

XXVI SPES – Ayacucho 2019



**APES**  
ASOCIACIÓN PERUANA DE  
ENERGÍA SOLAR Y DEL AMBIENTE

# Proyectos FONDECYT: Investigación de Tecnologías Fotovoltaicas Comerciales y Emergentes

Dr. Jan Amaru Palomino Töfflinger

Profesor Asociado

Grupo de Ciencia de Materiales y Energías Renovables (MatER)  
Pontificia Universidad Católica del Perú



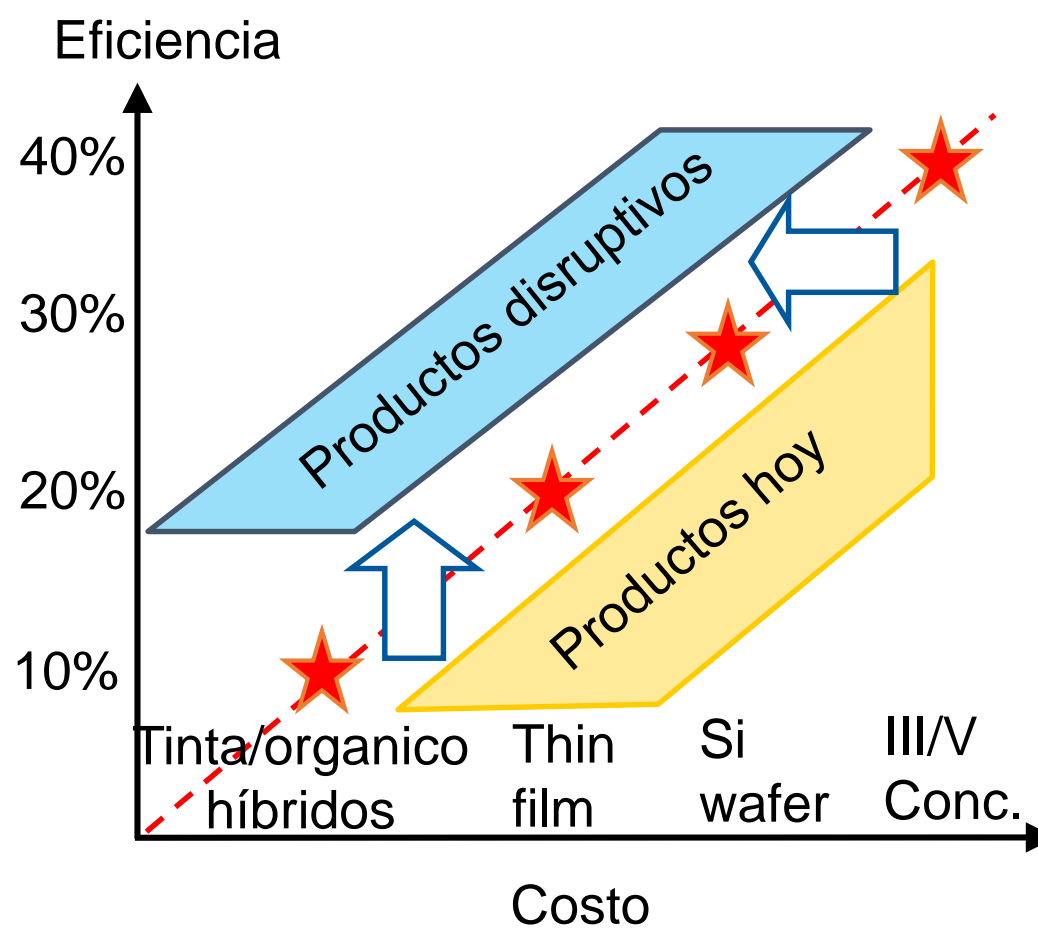


- Metas de la investigación fotovoltaica (FV)
- Principales tecnologías FV para los siguientes 10 años:
  - Passivated Emitter and Rear Cell (PERC)
  - Hetero-Junction Technology (HJT)
  - Módulos bifaciales
  - Futuros conceptos de celdas tandem
- Proyectos de investigación FV con universidades peruanas

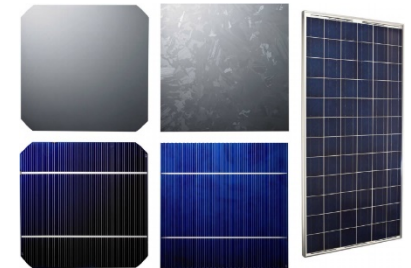
# Metas de la investigación fotovoltaica



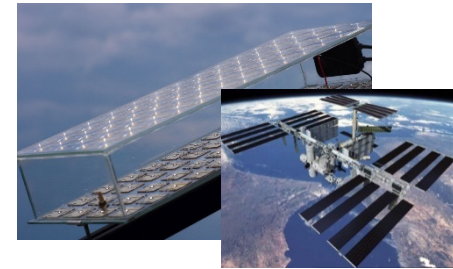
Tintas/organicos/  
híbridos



Si  
wafer



III/V  
Conc.

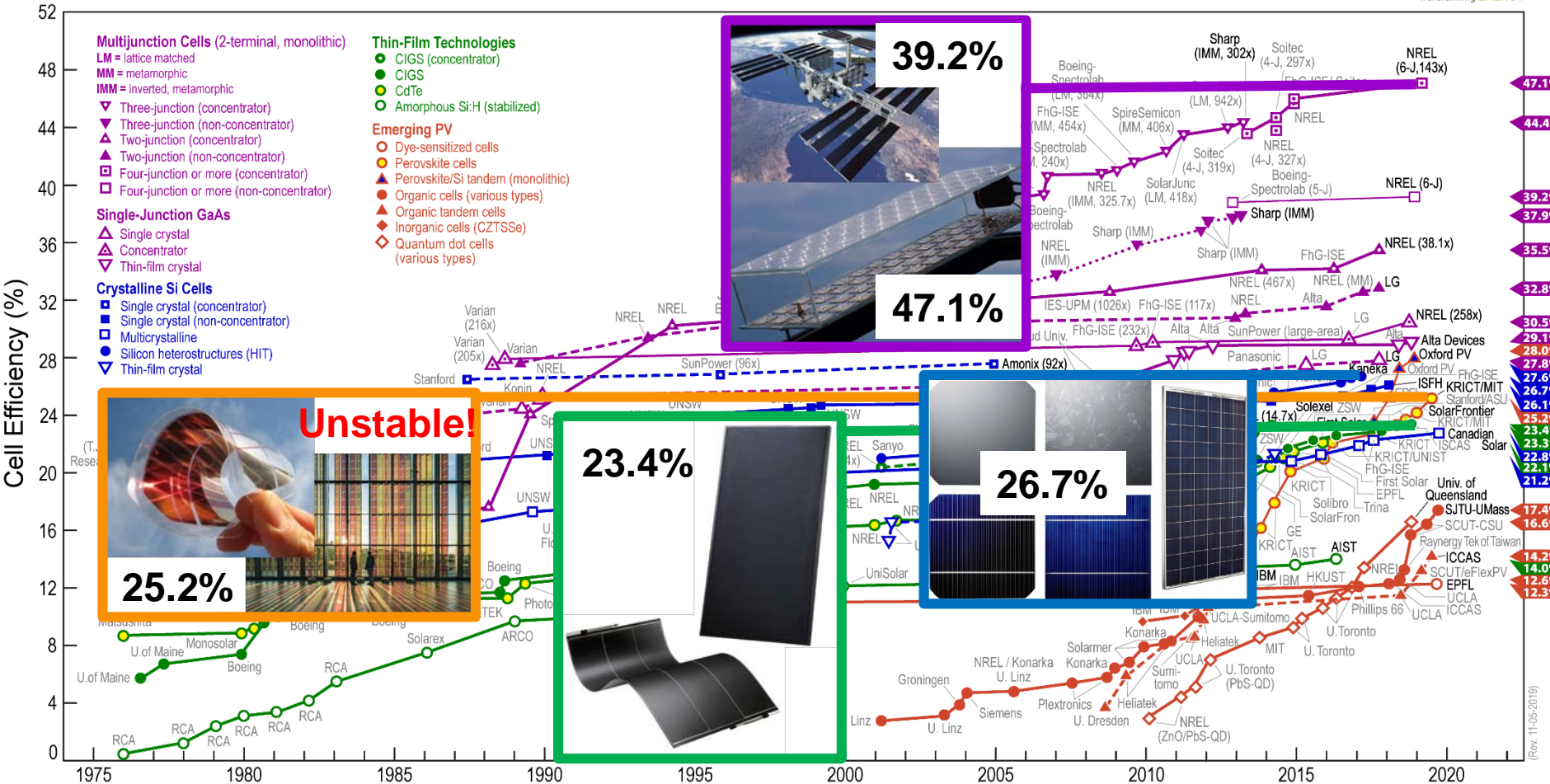


Materiales /  
Tecnologías

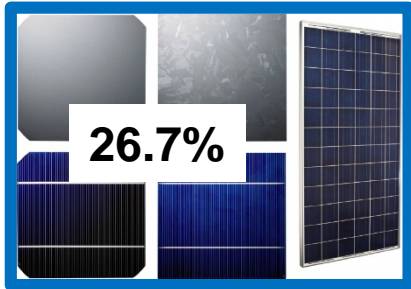
# Metas de la investigación fotovoltaica



