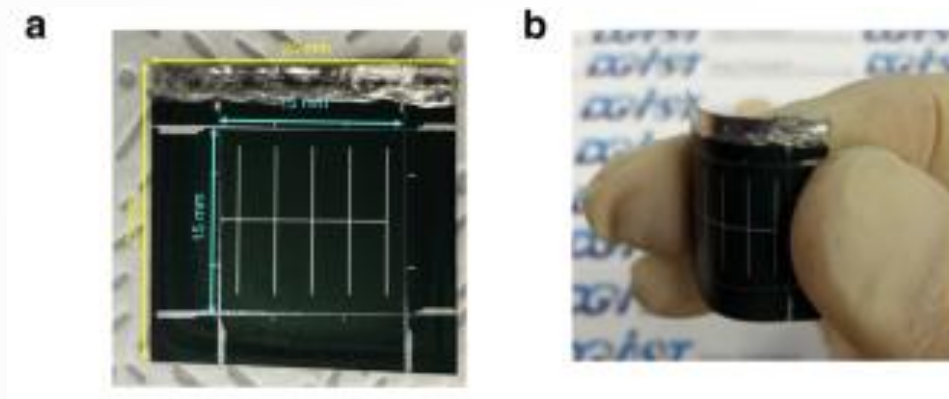
---

**C**obre **I**ndio **G**alio **S**elenuro

**C**obre **Z**inc **T**(estaño) **S**ulfuro (Kesterita)

**CdTe** (Teluro de cadmio)

- Fabricación de bajo coste
- Materiales pueden ser caros y tóxicos
- Defectos energéticos problemáticos
- Eficiencia ~13-20%
- Éxito comercial limitado



# Células de colorante

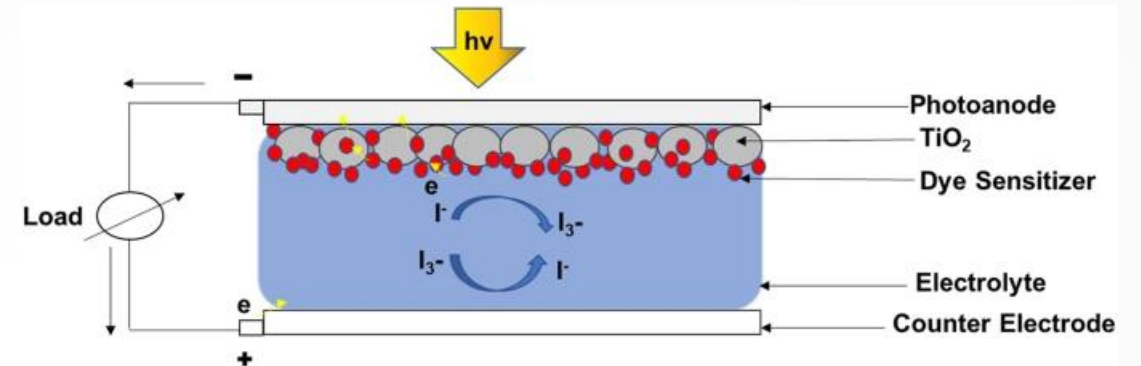
## A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films

Brian O'Regan\* & Michael Grätzel†

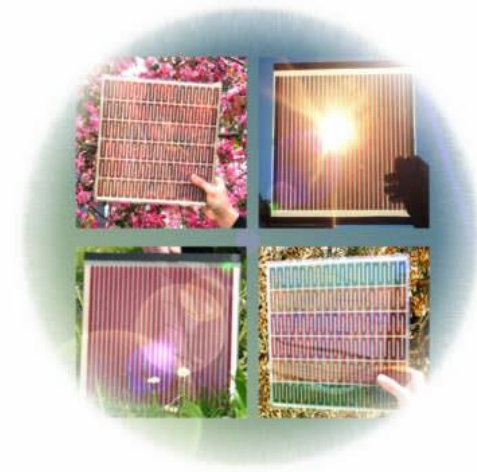
Institute of Physical Chemistry, Swiss Federal Institute of Technology,  
CH-1015 Lausanne, Switzerland

