



Webinar – Tecnología de Módulos FV (PERC, Monofacial y Bifacial) en la Optimización del LCOE de Proyectos

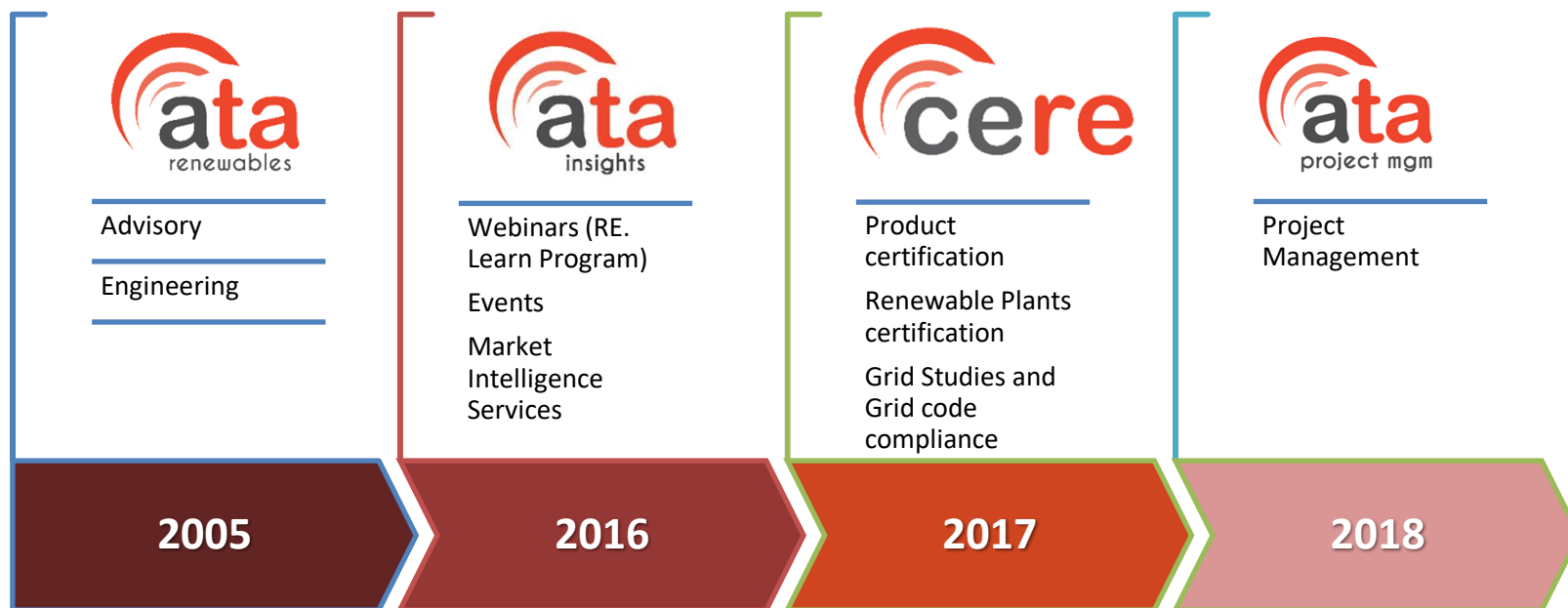
ATA Renewables (ATA)

Mayo 2020

Gonzalo Castro
Senior Consultant Engineer

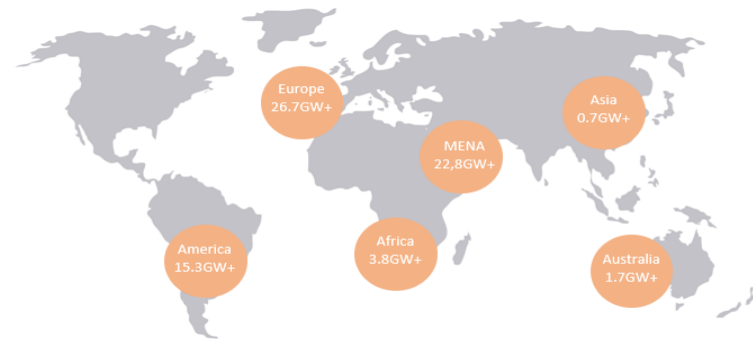
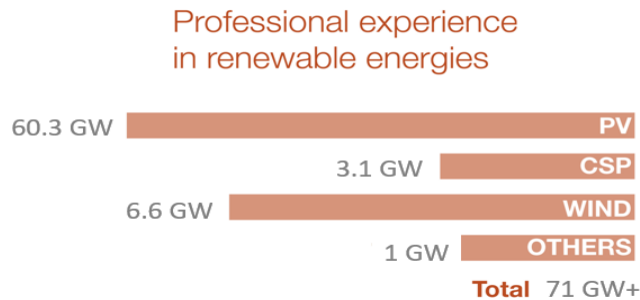
ata Group

Creada en España en 2005, **ata** renewables es un grupo de empresas independiente especializado en las energías renovables, el cual comprende 4 empresas focalizadas en proporcionar servicios de Asesoría/Consultoría/Ingeniería, “Market Intelligence”, Certificación y Desarrollo de Proyectos (**ata** renewables, **ata** insights, **cere**, and **ata** management).



ata Renewables

Nuestros servicios abordan las energías renovables en general, y la energía solar y eólica en particular. Con una experiencia en Proyectos a nivel mundial que suman más de 71GW, trabajamos internacionalmente desde nuestras oficinas en España, Italia, México, Chile, y Australia.