## Best Research-Cell Efficiencies



# Metas de la investigación fotovoltaica

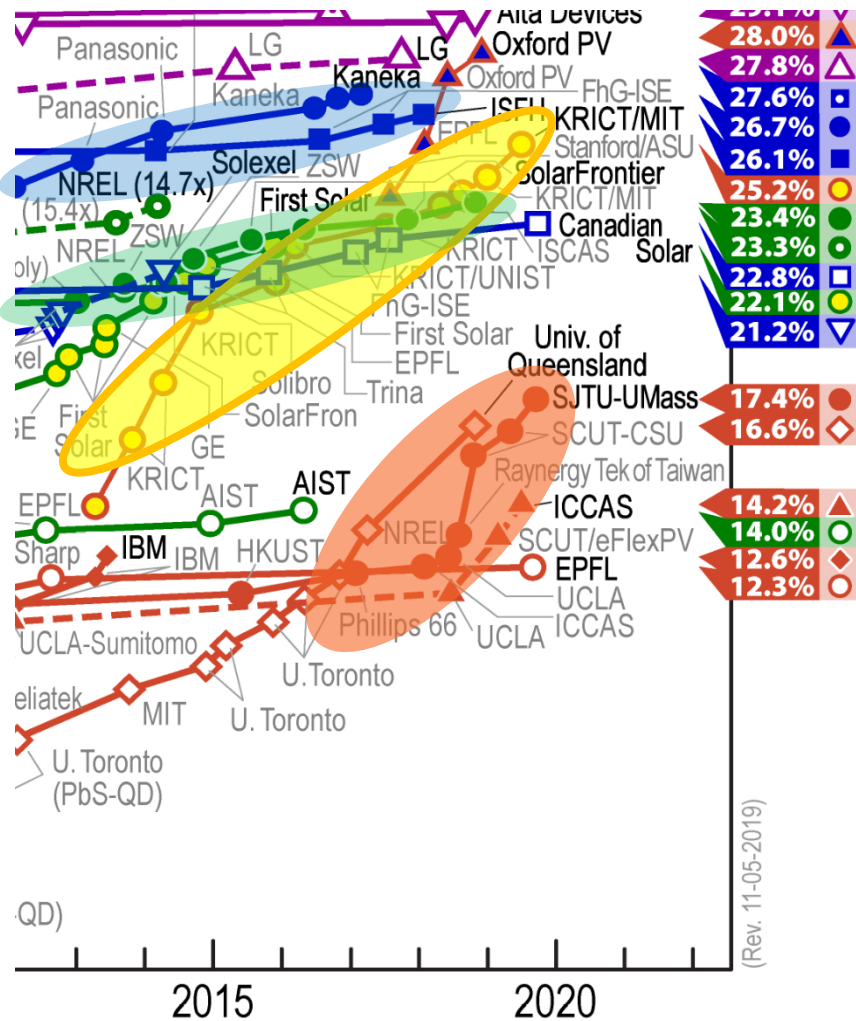
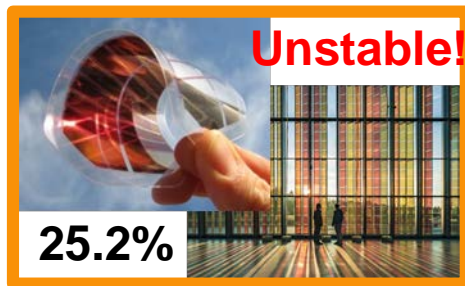
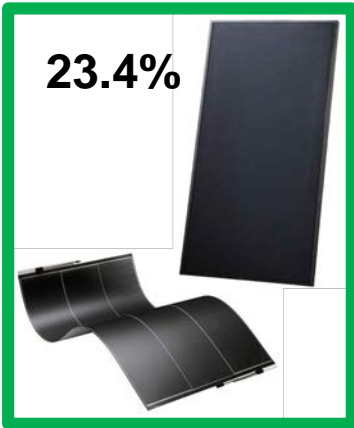


Si  
wafer

Lamina  
delgada

Perovskite

Tinta/orgánico  
híbridos

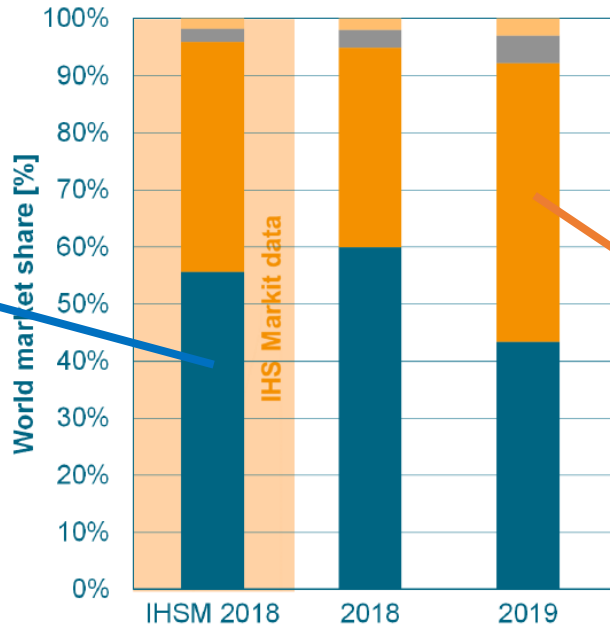


# Principales tecnologías FV para los siguientes 10 años

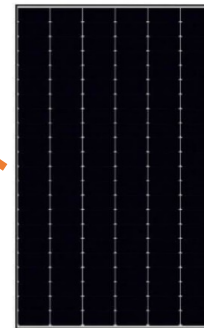


## Different cell technology

Back-Surface Field (BSF)



Passivated Emitter and Rear Cell (PERC)

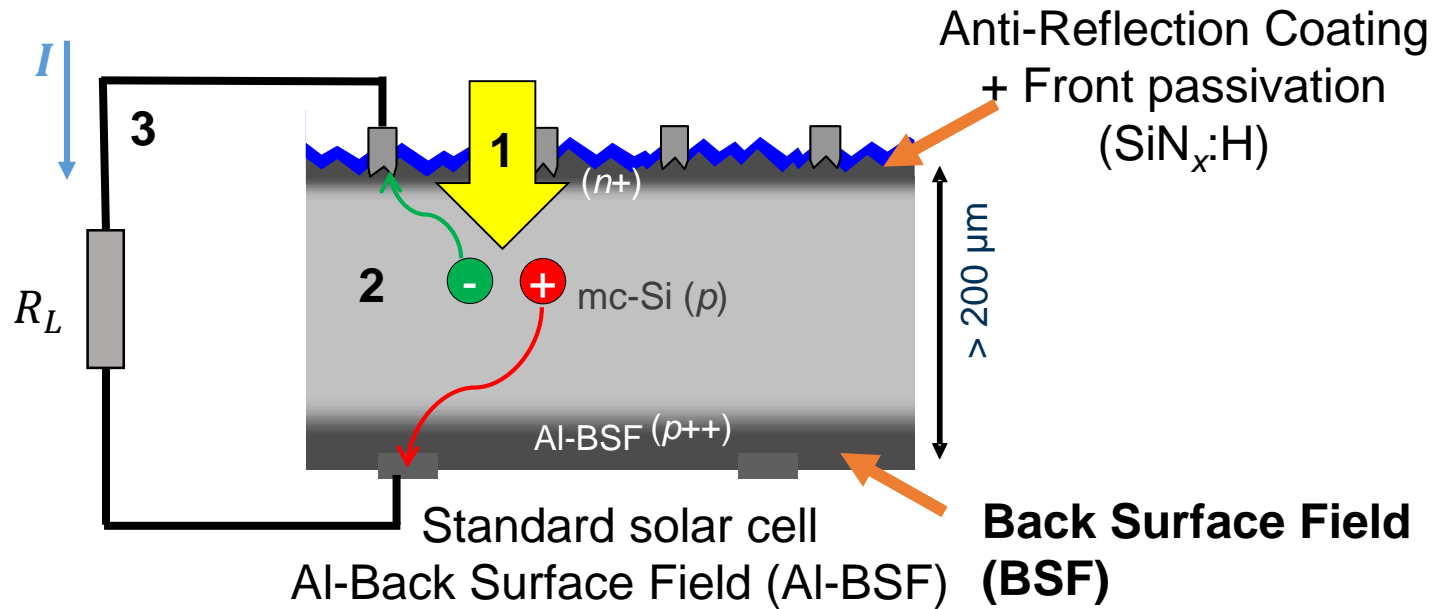


Porque?

- Si-based tandem
- back contact
- Si-heterojunciton (SHJ)
- PERC/PERL/PERT incl. w/ passivated contacts at rear side
- BSF

ITRPV - International Technology Roadmap for Photovoltaic – Report oct 2019

# Efecto fotovoltaico - BSF

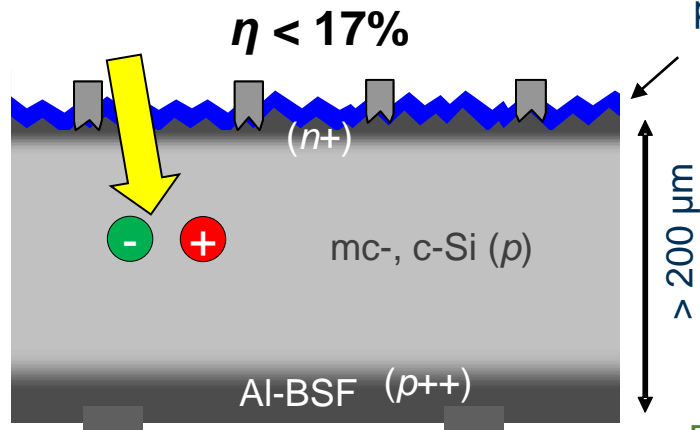


1. Absorción de la luz y generación de portadores de carga.
2. Separación de los portadores de carga.
3. Extracción de los portadores en los electrodos.

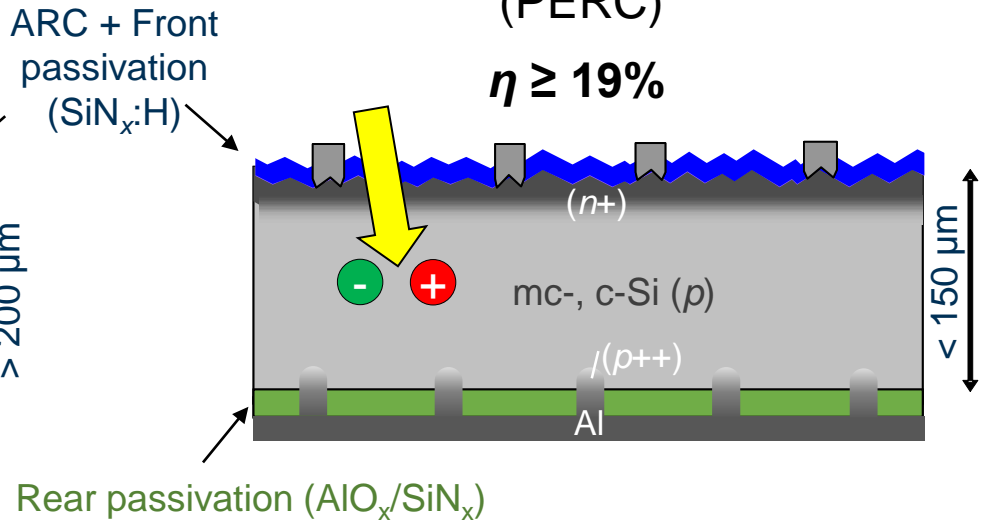
# Efecto fotovoltaico – BSF vs PERC



Standard solar cell  
Al-Back Surface Field (Al-BSF)



Passivated Emitter and Rear Cell  
(PERC)

