

Sesión 3: Técnicas de planificación espacial de la energía solar

Global Atlas de IRENA
Técnicas de planificación espacial
Curso de 2 días

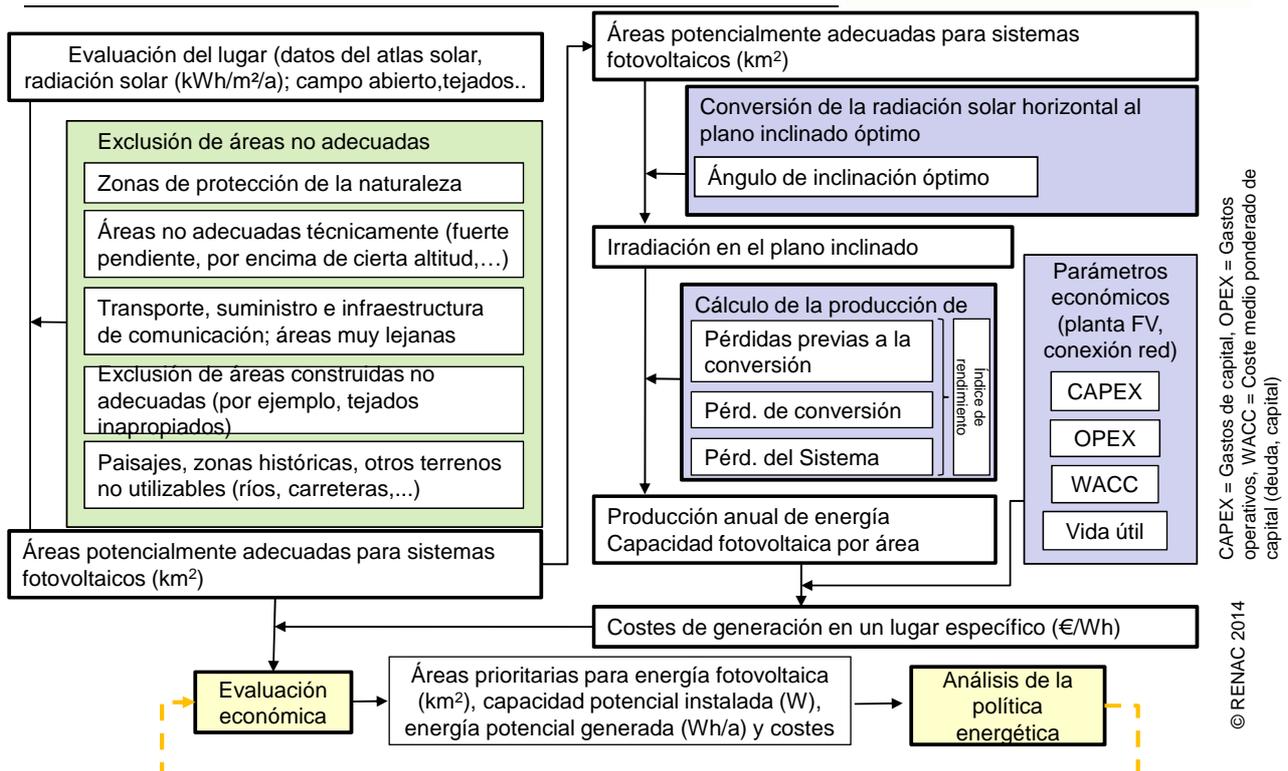
Cuestiones fundamentales que queremos contestar

- Tras haber identificado las áreas que están potencialmente disponibles para las energías renovables, queremos calcular...
 - cuál es la **capacidad fotovoltaica** solar potencial por km^2 y en total (W/km^2), y
 - **cuánta electricidad** ($\text{Wh}/\text{km}^2/\text{a}$) se puede generar en zonas con diferente disponibilidad de recursos solares.
- También necesitamos saber qué parámetros son los **más sensibles** a fin de identificar los parámetros de entrada más importantes.
- En esta sección, nos centraremos en sistemas fotovoltaicos conectados a red, pero también ofreceremos cifras útiles para ESC.