NATURE · VOL 353 · 24 OCTOBER 1991

- Células químicas
- Basadas en materiales *low-cost*
- Eficiencia máxima 13%

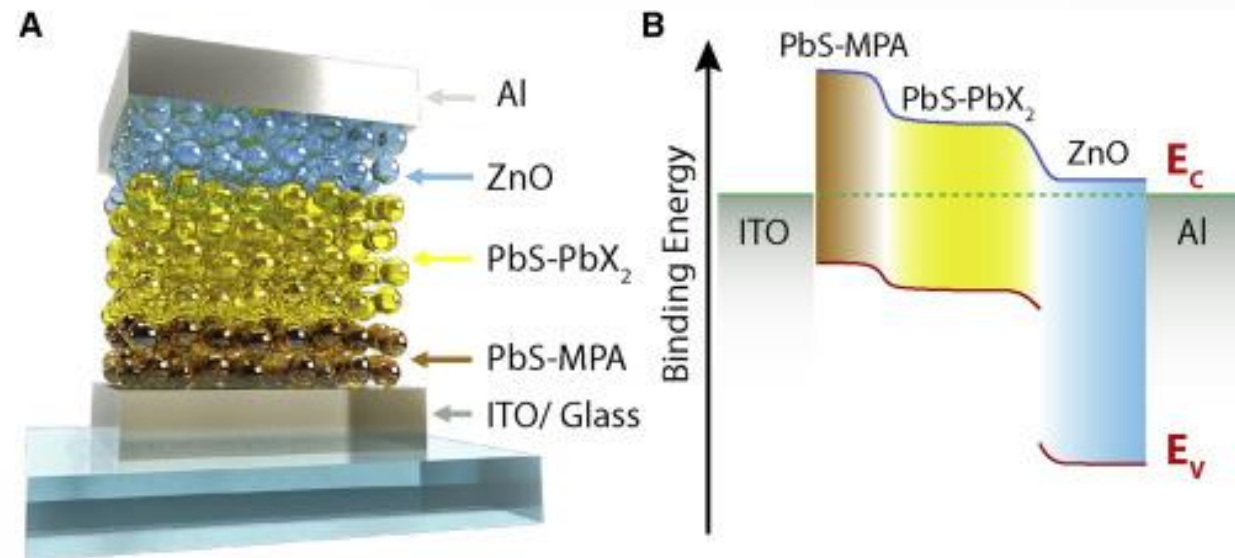


James, S., Contractor, R. *Scientific Reports* volume 8, Article number: 17032 (2018)



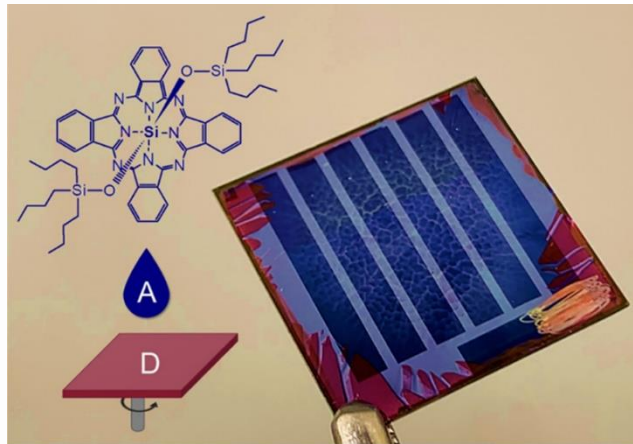
# Células de puntos cuánticos

- Dimensiones nanométricas ( $< 10$  nm)
- Confinamiento cuántico
- Control sobre la banda prohibida
- Eficiencia  $\sim 18\%$