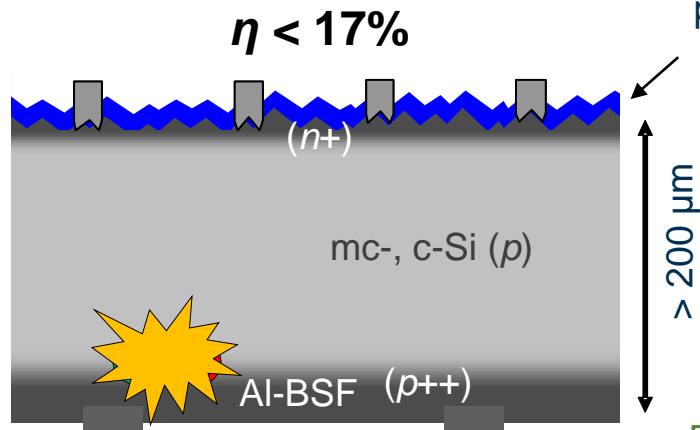




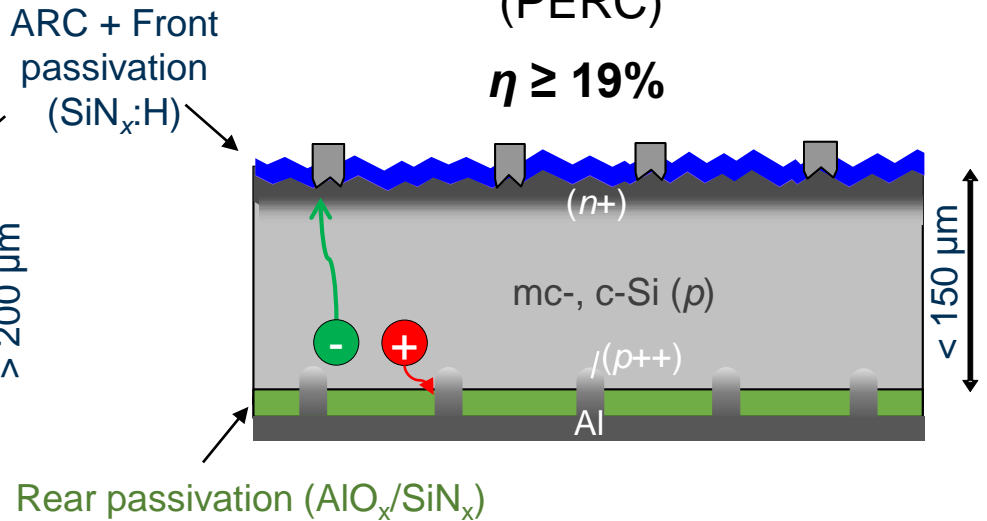
# Efecto fotovoltaico – BSF vs PERC



Standard solar cell  
Al-Back Surface Field (Al-BSF)



Passivated Emitter and Rear Cell  
(PERC)

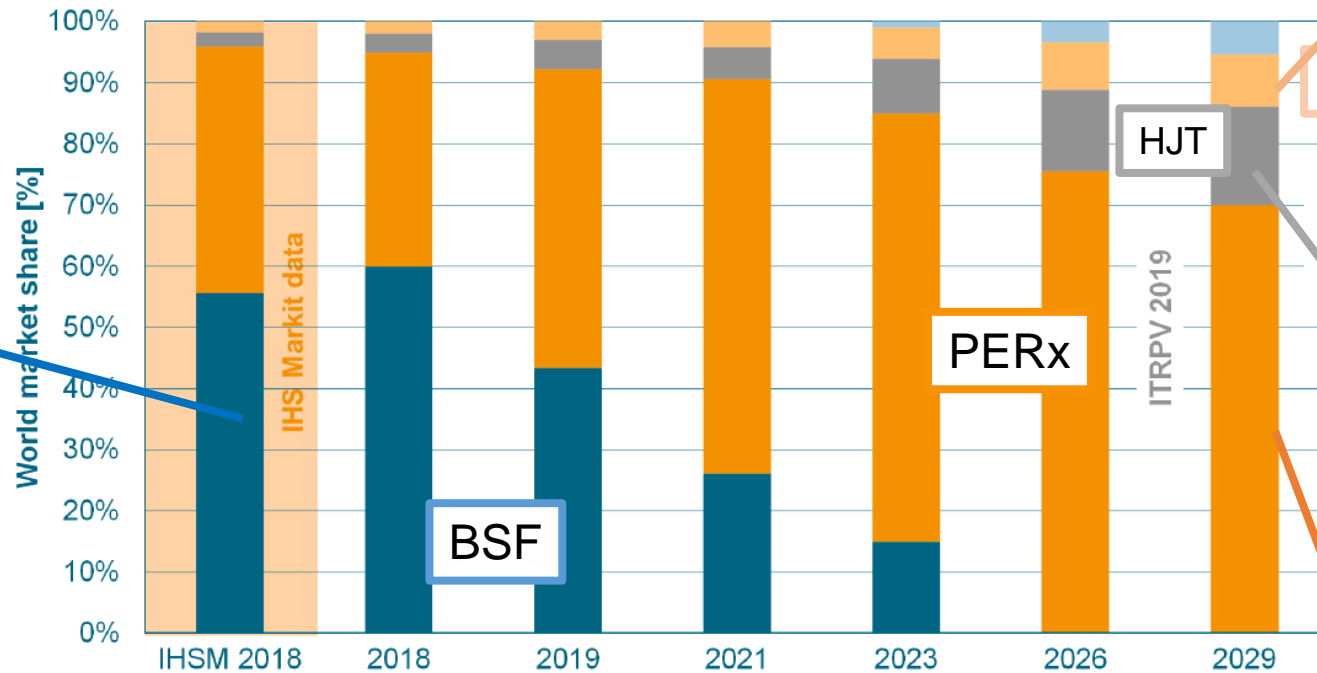


# Principales tecnologías FV para los siguientes 10 años



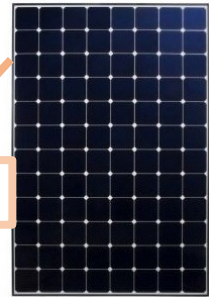
## Different cell technology

Back-Surface Field (BSF)



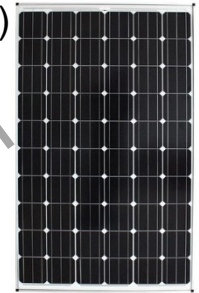
- Si-based tandem
- back contact
- Si-heterojunction
- PERC/PERL/PERT incl. w/ passivated contacts at rear side
- BSF

Back contact (IBC)



IBC

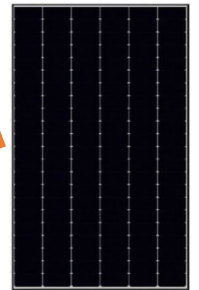
Heterojunction (HJT)



PERx

ITRPV 2019

Passivated Emitter and Rear Cell (PERC)



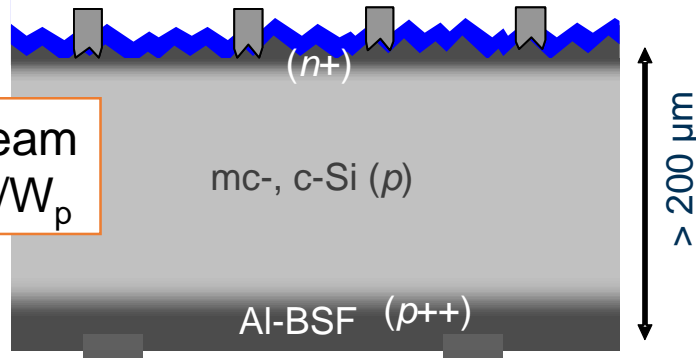
ITRPV - International Technology Roadmap for Photovoltaic – Report oct 2019

# Principales tecnologías FV para los siguientes 10 años



Standard solar cell  
Al-Back Surface Field (Al-BSF)

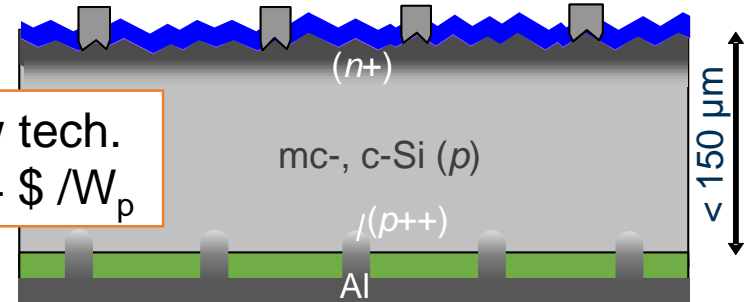
$\eta < 17\%$



Mainstream  
~ 0.3 \$ /W<sub>p</sub>

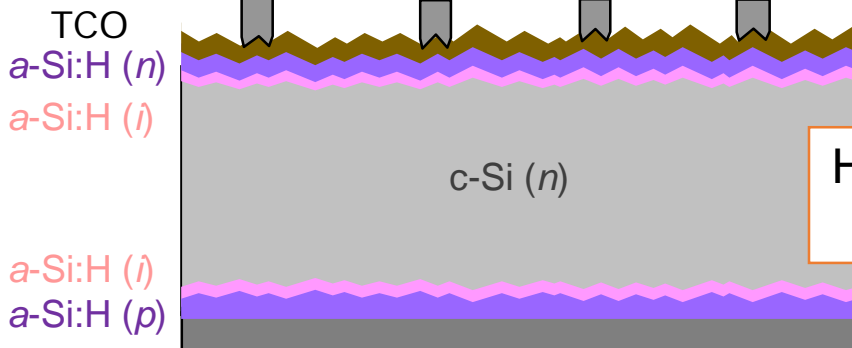
Passivated Emitter and Rear Cell (PERC)

$\eta \geq 19\%$



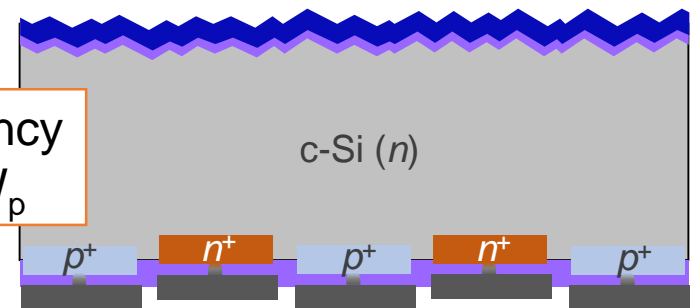
New tech.  
~ 0.4 \$ /W<sub>p</sub>

Hetero-Junction Technology (HJT)  
 $\eta \geq 20\%$



High efficiency  
 $\geq 0.5$  \$ /W<sub>p</sub>

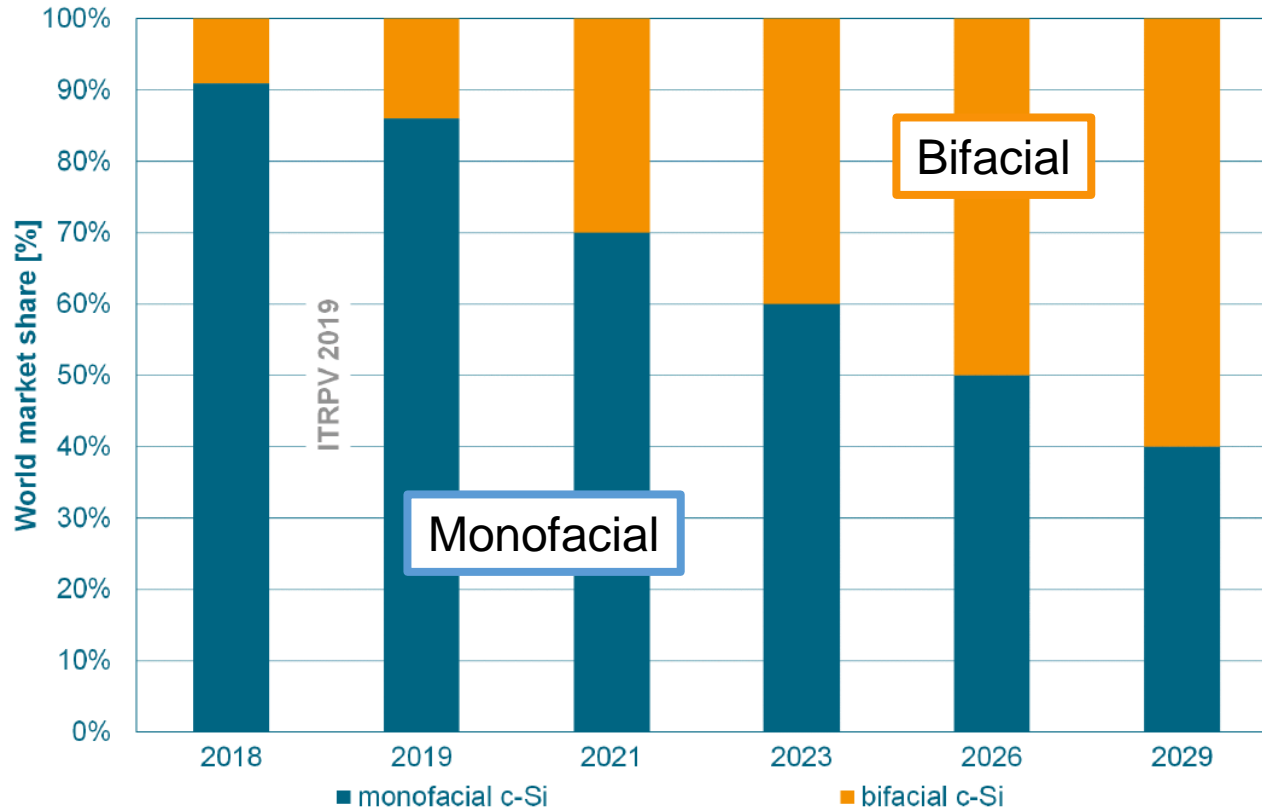
Interdigitated Back Contact (IBC)  
Solar cell  
 $\eta \geq 22\%$