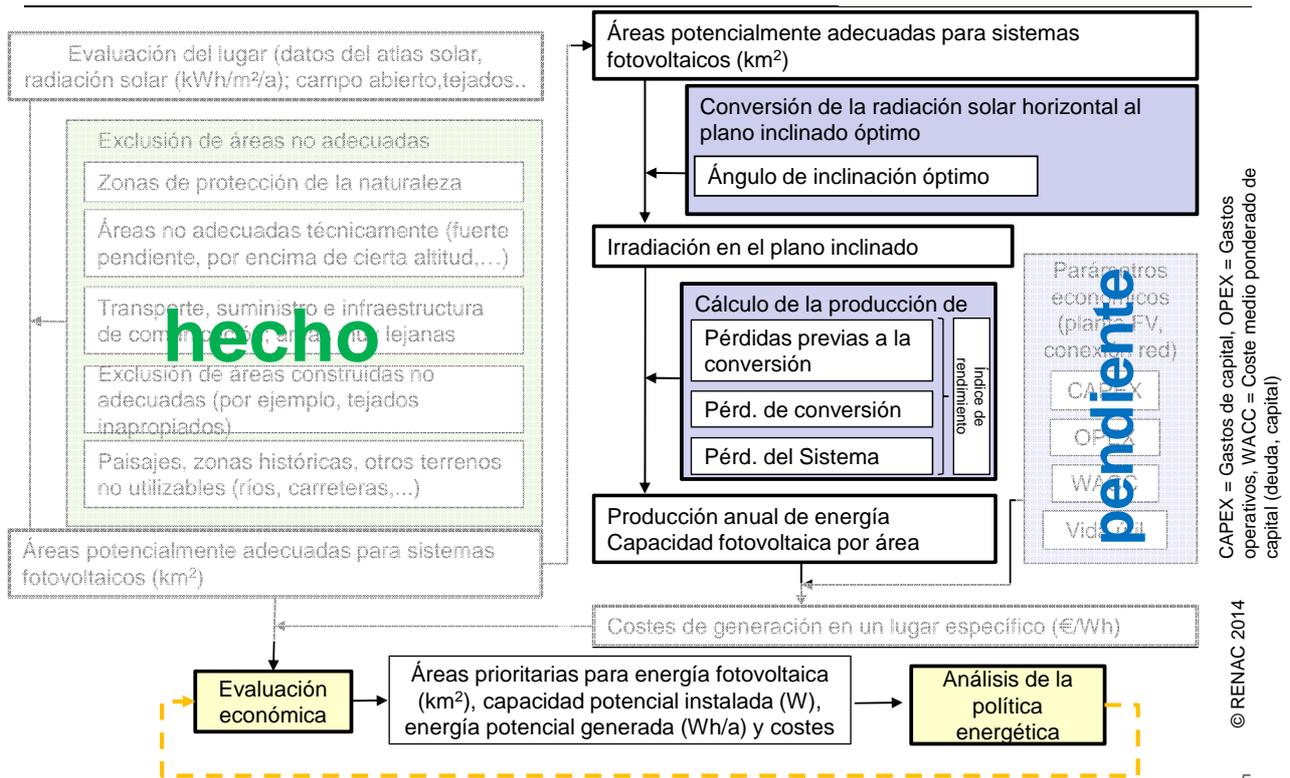
Contenidos

1. Recursos solares
2. Configuración espacial de plantas fotovoltaicas de gran escala
3. Cálculo del rendimiento eléctrico fotovoltaico
4. Ejemplo práctico: Cálculo de la capacidad y rendimiento fotovoltaicos de un emplazamiento determinado
5. Unas palabras sobre la ESC