+ de 50
Países

+ de 80
Ingenieros
expertos

5
Oficinas

+70 GW
Experiencia
Internacional

500+
Proyectos EERR
Ejecutados
Satisfactoriamente

Tipología de Paneles FV → Optimización LCOE

1. Introducción Tecnológica Paneles FV
 - i. Módulos FV → Tendencias del Mercado
 - ii. Módulos PERC: Monofaciales y Bifaciales
2. Optimización LCOE. CAPEX y OPEX
 - i. CAPEX
 - Optimización Diseño Técnico (+ Producción)
 - Selección de Componentes Ppales (Paneles FV)
 - ii. OPEX
 - Optimización O&M
3. Bancabilidad
4. Conclusiones

Tipología de Paneles FV → Optimización LCOE

1. **Introducción Tecnológica Paneles FV**
 - i. **Módulos FV → Tendencias del Mercado**
 - ii. **Módulos PERC: Monofaciales y Bifaciales**
2. Optimización LCOE. CAPEX y OPEX
 - i. CAPEX
 - Optimización Diseño Técnico (+ Producción)
 - Selección de Componentes Ppales (Paneles FV)
 - ii. OPEX
 - Optimización O&M
3. Bancabilidad
4. Conclusiones

1.- Introducción Tecnológica Paneles FV

Módulos FV → Tendencias del Mercado



Los Módulos Fotovoltaicos **pueden llegar a alcanzar el 35-50% del coste total EPC de Proyectos FV a gran escala**



Los dos objetivos principales para el futuro cercano de los Módulos son:

- (i) Fabricar células solares de mayor eficiencia y
- (ii) Reducir los costos de fabricación mediante el desarrollo de materiales alternativos al silicio.



1.- Introducción Tecnológica Paneles FV

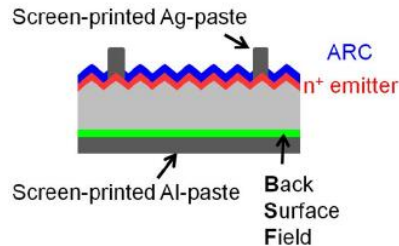
Módulos PERC: Monofaciales y Bifaciales

Las Células PERC (**P**assivated **E**mitter and **R**ear **C**ell) definen una arquitectura de células solares que difiere de la arquitectura de células estándar.

La gran mayoría de las células solares cristalinas producidas siguen la siguiente estructura:

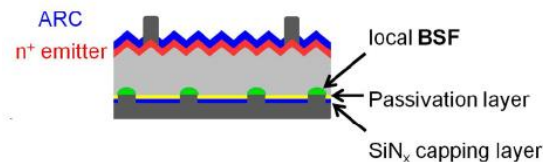
- Serografiado en pasta de plata para formar los contactos
- Recubrimiento antirreflejos
- Obleas de silicio dopadas con boro difuso de fósforo que forman la Unión Pn
- Superficie posterior de aluminio (Al-BSF)
- Pasta de aluminio serografiada

Standard solar cell



Source: Institute for Solar Energy Research Hamelin (ISFH)

PERC solar cell



Source: Institute for Solar Energy Research Hamelin (ISFH)

- La arquitectura PERC permite **mejorar la captura de luz cerca de la superficie posterior y optimizar la captura de electrones**
- La única diferencia entre un módulo PERC monofacial y un módulo PERC bifacial está en el campo de la superficie posterior. La célula solar bifacial presenta aberturas (**ventanas**) en el **contacto posterior impreso para permitir que la luz llegue a la región también desde la parte posterior.**
- Los módulos bifaciales comerciales aprovechan las ventajas de la tecnología PERC junto con la tecnología de doble vidrio.