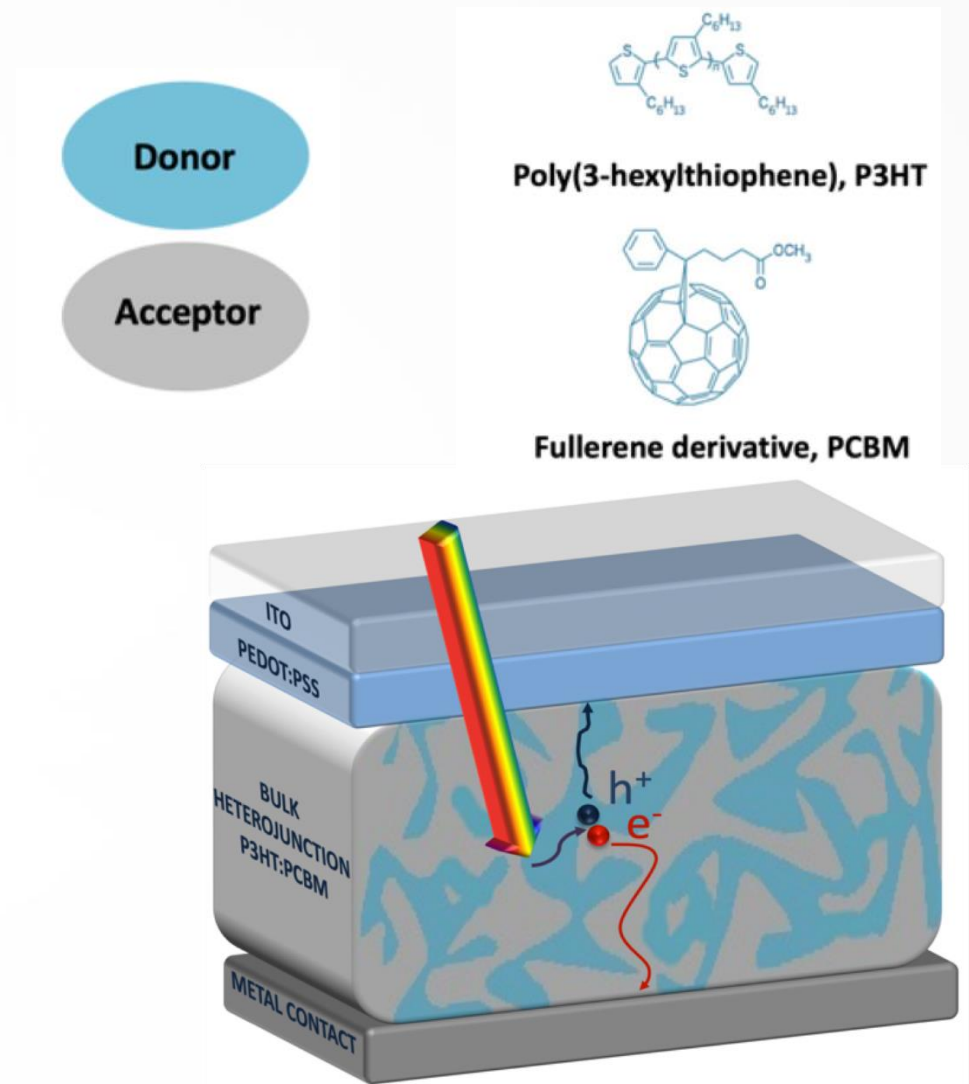


# Células orgánicas

- Flexibles
- Nuevos procesos de fabricación
- Transparencia
- Eficiencia ~19%



ACS Omega 2022, 7, 9, 7541-7549



<http://hdl.handle.net/10803/669172>



# ¿De qué vamos a hablar?

---

1. Dispositivos fotovoltaicos: principios básicos de funcionamiento
2. Tipos de células fotovoltaicas
3. Perovskitas?
4. Líneas de investigación



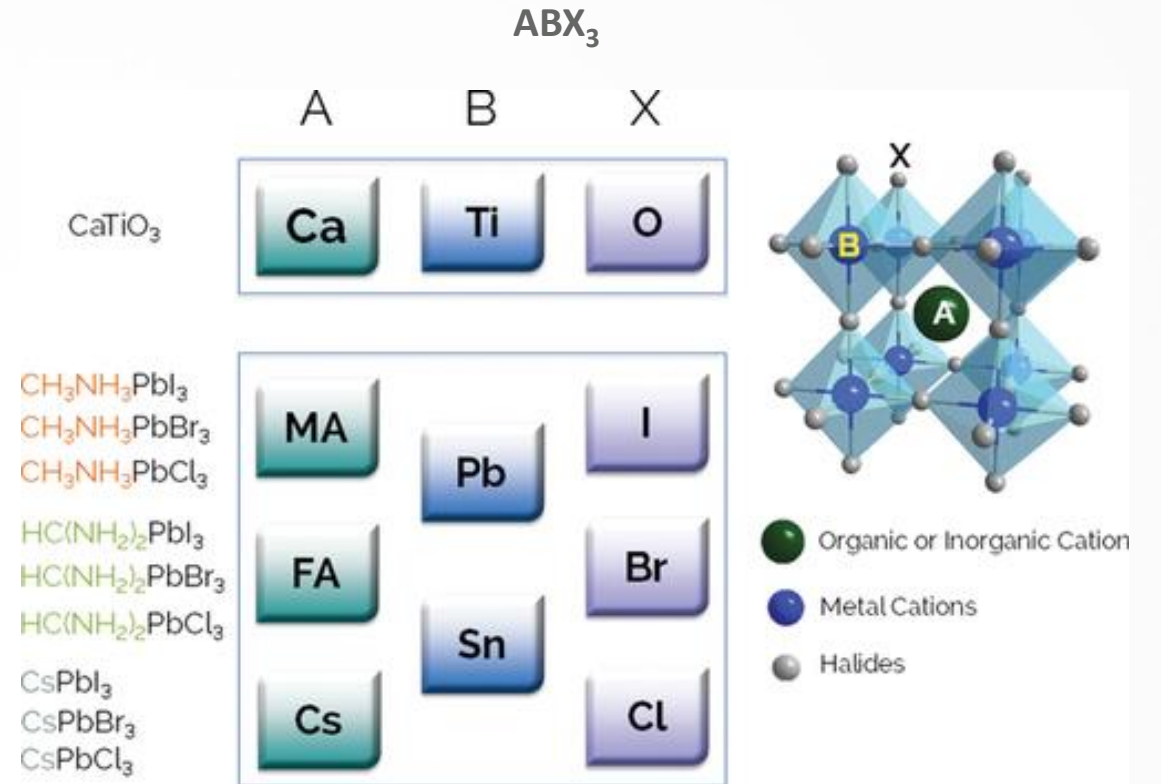
# Perovskita



**CaTiO<sub>3</sub>**

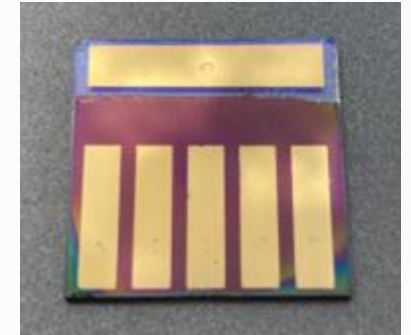
Lev Perovski

s. XVIII-XIX (creador de la Sociedad Geográfica rusa)



# 1893: Primer artículo sobre perovskita de Pb

---



- 1893: Über die Cäsium- und Kalium-Bleihalogenide, H. L. Wells. 1893
- 1959: Estructura: The structure of cesium plumbo iodide  $\text{CsPbI}_3$ . Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, Matematisk-Fysike Meddelelser (1959) 32, Moller, C.K.
- 1978:  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ , ein Pb(II)-System mit kubischer Perowskitstruktur /  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ , a Pb(II)-System with Cubic Perovskite Structure. Dieter Weber Z. Naturforsch. 33 b, 1443-1445 (1978)  
 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnBr}_x\text{I}_{3-x}$  ( $x = 0-3$ ), ein Sn(II)-System mit kubischer Perowskitstruktur /  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnBr}_x\text{I}_{3-x}$  ( $x = 0-3$ ) a Sn(II)-System with Cubic Perovskite Structure
- 2009: Primera célula solar con perovskita ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  y  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ ). J. Am. Chem. Soc. 2009, 131, 17, 6050–6051