# Módulos Bifaciales

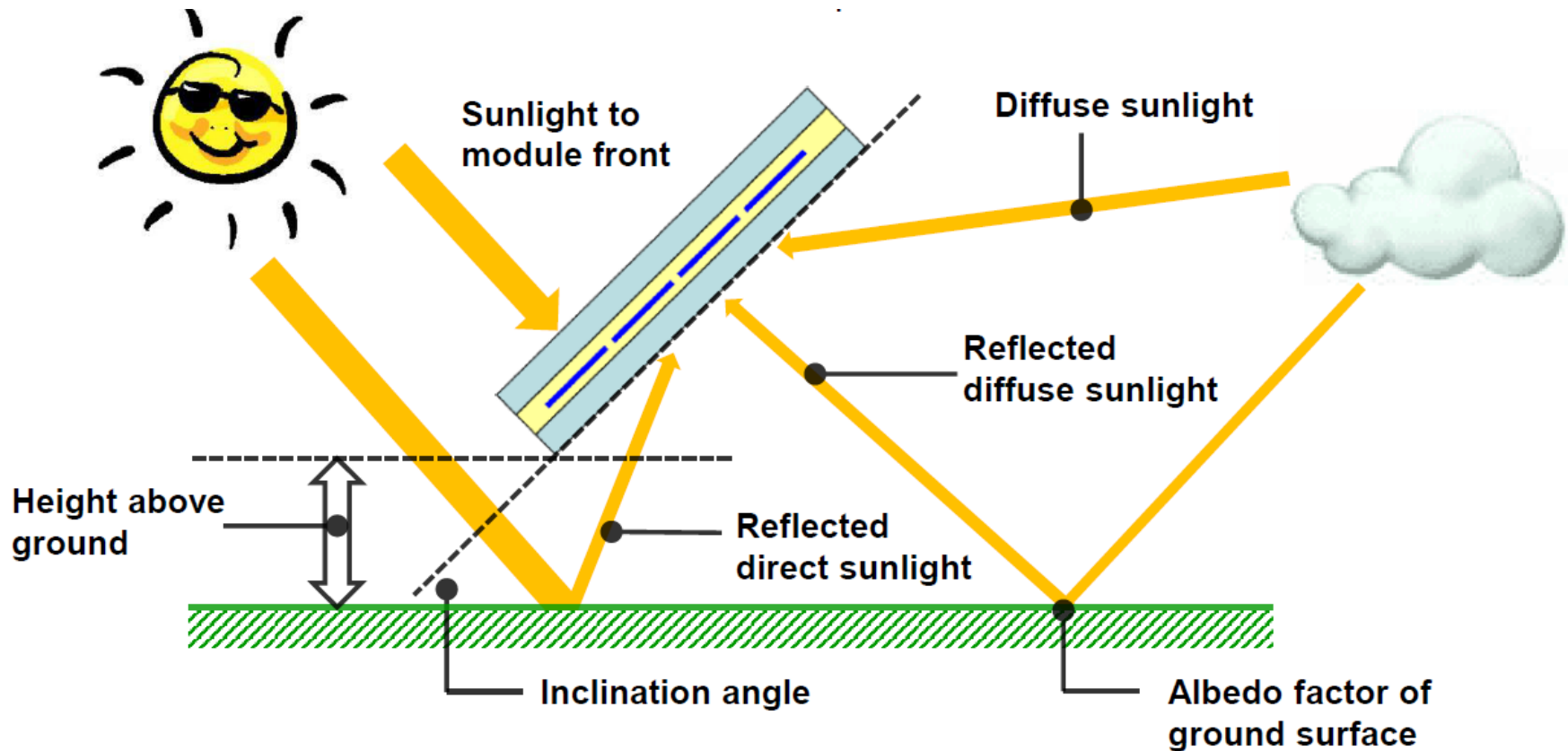


## Bifacial cell in world market



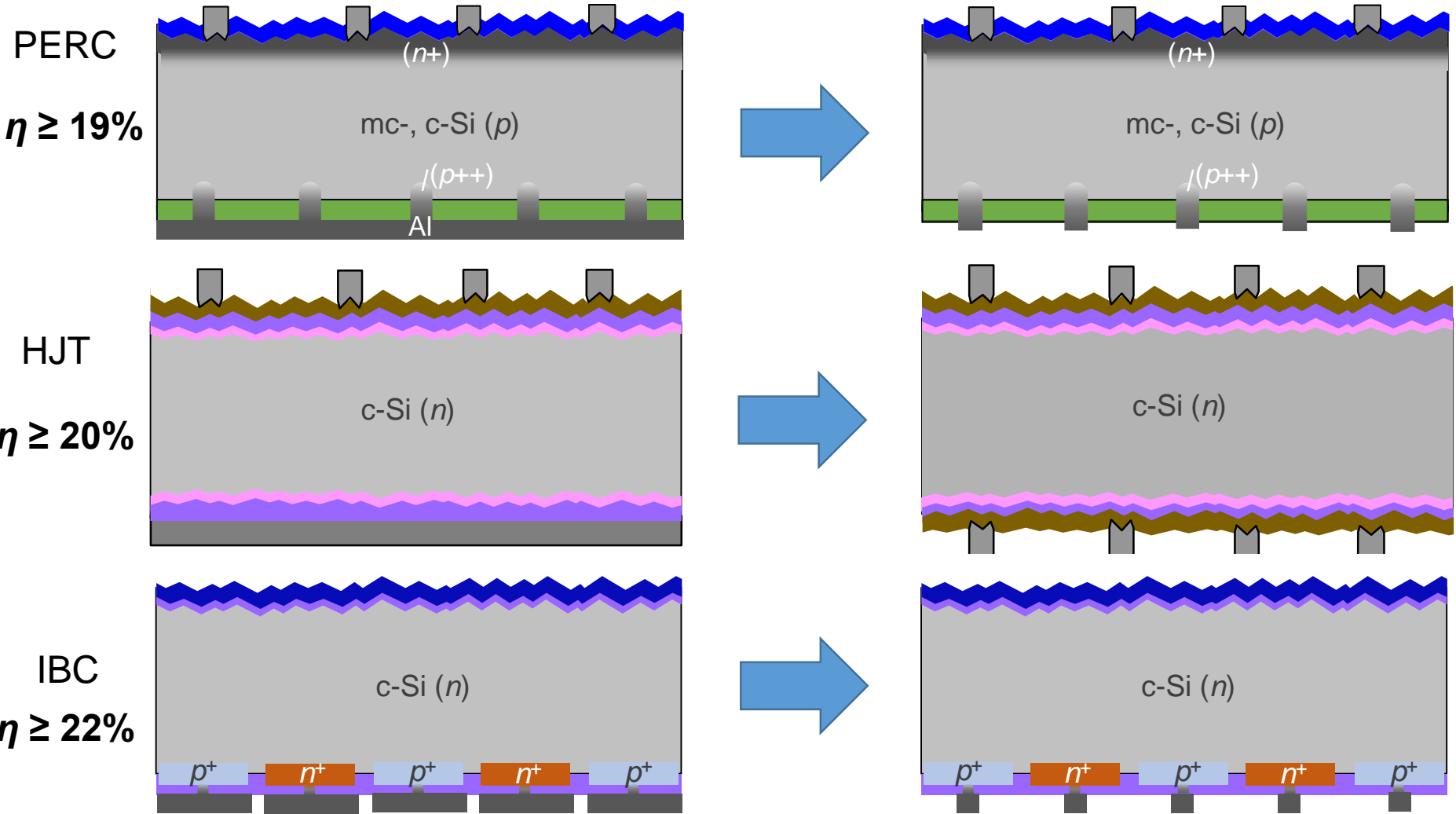
ITRPV - International Technology Roadmap for Photovoltaic – Report oct 2019

# Módulos Bifaciales



+ 5 to 30% more Power

# Módulos Bifaciales – compatibilidad tecnológica

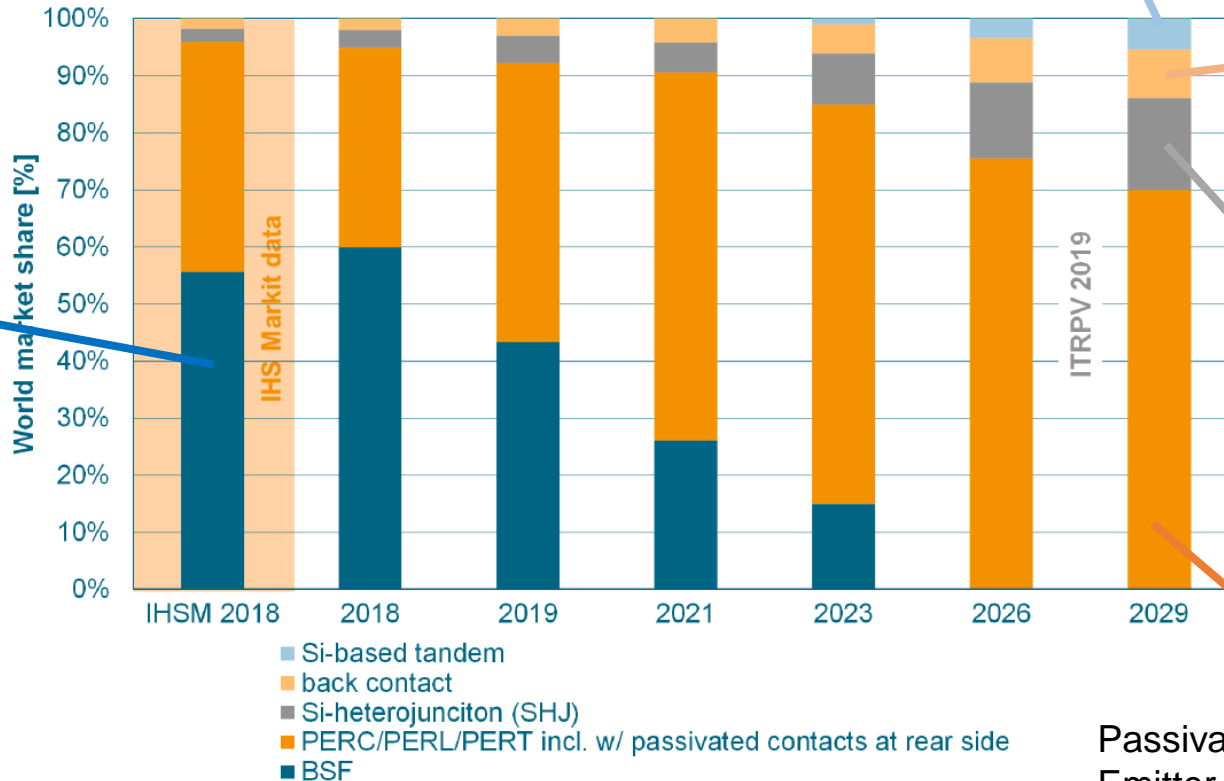




# Principales tecnologías FV para los siguientes 10 años

## Different cell technology

Back-Surface Field (BSF)