3



4



1. RECURSOS SOLARES

Variación de la radiación solar

- La densidad de potencia de la radiación solar cuando los rayos del sol alcanzan la superficie terrestre se conoce como constante solar, y equivale a $1.366 \pm 7 \text{ W/m}^2$

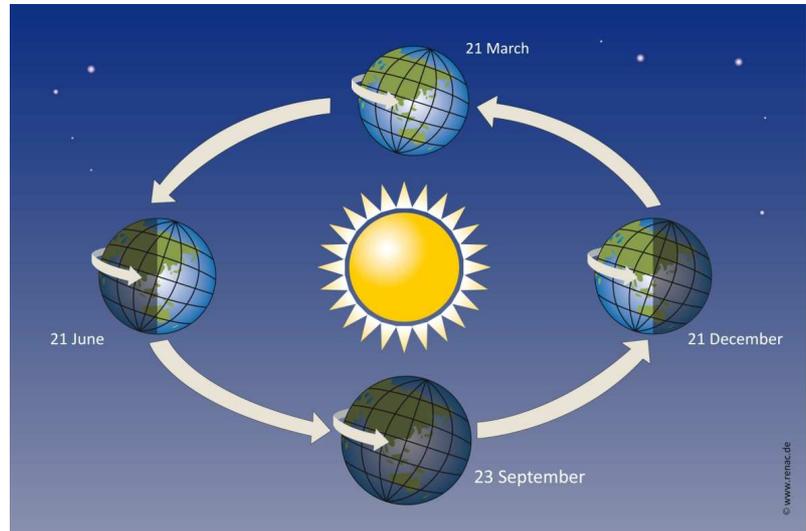
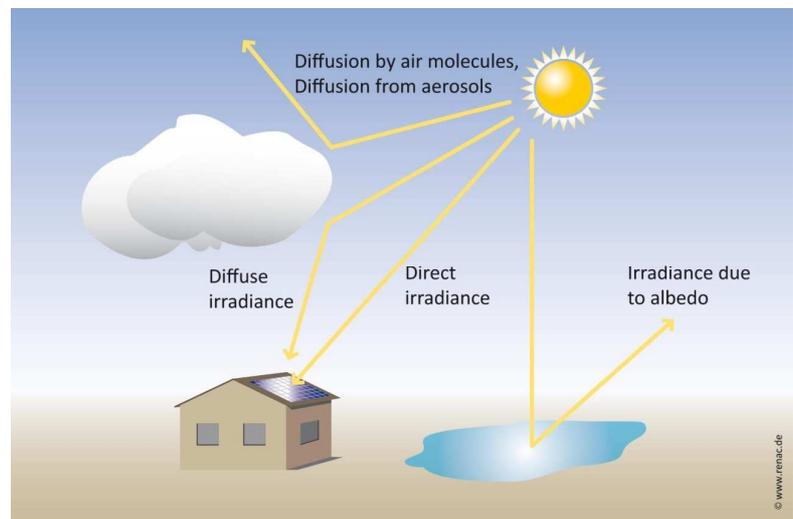