1.- Introducción. Introducción Tecnológica Paneles FV

| Tecnología | Características Técnicas | | | | Track Record | Precios | Ventajas | Desventajas |
|------------------------|--------------------------------------|------------------------------|---|--|--|-----------|---|--|
| | Eficiencia | Coefficientes de Temperatura | Garantías de Degradación | | | (USD/W) | | |
| Módulos Convencionales | Policristalino (No PERC ni Bifacial) | 13-17% | <ul style="list-style-type: none">Pmax: (-) 0.40-0.41 %/°CTONC: 45-47 °C | <ul style="list-style-type: none">97.5% de la potencia nominal el primer año0.7% de la potencia nominal el resto de años. | <ul style="list-style-type: none">62% de la producción total en 2017. | 0.16-0.19 | <ul style="list-style-type: none">Amplio Track Record.Precios más bajos que otras tecnologías de módulos. | <ul style="list-style-type: none">Coefficientes de Temperatura |
| | Monocristalino (No PERC ni Bifacial) | 14-19% | <ul style="list-style-type: none">Pmax: (-) 0.37-0.41 %/°CTONC: 45-48 °C | <ul style="list-style-type: none">97% de la potencia nominal el primer año0.7% de la potencia nominal el resto de años. | <ul style="list-style-type: none">33% de la producción total en 2017. | 0.18-0.21 | <ul style="list-style-type: none">Amplio Track Record.Precios más bajos que otras tecnologías de módulos.Mejor eficiencia que los policristalinos. | <ul style="list-style-type: none">Coefficientes de TemperaturaPrecios Ligeramente más altos que los policristalinos |
| Módulos PERC | Mono PERC | 17-22% | <ul style="list-style-type: none">Pmax: (-) 0.36-0.40 %/°CTONC: 44-47 °C | <ul style="list-style-type: none">97% de la potencia nominal el primer año0.5% de la potencia nominal el resto de años. | <ul style="list-style-type: none">Bajo %, aunque es de destacar el aumento en el número de proyectos en desarrollo.Existen tanto mono como policristalinos, pero los más comunes son los monocristalinos | 0.20-0.25 | <ul style="list-style-type: none">Mejor eficiencia y rendimiento a temperaturas elevadas.Entre 3-5% de aumento de producción en comparación con módulos standard.Alto incremento en el nº de instalaciones | <ul style="list-style-type: none">Número limitado de MW en operación. |
| | Bifacial | <u>14-19%</u> [1] | <ul style="list-style-type: none">Pmax: (-) 0.37-0.40 %/°CTONC: 43-47 °C | <ul style="list-style-type: none">97% de la potencia nominal el primer año0.5% de la potencia nominal el resto de años. | <ul style="list-style-type: none">Muy bajo %, aunque es de destacar el aumento en el número de proyectos en desarrollo dado el aumento esperado en términos de producciónExisten tanto mono como policristalinos, pero los más comunes son los monocristalinosBloomberg New Energy Finance predice que el mercado de módulos bifaciales alcanzará el 40% en 2025. | 0.22-0.27 | <ul style="list-style-type: none">La irradiación incidente en el lado trasero del módulo se convierte en electricidad, pudiendo llegar a producirse un incremento de producción en el rango de 8-15% dependiendo de otros factores (albedo) | <ul style="list-style-type: none">Número limitado de MW en operación (Track Record)Dependiente de las características del sitio (latitud y albedo).Las herramientas para la estimación producción anual generada no está plenamente validada.El Proceso de Optimización de diseño de las Plantas se complica ligeramente. |

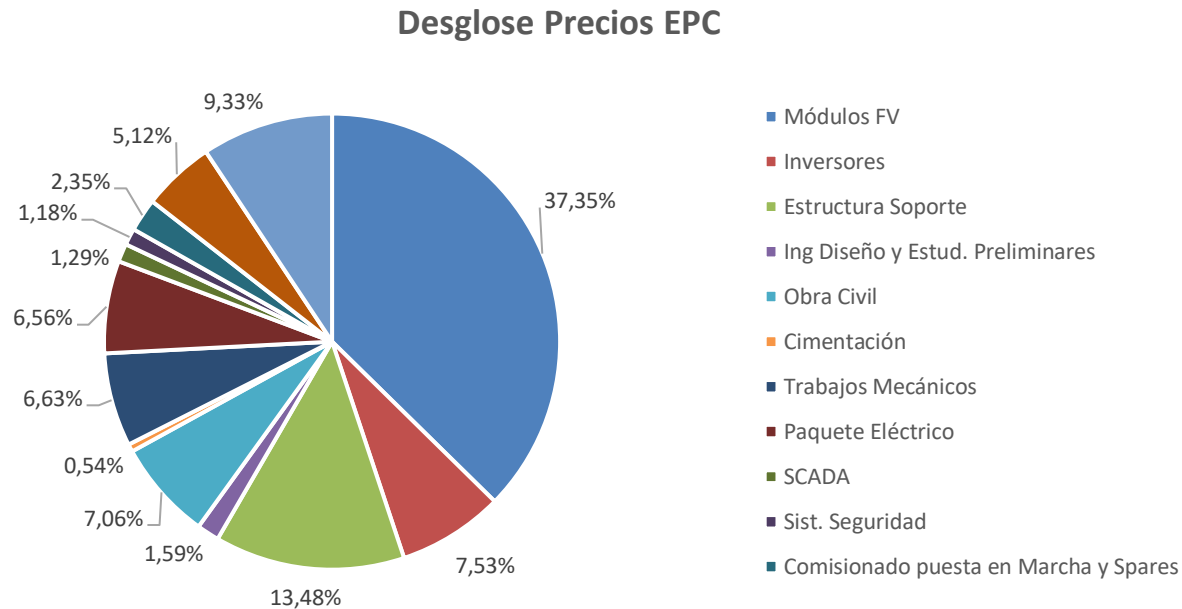
[1] Aunque la eficiencia es similar a la de los monocristalinos, la producción por m2 es superior.