# Propiedades



Material cuasi-ideal

✓ **Gran longitud de difusión**

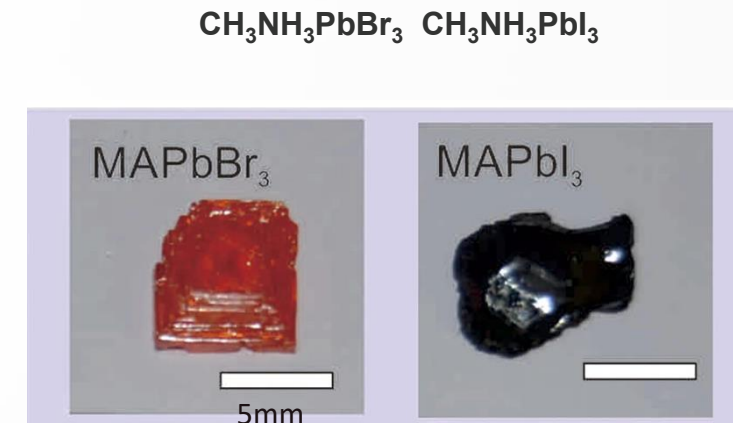
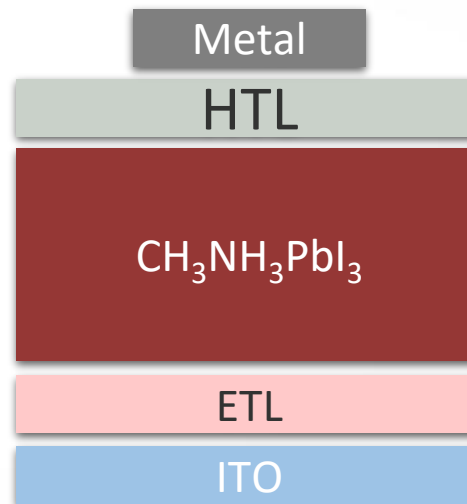
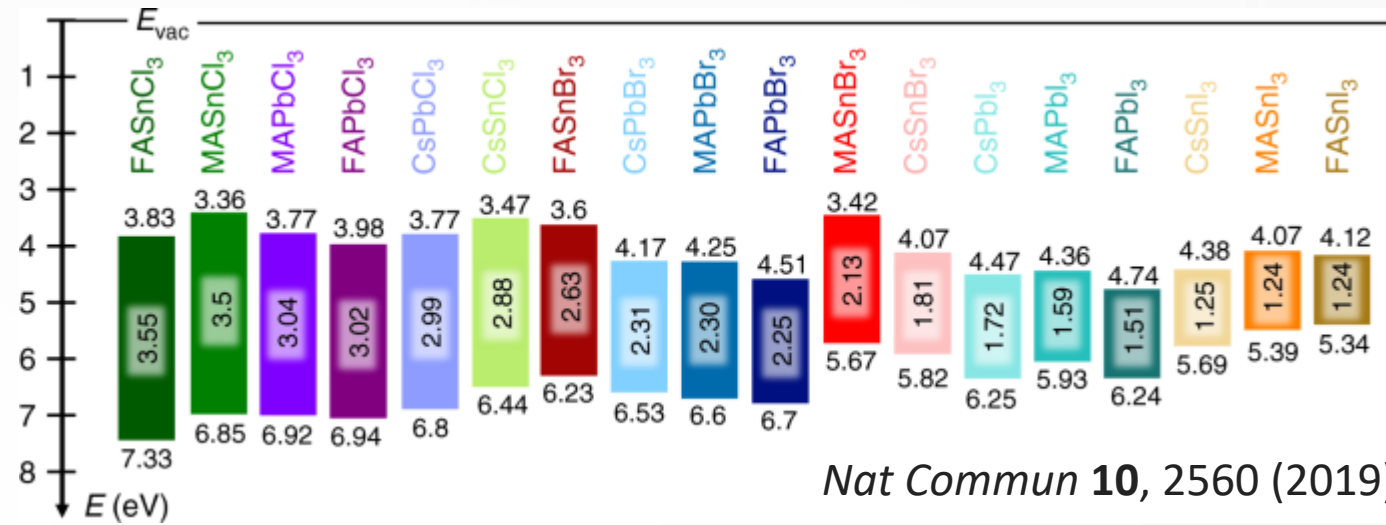
Tolerante a los defectos! → pocas pérdidas >175µm