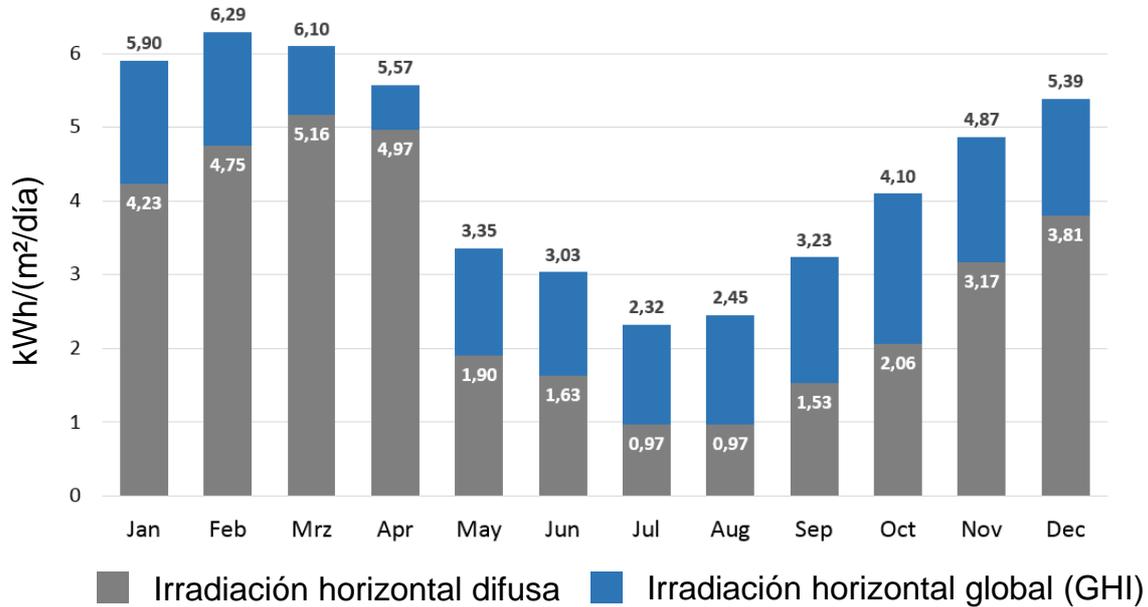
Gráfico: RENAC

Modelo de radiación de tres componentes

- La radiación global se compone de
 - radiación directa (procedente directamente del sol, arroja sombras)
 - radiación difusa (dispersa, sin dirección clara), y
 - radiación reflejada (albedo).



Irradiación solar – Lima, Perú



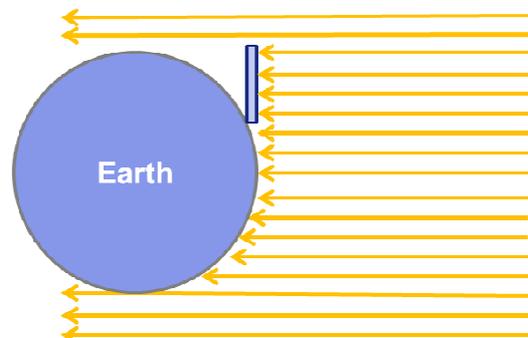
9

Irradiación horizontal global e irradiación en el plano inclinado

- Los datos sobre irradiación se suelen indicar como irradiación horizontal global (GHI)
- A medida que nos alejamos del Ecuador, se puede recibir más irradiación inclinando los módulos solares

Reglas generales:

1. Ángulo de inclinación respecto a la horizontal = Latitud del emplazamiento de la instalación fotovoltaica*
2. Ángulo mínimo de 10°...15° para evitar la acumulación de polvo y suciedad.



**En regiones con latitud >30°, el ángulo de inclinación suele ser de entre 5° y 20° menos que la latitud. Cuanto mayor sea la latitud, mayor el valor sustraído.*

10

2. CONFIGURACIÓN ESPACIAL DE PLANTAS FV DE GRAN ESCALA

11

¿Cuánta potencia (MWp) podemos encajar en un km²...