Tipología de Paneles FV → Optimización LCOE

1. Introducción Tecnológica Paneles FV
 - i. Módulos FV → Tendencias del Mercado
 - ii. Módulos PERC: Monofaciales y Bifaciales
2. Optimización LCOE. CAPEX y OPEX
 - i. CAPEX
 - Optimización Diseño Técnico (+ Producción)
 - Selección de Componentes Ppales (Paneles FV)
 - ii. OPEX
 - Optimización O&M
3. Bancabilidad
4. Conclusiones

2.- Optimización LCOE. CAPEX y OPEX

CAPEX

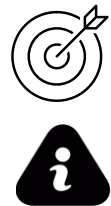


OPTIMIZACIÓN DISEÑO TÉCNICO DE PROYECTOS

Objetivo: **disminuir costes y aumentar producción**

A tener en cuenta:

- Localización/Ubicación del Proyecto (Latitud, Recurso Solar...)
- Condiciones del Mercado
- **PRECIO** Unitario



2.- Optimización LCOE. CAPEX y OPEX

CAPEX → OPTIMIZACIÓN DISEÑO TÉCNICO DE PROYECTOS



- **Determinación del Área Disponible**
 - Área TOTAL Disponible = Superficie Parcelas
 - Área Ocupada por la Planta = Superficie Parcelas – Superficie Afecciones
 - Área Efectiva u Ocupada por el Campo Solar = Área Ocupada por la Planta * 0,75
- **Selección de Componentes Ppales (Módulos, Inversores y Estructuras)**
 - Tipologías (Presencia en el Mercado, Rango de Precios e Impacto en O&M)
- **Análisis de Técnico-Económico de Escenarios**
 - Configuración Eléctrica (y física – trackers –): DC/AC Ratio
 - Cálculo del Pitch Óptimo



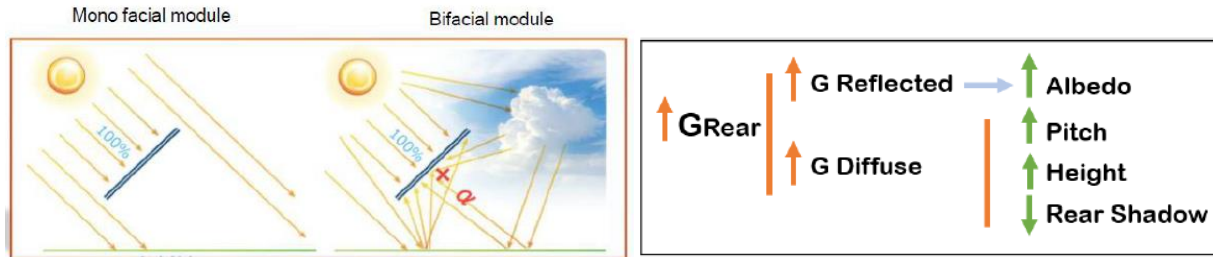
| Scenario | Sub-Scenario | | DC/AC Ratio | Pitch | Module Configuration |
|----------|--------------|-------------------------------------|-------------|-------|----------------------|
| 1 | a | Poly – Central - Fixed | ~ 1.2 | TBD | 2P |
| | b | Poly - Central - 1 Axis Tracker | ~ 1.2 | TBD | 2P |
| | c | Poly – String - Fixed | ~ 1.2 | TBD | 2P |
| | d | Poly - String -1 Axis Tracker | ~ 1.2 | TBD | 2P |
| 2 | a | Mono – Central - Fixed | ~ 1.2 | TBD | 2P |
| | b | Mono - Central -1 Axis Tracker | ~ 1.2 | TBD | 2P |
| | c | Mono – String - Fixed | ~ 1.2 | TBD | 2P |
| | d | Bifacial - String -1 Axis Tracker | ~ 1.2 | TBD | 2P |
| 3 | a | Bifacial – Central - Fixed | ~ 1.1 | TBD | 2P |
| | b | Bifacial – Central - 1 Axis Tracker | ~ 1.1 | TBD | 2P |
| | c | Bifacial - String-Fixed | ~ 1.1 | TBD | 2P |
| | d | Bifacial – String - 1 Axis Tracker | ~ 1.1 | TBD | 2P |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