## Si-based tandem ?

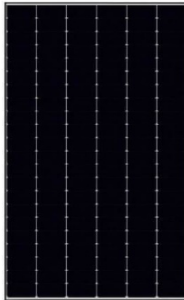
Back contact (IBC)



Heterojunction (SHJ)



Passivated Emitter and Rear Cell (PERC)

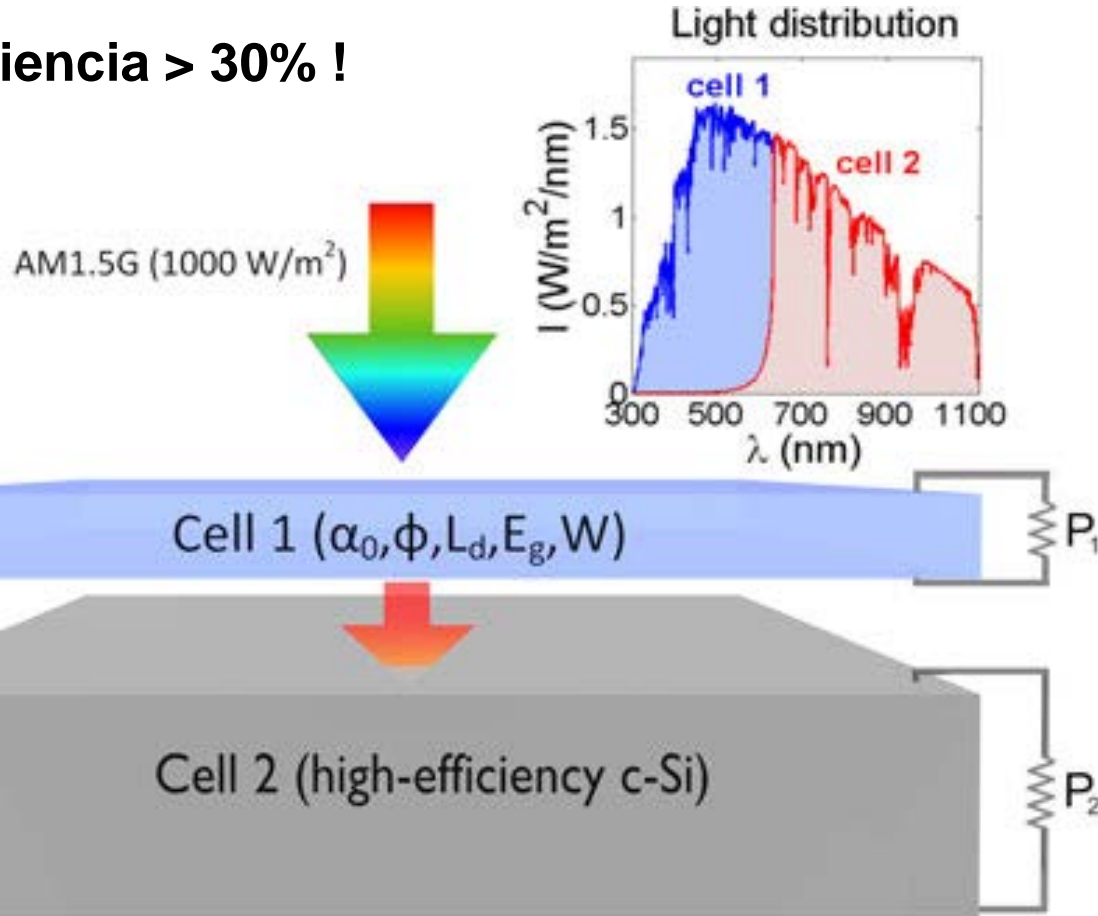


ITRPV - International Technology Roadmap for Photovoltaic – Report oct 2019

# Tecnología tandem basada en c-Si ???



Potencial de eficiencia > 30% !



Que material?

T.P. White, et al., Tandem solar cells based on high-efficiency c-Si bottom cells: top cell requirements for >30% efficiency, IEEE J. Photovolt. 4 (1) (2014) 208–214

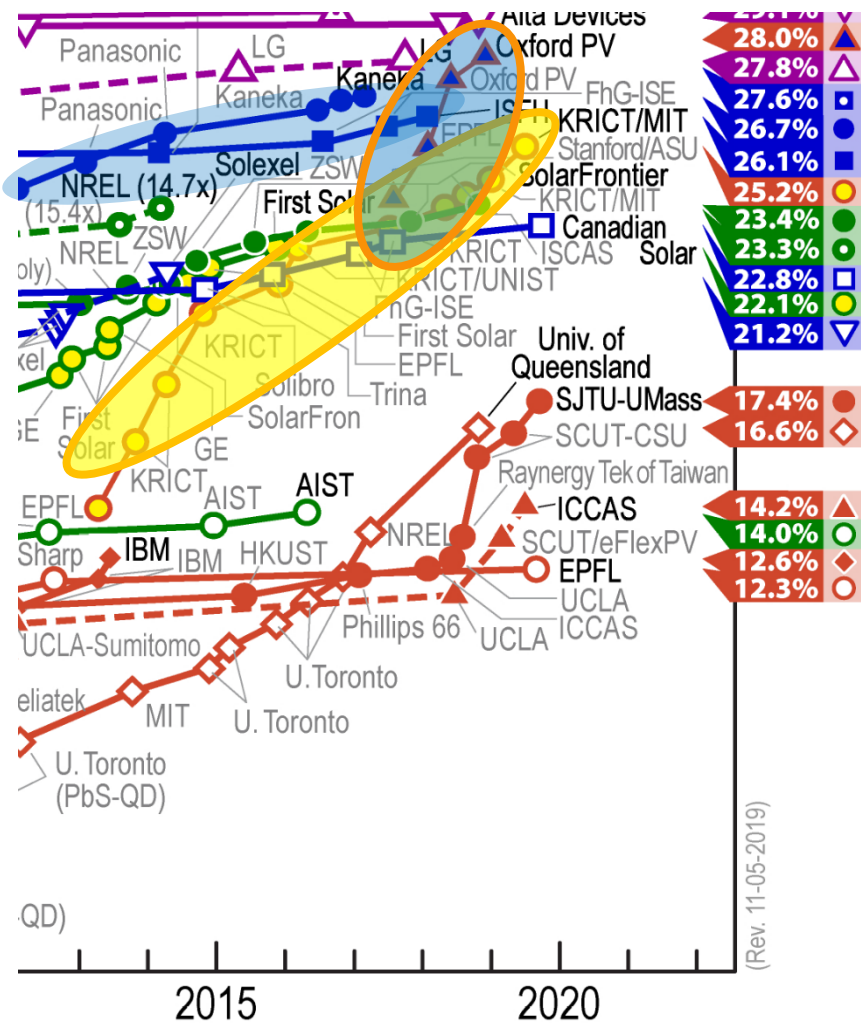
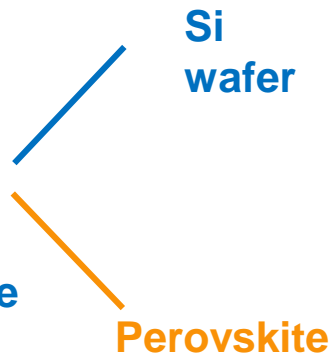


# Tecnología tandem basada en c-Si ?



Si + Perovskite tandem

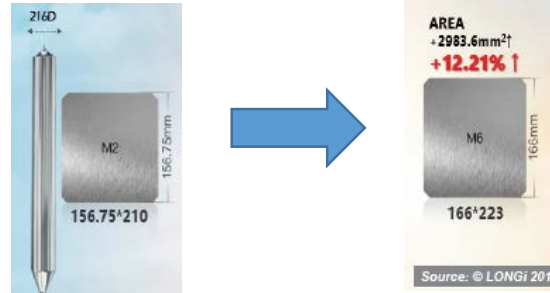
Efficiency 28%, but still unstable



# Próximos, pequeños pasos innovadores

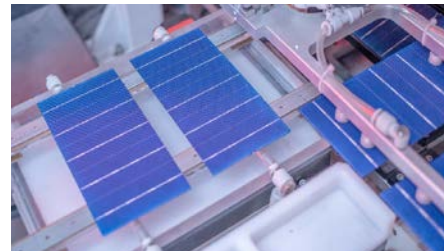


- Obleas más grandes



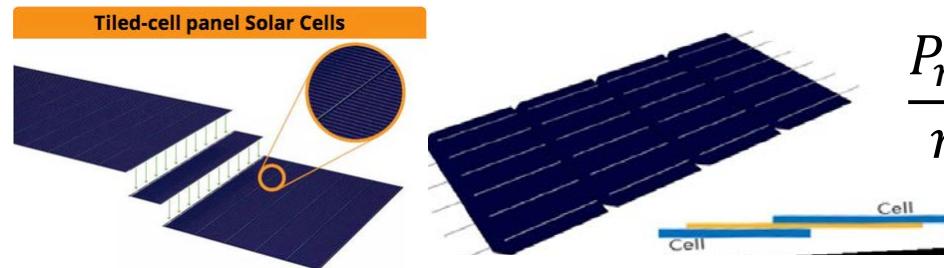
$$\frac{P_{max}}{m^2} \nearrow$$

- Half-cut cells



$$R_S \searrow$$


- Shingled cells / paving



$$\frac{P_{max}}{m^2} \nearrow$$

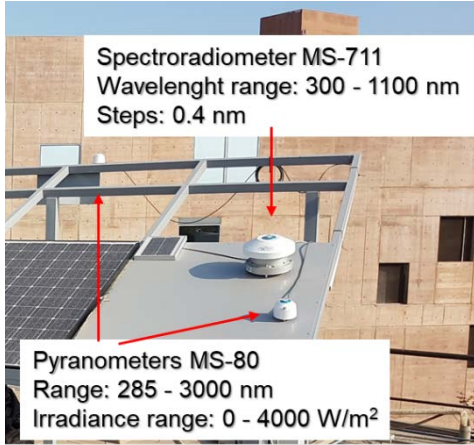
TaiyangNews, Advanced Module Technologies 2019



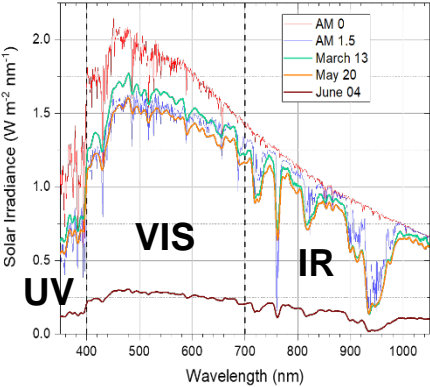
- Metas: Mayor eficiencia y menor costo
- Principales tecnologías FV para los siguientes 10 años:
  - Passivated Emitter and Rear Cell (PERC): eficiencia > 19%
  - Hetero-Junction Technology (HJT): eficiencia > 20%
  - Bifacial modules:  
PERC y HJT compatible, 5 a 30 % mayor potencia
  - Future Tandem Cell concepts:  
Silicon + Perovskite or other, potential for efficiency > 30%
- Nuevas tecnologías  nueva investigación FV!!!