✓ **Baja energía excitónica**

Se pueden generar e<sup>-</sup> y h<sup>+</sup>, no excitones

✓ **Muy cristalinos**

Puede formar cristales incluso desde disolución



*Sci Rep 6, 37254 (2016)*

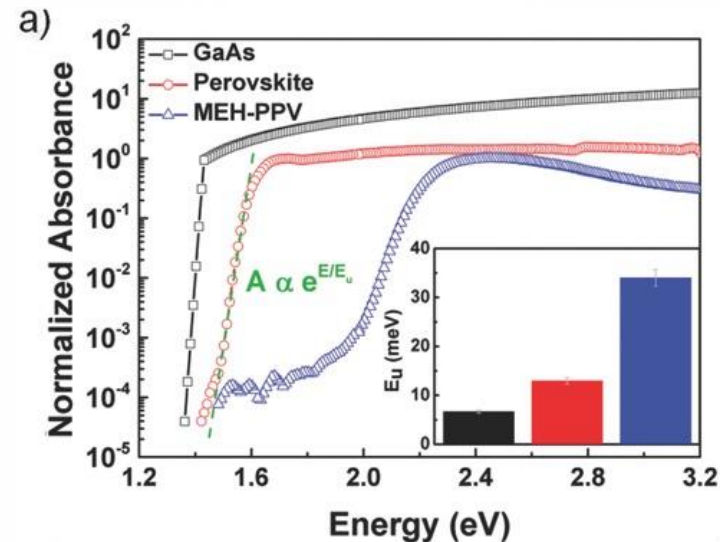
# Propiedades

## $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$

- tunable **bandgap** (1.1 eV - 2.3 eV)
- direct bandgap
- **Urbach energy** <15 meV
- **low-cost** fabrication methods

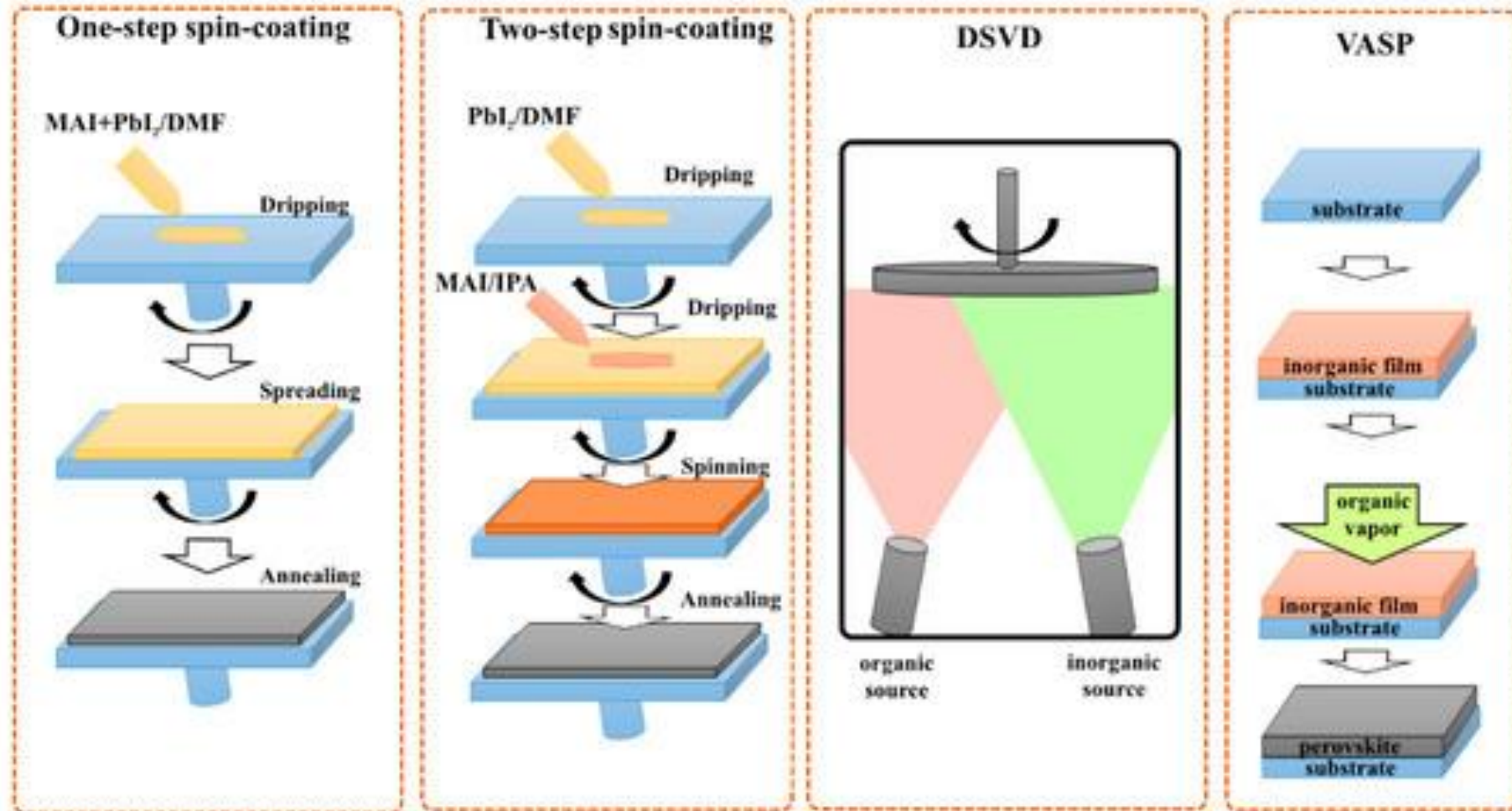
## GaAs

- 1.4 eV **bandgap**
- direct bandgap
- **Urbach energy** ~10 meV
- **fabrication:** physical methods