2.- Optimización LCOE. CAPEX y OPEX

CAPEX → OPTIMIZACIÓN DISEÑO TÉCNICO DE PROYECTOS



- Particularidades Proyectos con Módulos Bifaciales

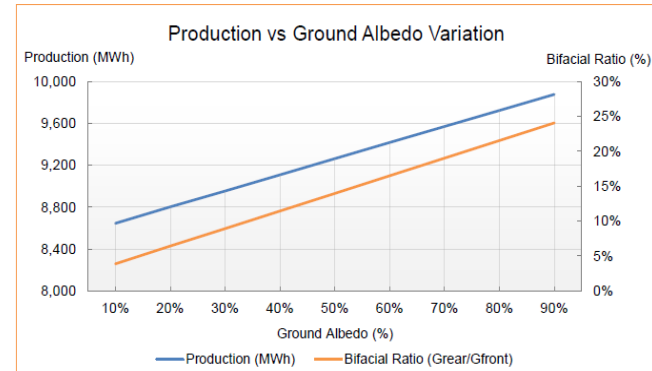
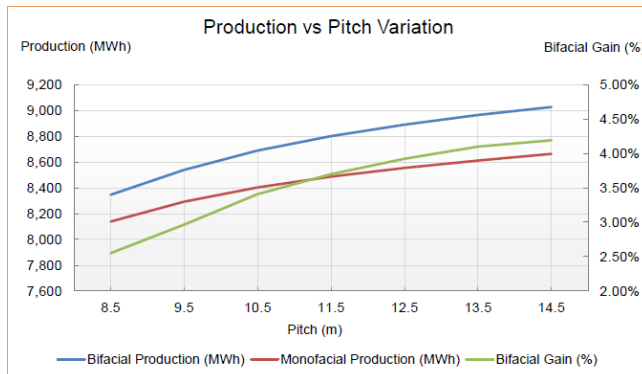


- Selección de Componentes Ppales (Módulos, Inversores y Estructuras)

- Tipologías (Presencia en el Mercado, Rango de Precios e Impacto en O&M)

- Análisis de Escenarios

- Configuración Eléctrica (y física – trackers –): DC/AC Ratio
- Cálculo del Pitch Óptimo
- Albedo



2.- Optimización LCOE. CAPEX y OPEX

OPEX

A tener en cuenta:

- Alcance del Contrato de O&M: Predictivo, Preventivo y Correctivo (Mano de Obra)
- Spare Parts y Reemplazos/Recambios (Fondo de Mantenimiento de Reserva)
 - Inversores (Tasas de Fallos Componentes)
 - Módulos (Tasa de Reemplazo)
- Otros
 - Alquiler Terrenos
 - Seguros: 3% de los Ingresos Anuales
 - Costes Administrativos: 1,5% de los Ingresos Anuales
 - Contingencias: 0,80 – 1 % de los Ingresos Anuales



Impacto de los Módulos Bifaciales en costes Standard de O&M

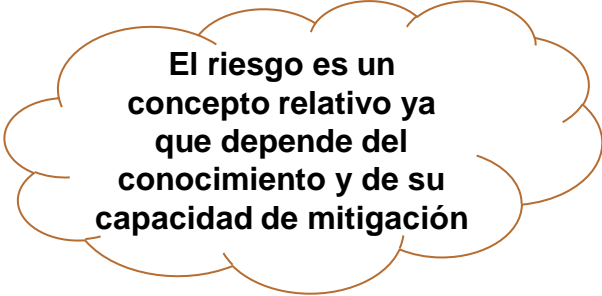
Variables a considerar:

- Limpiezas anuales: Limpieza parte trasera? Metodología.
- Mto de la superficie de la parcela para mantener el Albedo.

2.- Optimización LCOE. CAPEX y OPEX

MODELO FINANCIERO → Cálculo LCOE

- Estudios de Recurso Solar y Producción (Análisis de Pérdidas)
- CAPEX
- OPEX



El riesgo es un concepto relativo ya que depende del conocimiento y de su capacidad de mitigación

Condiciones de Financiación:

- Mercado
- Riesgos del Proyecto
- Contratos EPC y O&M (Términos y Condiciones)

2.- Optimización LCOE. CAPEX y OPEX

MODELO FINANCIERO → Cálculo LCOE

LCOE: Entendido como **precio mínimo al cual tendría yo que vender la electricidad generada por mi planta para obtener una rentabilidad X a mi inversión (Proyecto)**

Main Data

| Main input data | | |
|-------------------------------|------------|--|
| Commercial Operation Date | 01/01/2021 | |
| Solar Plant Configuration | 6c | |
| Temporal horizon | 30 | |
| Operating life of the assets | | |
| Corporate tax | 25% | |
| Amortization period for capex | 14 | |

| Discount rate to calculate VAN and TIR | | |
|--|-------|---|
| Risk free rate | 2,5% | USD 10 year bond |
| Country risk premium | 2% | Country risk premium Stern-NYU |
| Unlevered beta | 29% | See damodaran.com |
| Levered Beta | 29% | |
| Market risk premium | 5% | Market consensus |
| Leverage | 0% | |
| Optional adjustment | 0% | |
| Ke | 6,18% | Discount rate according to Capital Asset Pricing Model ("CAPM") |

| Use of funds (MUSD) | |
|--------------------------------------|---------|
| Capex | 39,469 |
| Interest during construction | 0,0000 |
| Structuring fees long-term financing | 0,0000 |
| Initial funding DSRA | 0,0000 |
| Total | 39,4694 |