# Laboratorio para la caracterización de tecnologías fotovoltaicas

## Estación meteorológica



## Análisis de las variables meteorológicas

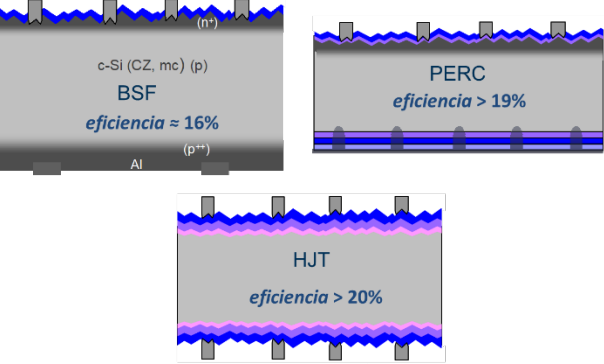


- Standard Conditions 1000 W.m<sup>-2</sup>
- Clear Day 1000 W.m<sup>-2</sup>
- Clear Day with clouds 891 W.m<sup>-2</sup>
- Cloudy Day 163 W.m<sup>-2</sup>

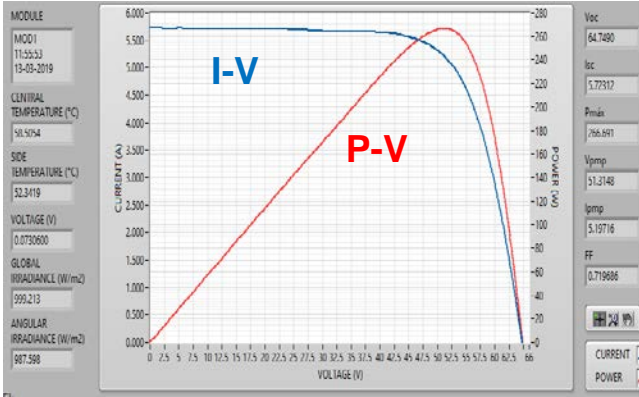
## Paneles Fotovoltaicos (FV)



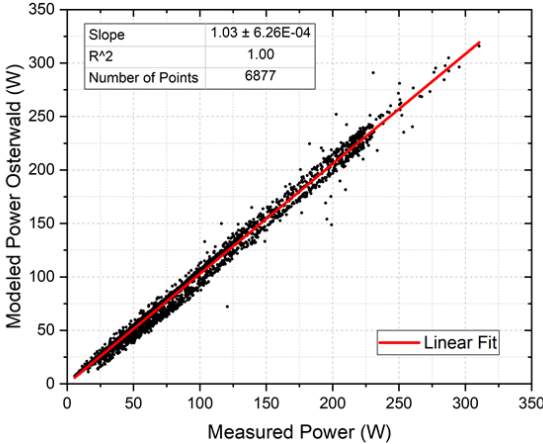
Comparación de 11 diferentes tecnologías FV: BSF, PERC, HJT, tándem, CIGS, bifacial, IBC.



## Caracterización y modelado

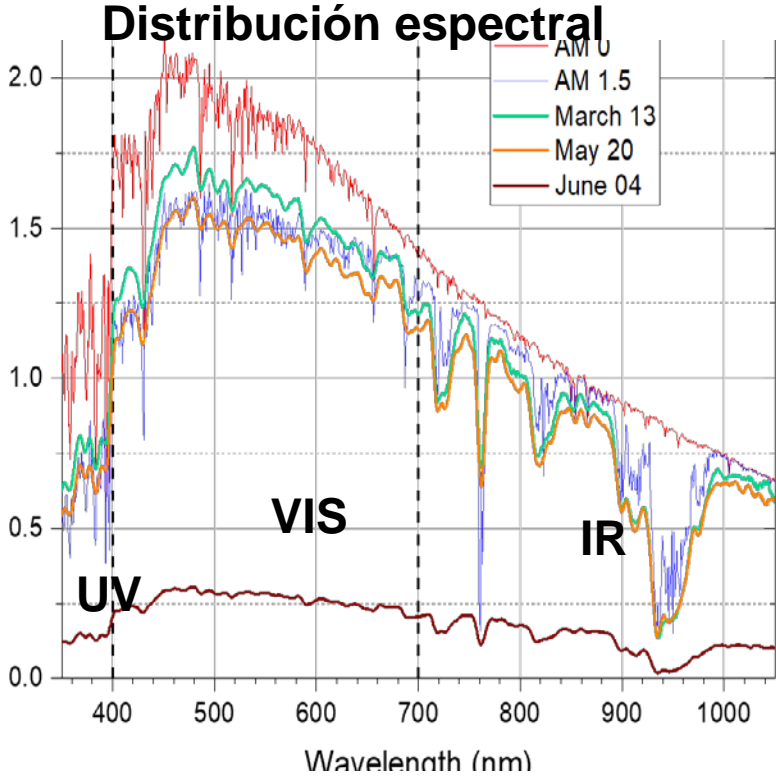
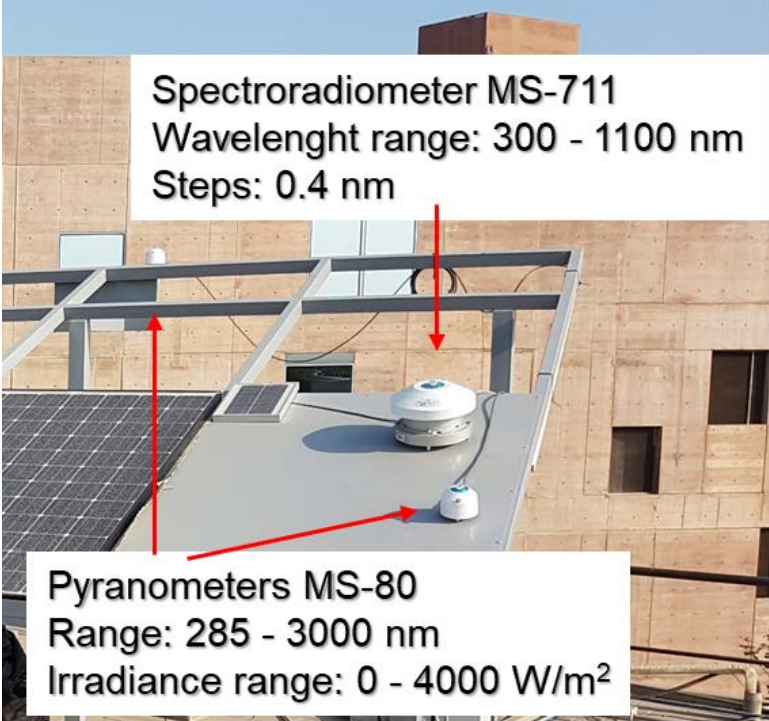


## Caracterización, calibración y modelado



# Laboratorio para la caracterización de tecnologías fotovoltaicas

## Estación meteorológica

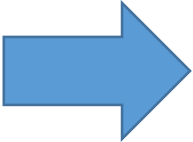


Standard Conditions  
1000 W.m<sup>-2</sup>

Clear Day  
1000 W.m<sup>-2</sup>

Clear Day with clouds  
891 W.m<sup>-2</sup>

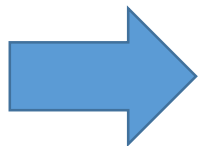
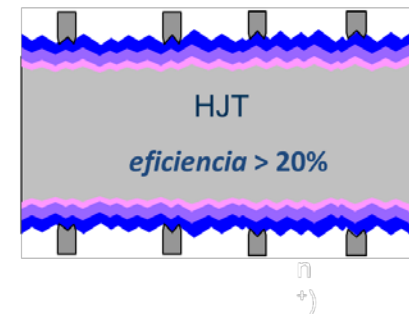
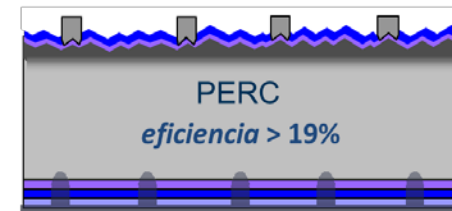
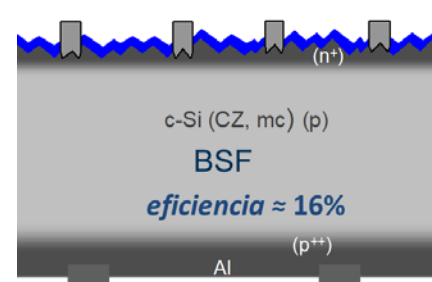
Cloudy Day  
163 W.m<sup>-2</sup>



**Análisis de las variables meteorológicas:  
irradiancia (global y difusa), albedo, distribución espectral**

# Laboratorio para la caracterización de tecnologías fotovoltaicas

## Paneles Fotovoltaicos (FV)

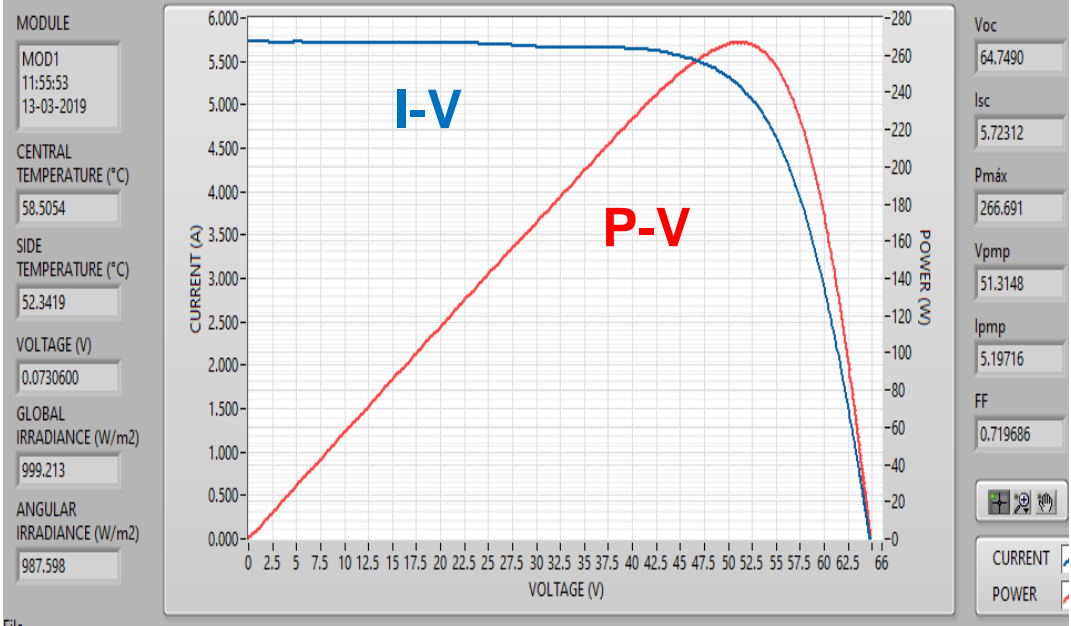


**Comparación de 11 diferentes tecnologías FV:  
BSF, PERC, PERT, 3 bifaciales, HJT, IBC aSi/ $\mu\text{cSi}$ , aSi:H, CIGS.**