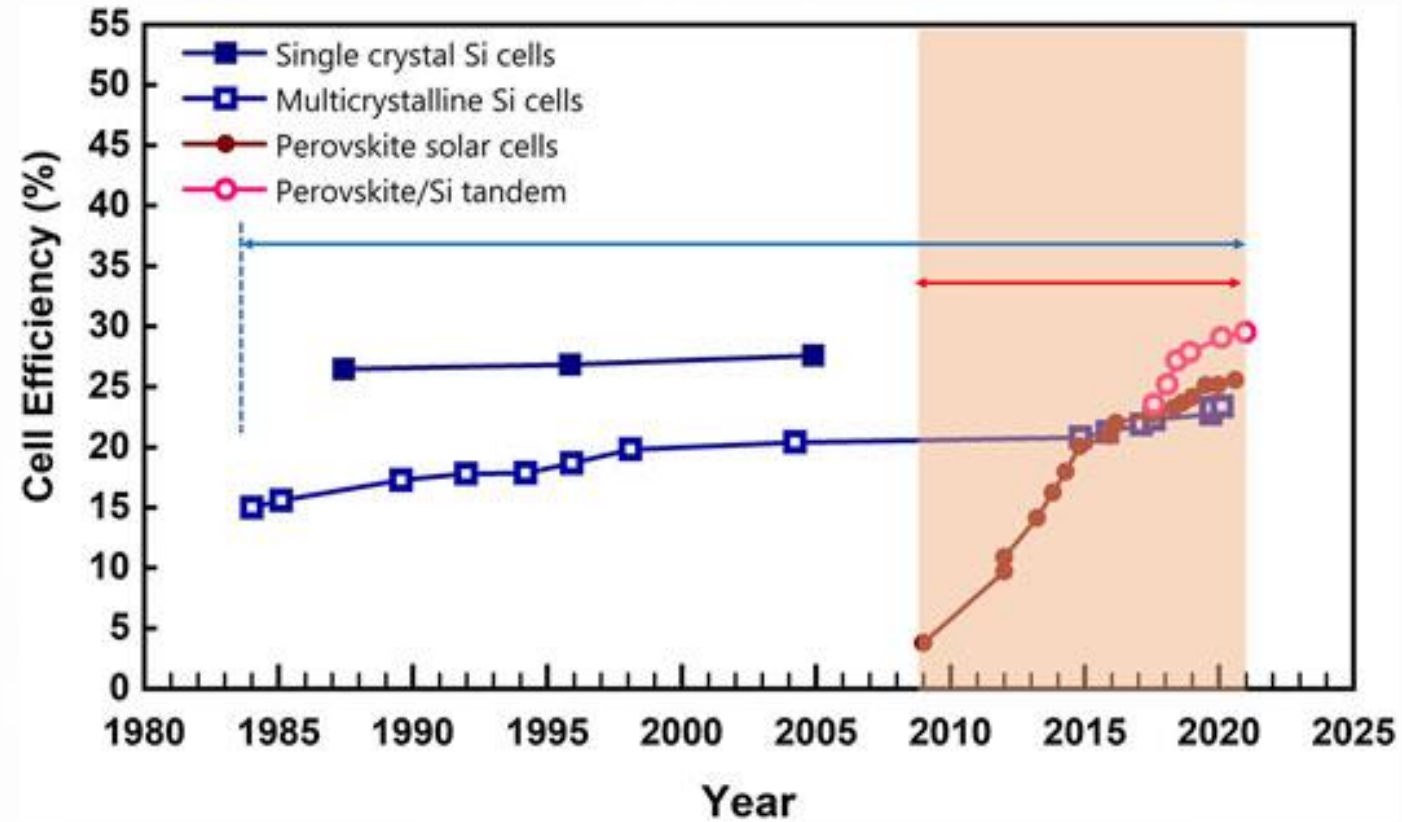


The **high crystallinity**, **low defect concentration** and **direct bandgap** with **small Urbach energies** result in **high diffusion lengths** and **sharp light absorption edges** which put the **metal halide perovskites** at the same level than **GaAs**