| Source of funds (MUSD) | | |
|------------------------|---------|---------|
| Equity | 39,4694 | 100,00% |
| Debt | 0,0000 | 0,00% |
| Total | 39,4694 | |

| Configuration Matrix | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|------------------|--------------------------|---------------------|---|-----------------------|--------------|--------------|-----------------------------|
| Configuration ID / Description | Other data | Installed power (MWp) | Degradación Anual (%) | MWh / MWp | Production (MWh) | Unitary Opex (MUSD/MW/y) | Total Opex (MUSD/y) | | Unitary Capex (\$/Wp) | Capex (KUSD) | LCOE(\$/MWh) | OPEX (inc. Other op. costs) |
| 1c | 1 Axis Tracker - Bifacial - 14 Inv | 45.224 | 0,50% | 2.254 | 101.927 | 0,0091 | 0,41 | - | - | 0,836 | 37.052 | 13.503,791 |
| 2c | 1 Axis Tracker - Bifacial - 14 Inv | 49.554 | 0,50% | 2.233 | 110.652 | 0,0091 | 0,45 | - | - | 0,815 | 36.522 | 14.582,552 |
| 3c | 1 Axis Tracker - Bifacial - 13 Inv | 46.908 | 0,50% | 2.242 | 105.177 | 0,0090 | 0,42 | - | - | 0,815 | 36.384 | 13.786,053 |
| 4c | 1 Axis Tracker - Bifacial - 13 Inv | 49.589 | 0,50% | 2.229 | 110.548 | 0,0090 | 0,45 | - | - | 0,803 | 36.099 | 14.453,923 |
| 5c | 1 Axis Tracker - Bifacial - 12 Inv | 47.424 | 0,50% | 2.240 | 106.222 | 0,0089 | 0,42 | - | - | 0,801 | 35.831 | 13.777,890 |
| 6c | 1 Axis Tracker - Bifacial - 12 Inv | 49.898 | 0,50% | 2.220 | 110.794 | 0,0089 | 0,44 | - | - | 0,791 | 35.716 | 14.394,144 |

| Results | |
|---------------------------------|-------|
| TIR | 7,00% |
| Power Plant Value (CF discount) | 42,89 |
| Equity investment | 39,47 |

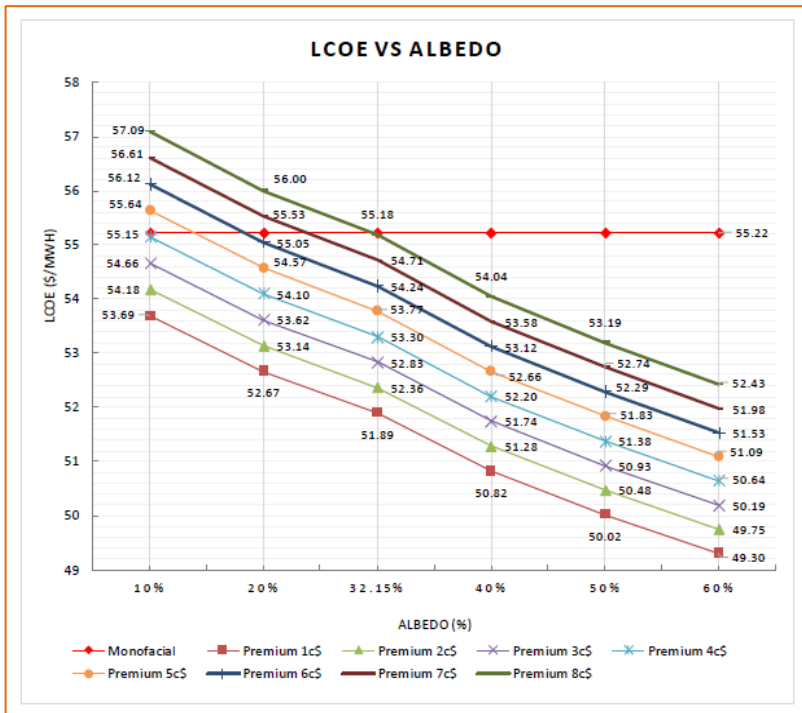
| Debt input | |
|--|--------------------|
| Interest during whole construction period | 0,00% |
| Maximum bankable leverage | 0,00% |
| Tenor (years) | 0,00 |
| Financial cost (assumed fixed interest rate) | 0,00% |
| Structuring and management fee | 0,00% |
| DSCR (Debt service coverage ratio) | 1,00 |
| DSRA (Debt service reserve account) | 0,00% |
| Initial debt (MUSD) | 0,00 |
| Leverage | 0% |
| Check | |
| Check | |
| Other Operational Costs | |
| Insurances | % over sales 3,00% |
| Administration Costs | 1,50% |
| Contingences | 0,80% |

| |
|---------------|
| OPEX Scenario |
| 14.394,14 |

2.- Optimización LCOE. CAPEX y OPEX

MODELO FINANCIERO → Cálculo LCOE

Análisis Real: Caso Práctico de ATA



Conclusiones:

- Considerando un precio de un módulo monofacial de 0.38 \$ / W y teniendo en cuenta que el albedo real del sitio es del 32.15%, **el Proyecto podría asumir un "premium cost" de 8c \$ sin reducir el nivel de rentabilidad** que se consideró para determinar el escenario optimizado (TIR = 6.5%).
- Para el mismo valor de LCOE, la TIR del Proyecto **aumentaría siempre** que el "Premium Cost" sea inferior a 8 c\$.
- El Proyecto con módulos bifaciales sería más rentable que el Proyecto con módulos monofaciales siempre y cuando el "premium Cost" sea inferior a 8c \$ (si los módulos monofaciales se pagan a 38c \$).

Tipología de Paneles FV → Optimización LCOE

1. Introducción Tecnológica Paneles FV
 - i. Módulos FV → Tendencias del Mercado
 - ii. Módulos PERC: Monofaciales y Bifaciales
2. Optimización LCOE. CAPEX y OPEX
 - i. CAPEX
 - Optimización Diseño Técnico (+ Producción)
 - Selección de Componentes Ppales (Paneles FV)
 - ii. OPEX
 - Optimización O&M
3. **Bancabilidad**
4. Conclusiones

3.- Bancabilidad

- Los módulos con células PERC se basan en una tecnología cuyos primeros pasos se empezaron a dar sobre **1983, aunque su plena implantación comercial no llega hasta hace pocos años atrás.**
- El **desconocimiento del mercado y dificultades en la validación de técnicas de predicción de producción** de Plantas con Módulos Bifaciales no ha contribuido a facilitar la bancabilidad de esta tecnología.
- Acciones y Retos de la Industria:
 - Control de calidad exhaustivo. Pruebas de verificación del factor de bifacialidad.
 - Mejorar predicciones de Producción: **MODELOS DE GARANTÍA FIABLES (Cálculo PR). Corrección por Tª y Albedo??**
- El número de Proyectos con Módulos PERC se ha incrementado notablemente en los últimos años.
- Recientemente se incorporan al mercado los módulos bifaciales → 2016



| Project | Sponsor | Location | Total Capacity MW | Bifacial Capacity MW | Module | Completed |
|------------------------|-------------------|-------------|-------------------|----------------------|--------|-----------------|
| Benban (Scatec) | Scatec | Egypt | 65 | 65 | LONGi | abril-19 |
| Zonnepark Rilland | Unisun / Jolywood | Netherlands | 11.7 | 11.7 | - | enero-19 |
| Guangdong Maoming | NA | China | 89.5 | 89.5 | - | junio-18 |
| Dalate | NA | China | 100 | 64 | - | diciembre-18 |
| Shanxi, Datong Gaoshan | NA | China | 100 | 59 | - | diciembre-18 |
| Shanxi Datong Hunyuan | NA | China | 100 | 57 | - | diciembre-18 |
| Guangdong Shaoguan | NA | China | 37.2 | 37.2 | -- | junio-18 |
| Jilin Baicheng | NA | China | 100 | 44 | - | diciembre-18 |
| Guangdong Zhaoqing | NA | China | 42 | 42 | - | junio-18 |
| Sichuan Ganzi | NA | China | 30 | 30 | - | junio-18 |
| Qinghai Golmud | NA | China | 100 | 5.5 | - | junio-17 |
| Qinghai Gonghe | NA | China | 110 | 5.5 | - | junio-17 |
| Qinghai, Golmud | NA | China | 20 | 20 | - | 2017(Delivered) |
| Rooftop Installation | NA | Oman | 0.66 | 0.66 | - | 2017(Delivered) |

Algunos desarrolladores están listos para construir plantas fotovoltaicas en México a escala comercial que suman más de 300 MW, otros 40 MW están en construcción en Brasil y otros promotores están desarrollando una planta fotovoltaica bifacial fija de 50 MW en China.