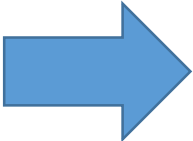
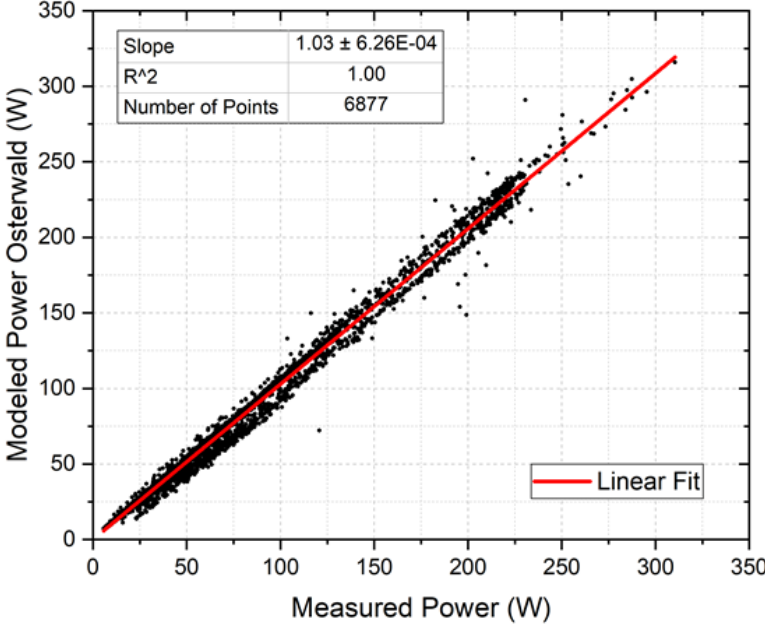
**Se buscan: CdTe y HJT bifacial!**

# Laboratorio para la caracterización de tecnologías fotovoltaicas

## Trazado de la curva corriente-voltaje y potencia-voltaje



## Caracterización y modelado



## Caracterización, calibración y modelado

# Invitación a siguientes ponencias

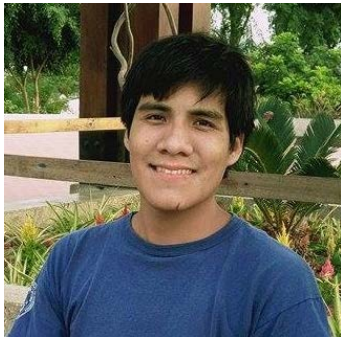


**Luis Conde**

**Miércoles, 20.11.**

**P40, A1, 17:40**

*Puesta en marcha de un laboratorio para la caracterización de tecnologías fotovoltaicas a sol real bajo las condiciones climáticas de Lima*



**Miguel Sevillano**

**Jueves, 21.11.**

**P24, A3, 15:40**

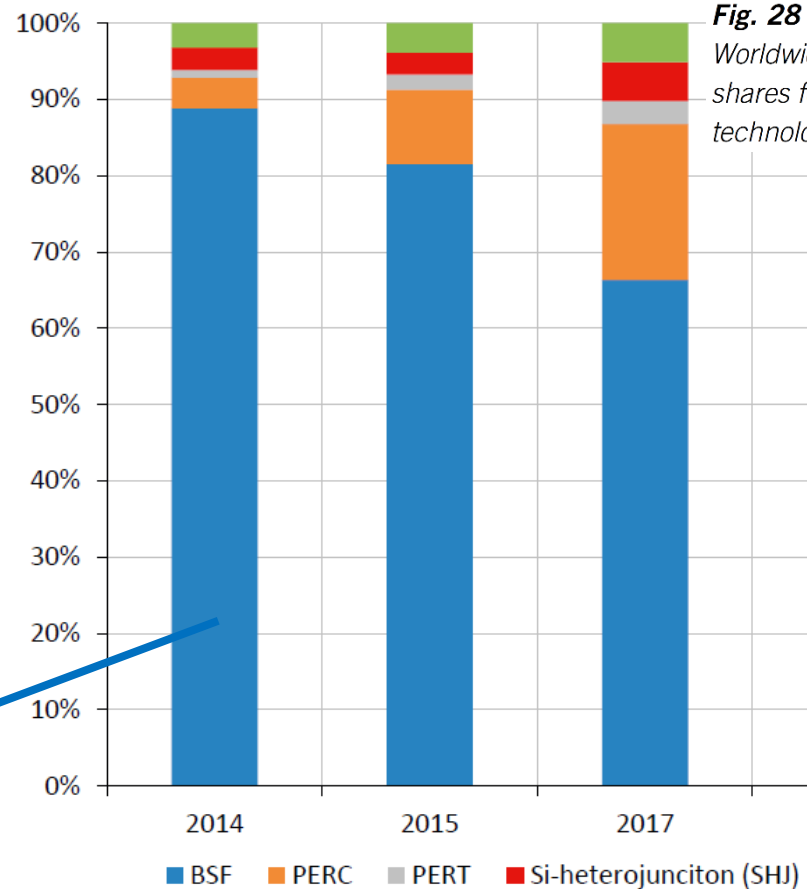
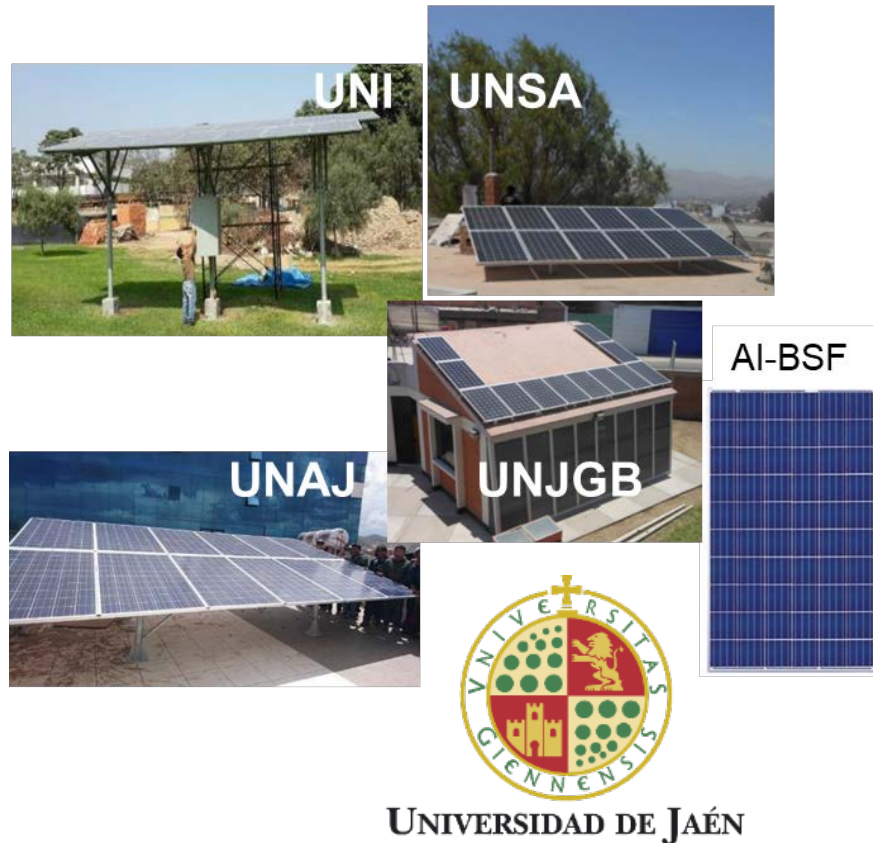
*Estudio de los métodos analíticos para la extracción de parámetros eléctricos de módulos fotovoltaicos de capas delgadas*



# Peruvian PV-System research project



Proyecto antecedente (2015):  
 “Emergiendo con el Sol -  
 Cooperación España – Perú”



**Fig. 28**  
 Worldwide market  
 shares for different cell  
 technologies.

ITRPV - International Technology Roadmap for  
 Photovoltaic – Report jul 2015







→ Yield & PR results for  
Lima, Arequipa & Tacna!



Article

## Analysis of the Performance of Various PV Module Technologies in Peru

Irene Romero-Fiances <sup>1</sup>, Emilio Muñoz-Cerón <sup>1</sup>, Rafael Espinoza-Paredes <sup>2</sup>,  
Gustavo Nofuentes <sup>1</sup> and Juan de la Casa <sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> IDEA Research Group, University of Jaén, Campus de Las Lagunillas, 23071 Jaén, Spain; ifiances@ujaen.es (I.R.-F.); emunoz@ujaen.es (E.M.-C.); gnofuen@ujaen.es (G.N.)