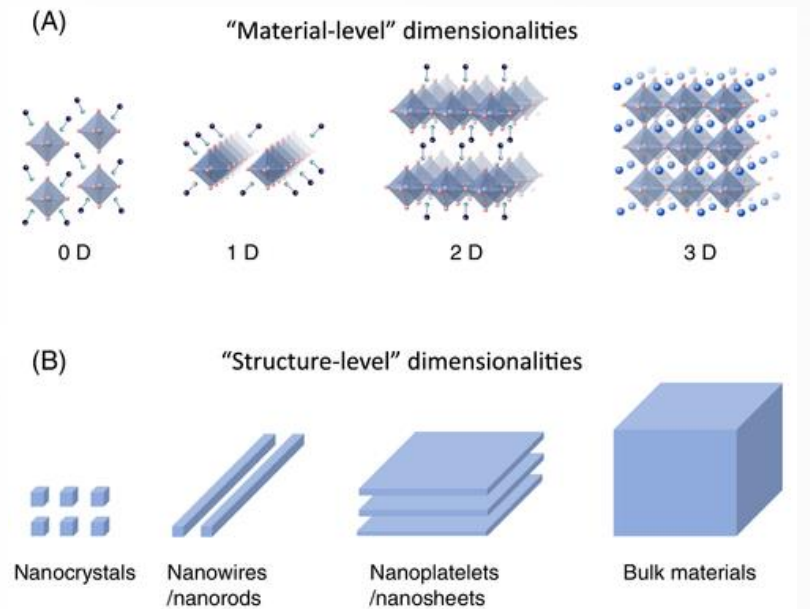
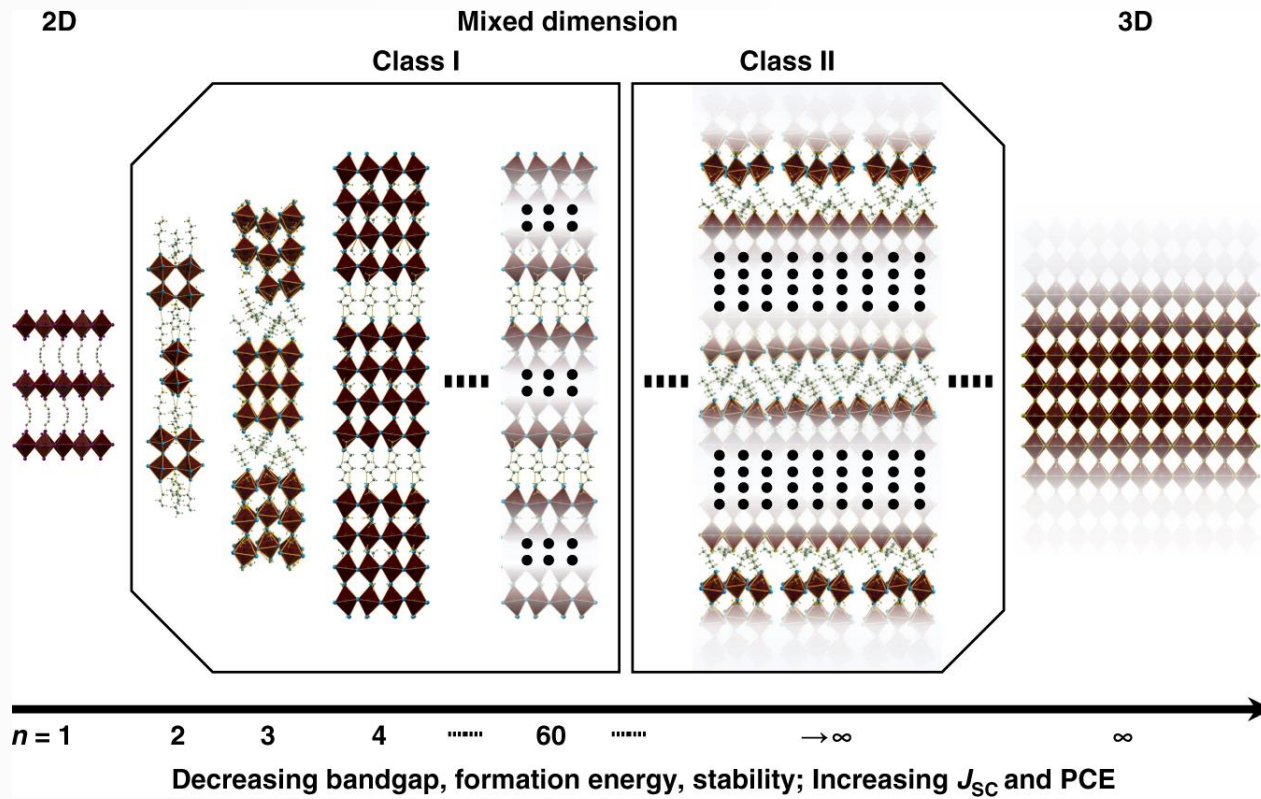
# Métodos de fabricación



# Evolución



# Dimensionalidad



InfoMat. 2020; 2: 341– 378. <https://doi.org/10.1002/inf2.12086>



# ¿De qué vamos a hablar?

---

1. Dispositivos fotovoltaicos: principios básicos de funcionamiento
2. Tipos de células fotovoltaicas
3. Perovskitas?
4. Líneas de investigación



# 01 Understanding and improving PSCs

---

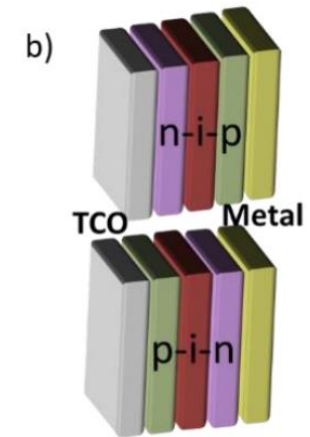
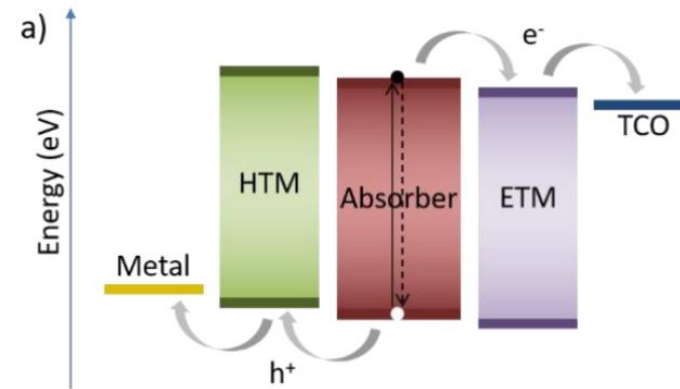
## Interfacial engineering