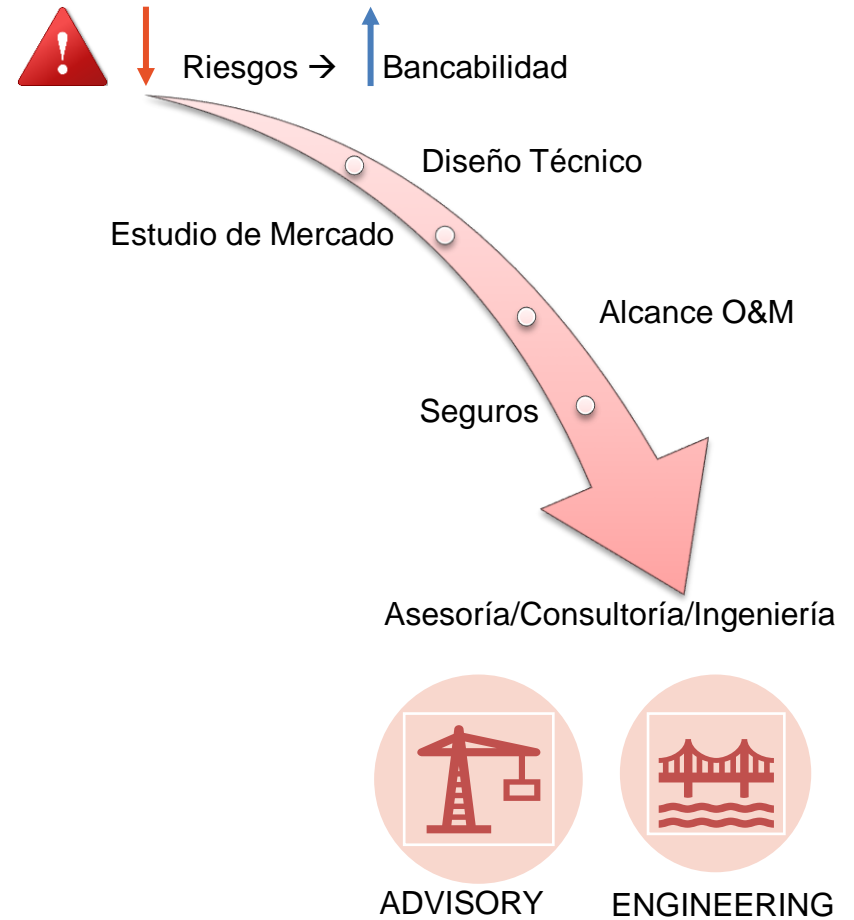
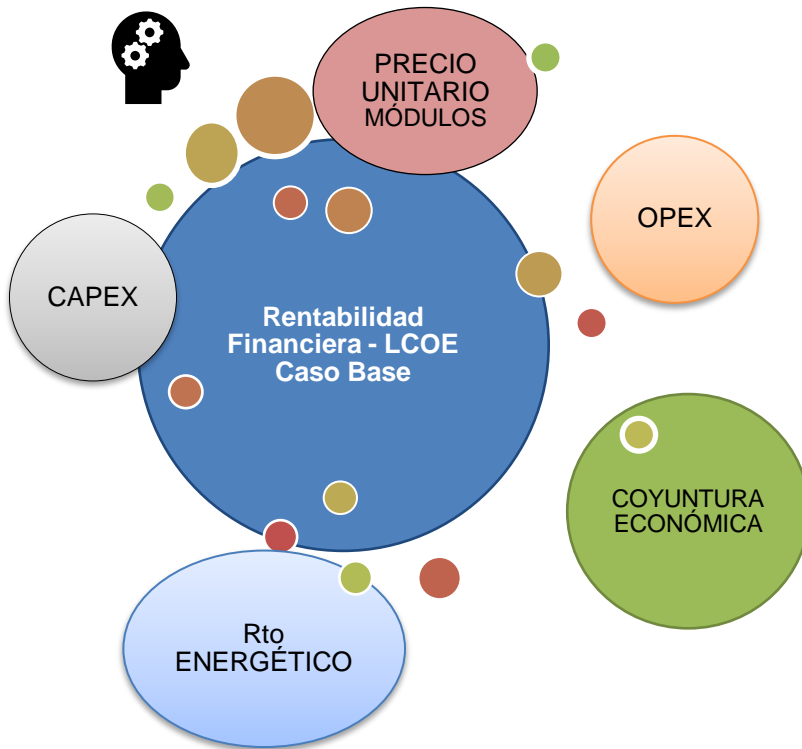
Bloomberg New Energy Finance predice que el mercado de módulos bifaciales alcanzará el 40% en 2025.



Tipología de Paneles FV → Optimización LCOE

1. Introducción Tecnológica Paneles FV
 - i. Módulos FV → Tendencias del Mercado
 - ii. Módulos PERC: Monofaciales y Bifaciales
2. Optimización LCOE. CAPEX y OPEX
 - i. CAPEX
 - Optimización Diseño Técnico (+ Producción)
 - Selección de Componentes Ppales (Paneles FV)
 - ii. OPEX
 - Optimización O&M
3. Bancabilidad
4. Conclusiones

4.- Conclusiones



Gracias por su Atención!

Contact us at:
info@ata.email

Headquarters (Spain)

c/ Serrano, 8 3º izda
28001 Madrid
Ph: +34 91 146 01 10

Mexico Office

Av. Paseo de la reforma
483, piso 14
Cuauhtémoc, 06500
Ciudad de México
Ph: +52 55 7316 2280

Chile Office

Av. Alonso de
Cordova, 5870 Oficina
1211
Las Condes, Santiago
Ph: +562 2945 4008

Italy Office

Corso Europa 15
20122 Milan
Ph: +39 379 115 6983

Australia Office

Level 24, Tower Three, International Towers
Sydney
300 Barangaroo Avenue, Sydney NSW 2000

ATA Renewables

Gonzalo Castro

Senior Consultant Engineer
gonzalo.castro@ata.email
+34 678 79 56 32