<sup>2</sup> Renewable Energy Center, National Engineering University, Av. Túpac Amaru 210, Of. B1-260, Lima 25, Perú; respinoza@uni.edu.pe

\* Correspondence: delacasa@ujaen.es; Tel.: +3-495-321-3306

Received: 13 December 2018; Accepted: 2 January 2019; Published: 8 January 2019



# Primeros resultados para el Perú!



→ **LCOE results for Lima, Arequipa & Tacna!**

Renewable Energy 136 (2019) 414–427

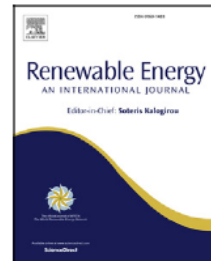


ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

## Renewable Energy

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/renene](http://www.elsevier.com/locate/renene)



## Feasibility evaluation of residential photovoltaic self-consumption projects in Peru

R. Espinoza <sup>a, 1</sup>, E. Muñoz-Cerón <sup>b, \*</sup>, J. Aguilera <sup>c</sup>, J. de la Casa <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía, Universidad Nacional de Ingeniería de Lima, Avenida Tupac Amaru 210, Office B1-260, Pabellón Central, 2nd Floor, Rimac-Lima, Peru

<sup>b</sup> IDEA Research Group (Research and Development in Solar Energy), Centre for Advanced Studies in Energy and Environment (CEAEMA), Department of Graphic Engineering, Design and Projects, University of Jaén, Campus Las Lagunillas s/n, Building A3, Office 212, 23071, Jaén, Spain

<sup>c</sup> IDEA Research Group (Research and Development in Solar Energy), Centre for Advanced Studies in Energy and Environment (CEAEMA), Electronics and Automation Engineering Department, University of Jaén, Spain

# \*Nuevo\* proyecto de investigación FV



**PUCP**

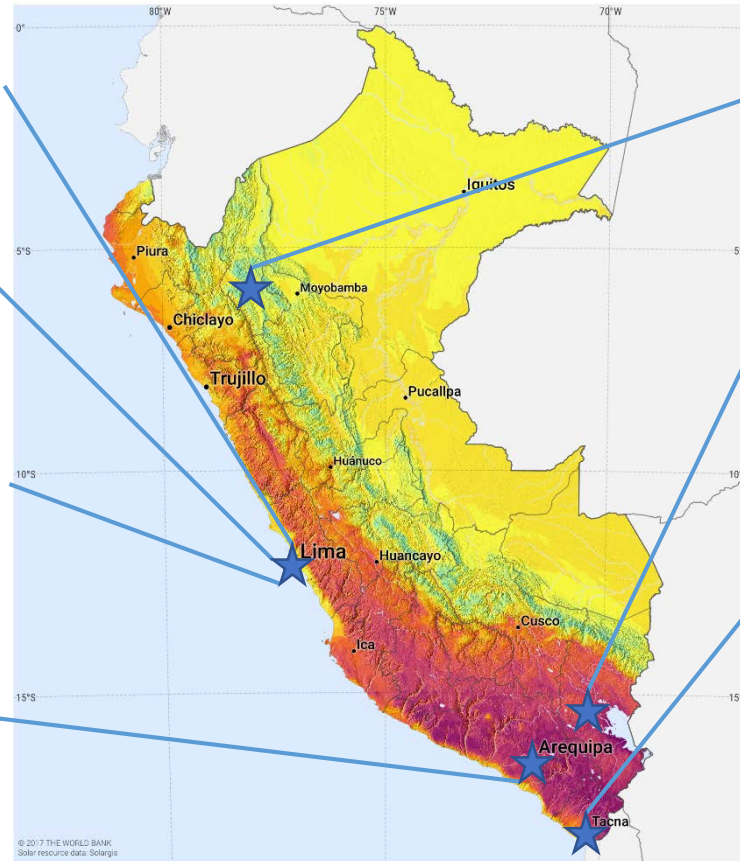


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**CITE energía**  
Lima / Silicon Technology



SOLAR RESOURCE MAP  
**PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL**  
**PERU**



© 2017 THE WORLD BANK  
Solar resource data: Solargis

Long term average of PVOUT, period 1999-2015

Daily totals:	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8	6.2
Yearly totals:	1095	1241	1387	1534	1680	1826	1972	2118	2264

kWh/kWp



**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**



**UNJBG**  
**Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann**

España:



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**

Dr. Jan Amaru Palomino Töfflinger,  
Grupo MatER – Sección Física, japalominot@pucp.edu.pe



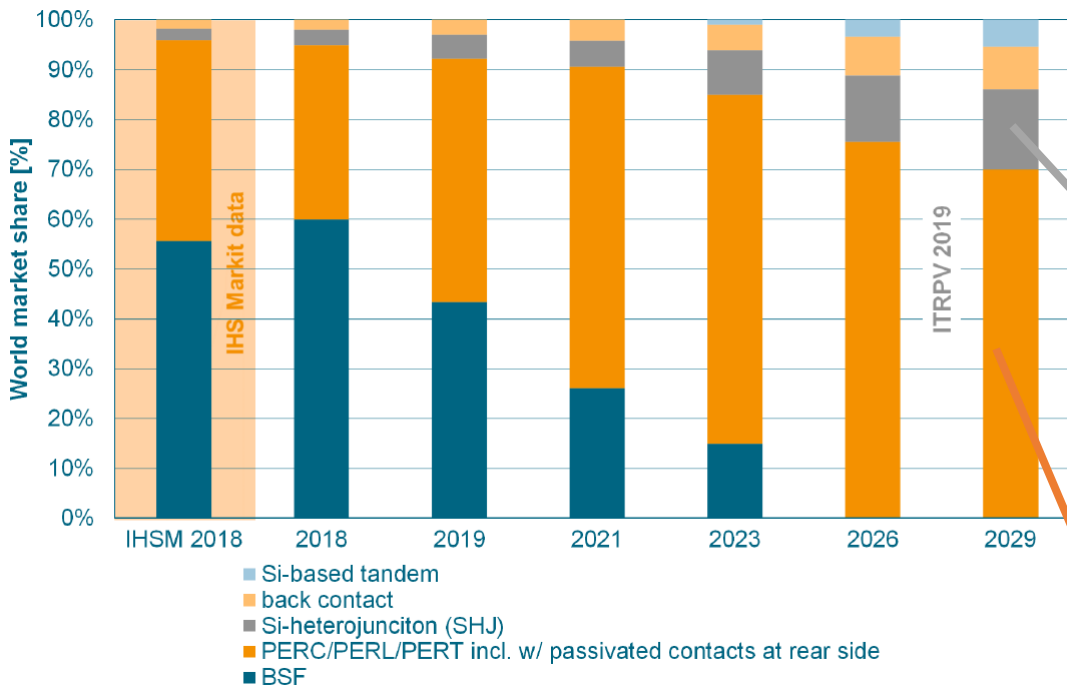
**PUCP**



# Objetivos específicos

## 1. Instalación y ampliación de sistemas fotovoltaicos con monitoreo por nuevas tecnologías tipo PERC, HIT y CIGS en los lugares a estudio.

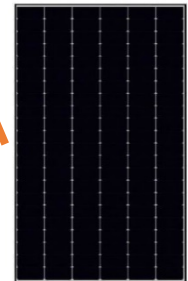
Proyecto propuesto: 3 Nuevas tecnologías



HIT / SHJ



PERC



CIGS for BIPV



y UNTRM

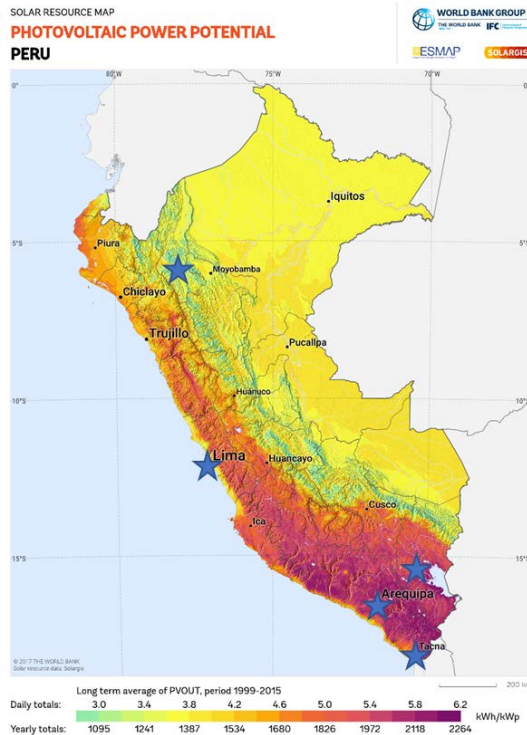


(c) Swiss BIPV Competence



# Objetivos específicos

1. Instalación y ampliación de sistemas fotovoltaicos con monitoreo por nuevas tecnologías tipo PERC, HIT y CIGS en los lugares a estudio.
2. Análisis, modelamiento y evaluación del rendimiento energético de los sistemas fotovoltaicos instalados en los lugares de estudio.



$$Yield_{ref} = \frac{\text{solar irradiation } G \text{ (kWh/m}^2\text{)}}{1 \text{ kW/m}^2}$$

$$Yield_{final} = \frac{\text{generated Energy (kWh)}}{\text{installed power (kW)}}$$

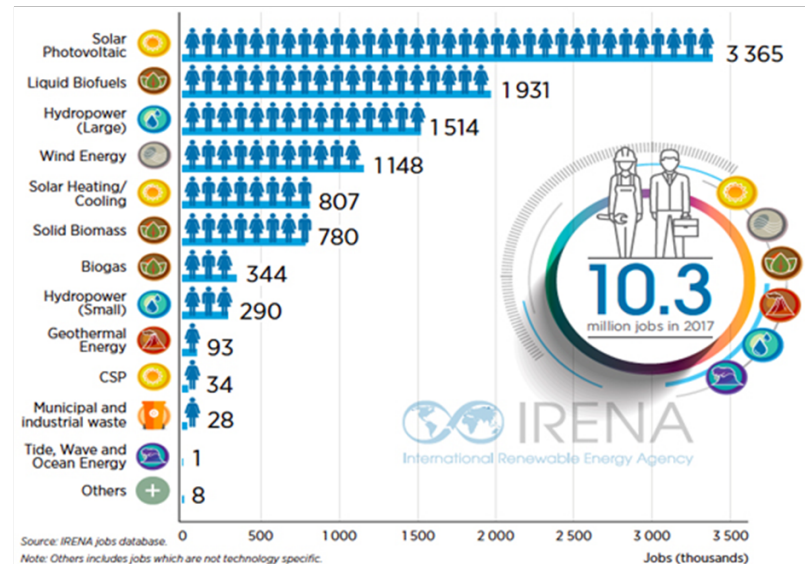
$$\text{Performance ratio } PR = \frac{Yield_{final}}{Yield_{ref}}$$

→ Analysis of gains and losses



# Objetivos específicos

1. Instalación y ampliación de sistemas fotovoltaicos con monitoreo por nuevas tecnologías tipo PERC, HIT y CIGS en los lugares a estudio.
2. Análisis, modelamiento y evaluación del rendimiento energético de los sistemas fotovoltaicos instalados en los lugares de estudio.
3. Estudio de los potenciales impactos socio- y técnico-económicos y los beneficios medioambientales que generaría la intervención FV en el lugar a estudio.



# Invitación a siguientes ponencias



**Miércoles, 20.11.**

**P5, A2, 16:00**

*Diseño de un sistema de Hardware de libre distribución para el monitoreo de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) que cumpla con los estándares IEC*

**Alejandro Carhuavilca**



**Jueves, 21.11.**

**P21, A3, 15:20**

*Procedimiento del Cálculo de la Potencia Nominal de un Generador Fotovoltaico*

**Brando Calsi**



**Viernes, 22.11.**

**P38, A2, 15:40**

*Estudio del Efecto del Polvo y Estimación de la Potencia Nominal en un String Fotovoltaico*

**José Angulo**



# Agradecimientos



## ○ Financiamiento

- Maestrands y Doctorandos
- Intercambio científico
- Proyectos de investigación:  
045-2018, 124-2018



Becas y financiamiento del Concytec



**CONCYTEC**  
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA,  
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA



**DAAD**

Deutscher Akademischer Austausch Dienst  
Servicio Alemán de Intercambio Académico

## ○ Colaboraciones:



**APES**  
ASOCIACIÓN PERUANA DE  
ENERGÍA SOLAR Y DEL AMBIENTE

**HZB** Helmholtz  
Zentrum Berlin



Universidad de Jaén



**CITE energía**

Lima / Silicon Technology



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
INGENIERÍA**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE  
MENDOZA DE AMAZONAS

**UNW**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