Interfaces control the losses

## Stabilization

## Understanding the system

Impedance spectroscopy

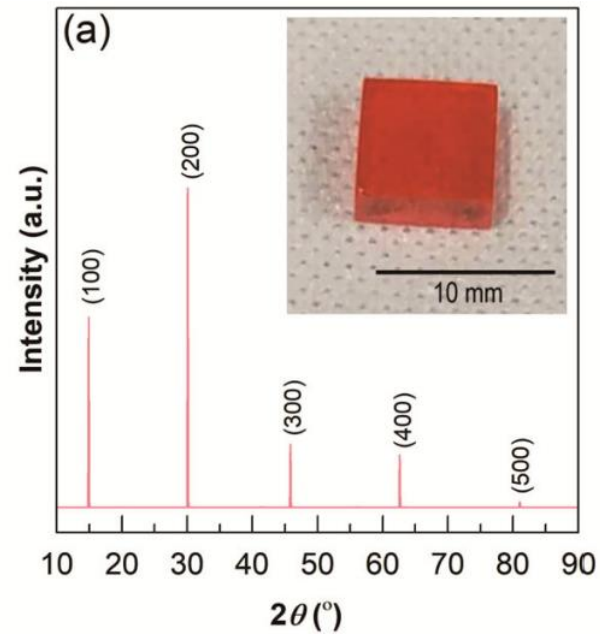


# 02 Monocrystals

---

Control of crystallization

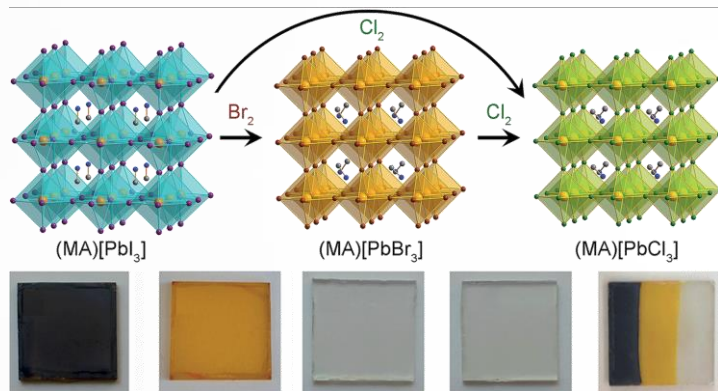
Surface Passivation



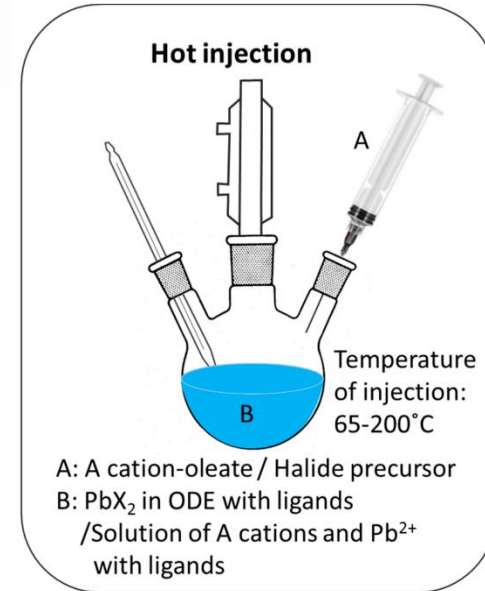
- Reproducibility
- Stability
- Defect density

# 03 Post-synthetic treatment for nanocrystals

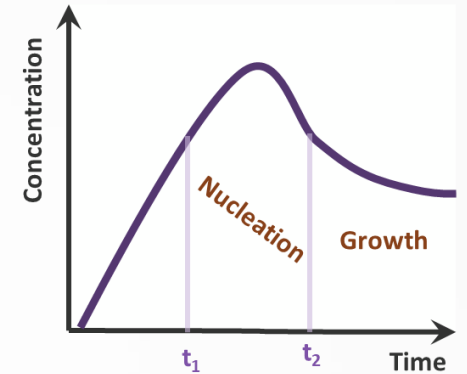
## Post-synthetic halide substitution



Solis-Ibarra, D., Smith, I. C. & Karunadasa, H. I. *Chemical Science* **6**, 4054–4059 (2015).



*Crystals* 2018, 8(5), 182; <https://doi.org/10.3390/cryst8050182>



# 04 Functional composites

---

## ✓ Easy annealing-free synthesis of perovskite nanocrystals

Fast and reproducible fabrication method

## ✓ Compact and stable thin-films

Optimal rheological properties and long term stability (>9 months)

## ✓ Controllable properties

Control the particle size by humidity exposure of precursor and concentration engineering

## ✓ High optoelectrical performance

Photoluminescence quantum efficiency >80%

# 05 Beyond PV

X-Ray and high energy detection



Light emission

Neuromorphic circuits



[Antipoff](#), [CC BY-SA 3.0](#), via Wikimedia Commons