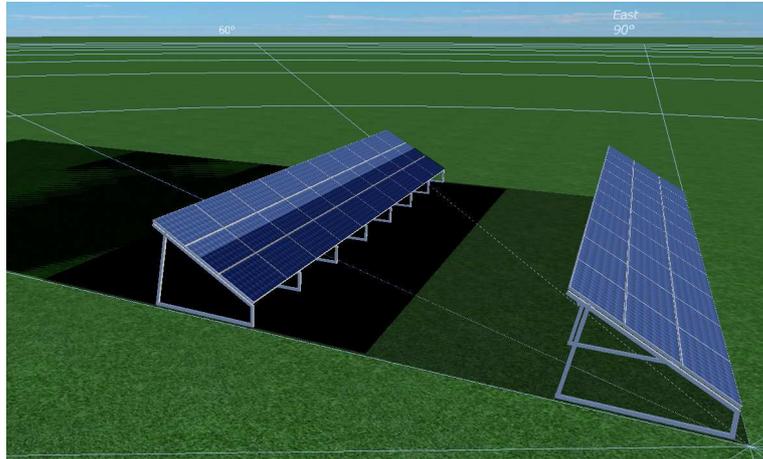


Fuente: Albrecht Tiedemann

12

...y limitar las sombras excesivas?

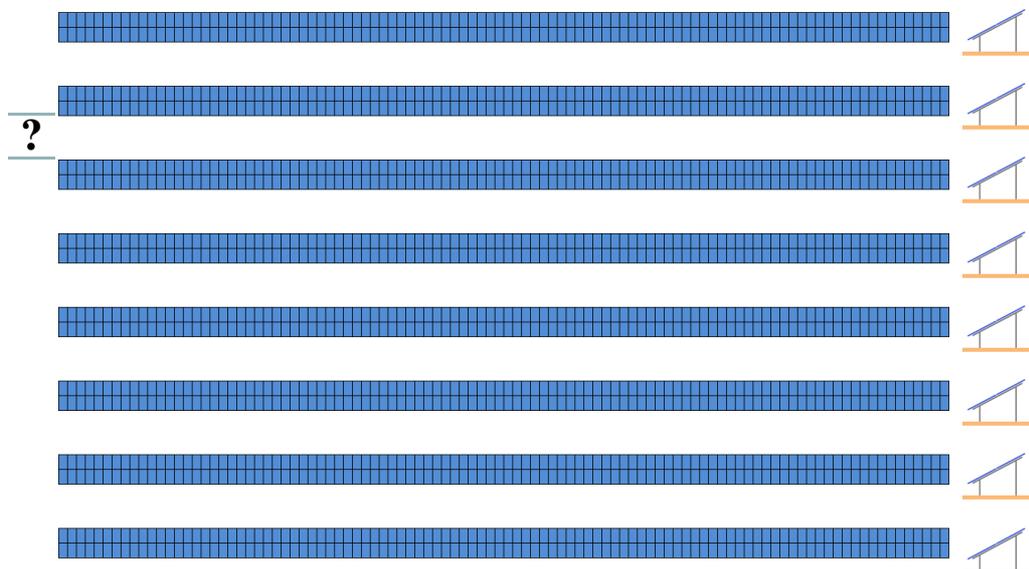
- Las hileras de módulos fotovoltaicos pueden ensombrecer parcialmente los módulos de las hileras de detrás.
- La única hilera que no se ve afectada por esto es la primera.



Fuente: RENAC (simulación realizada utilizando PV*SOL premium 7.0)

13

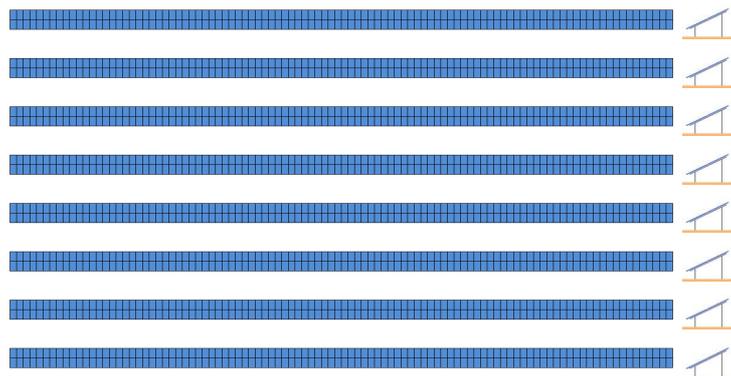
¿Cuánto espacio hay que dejar entre las hileras?



14

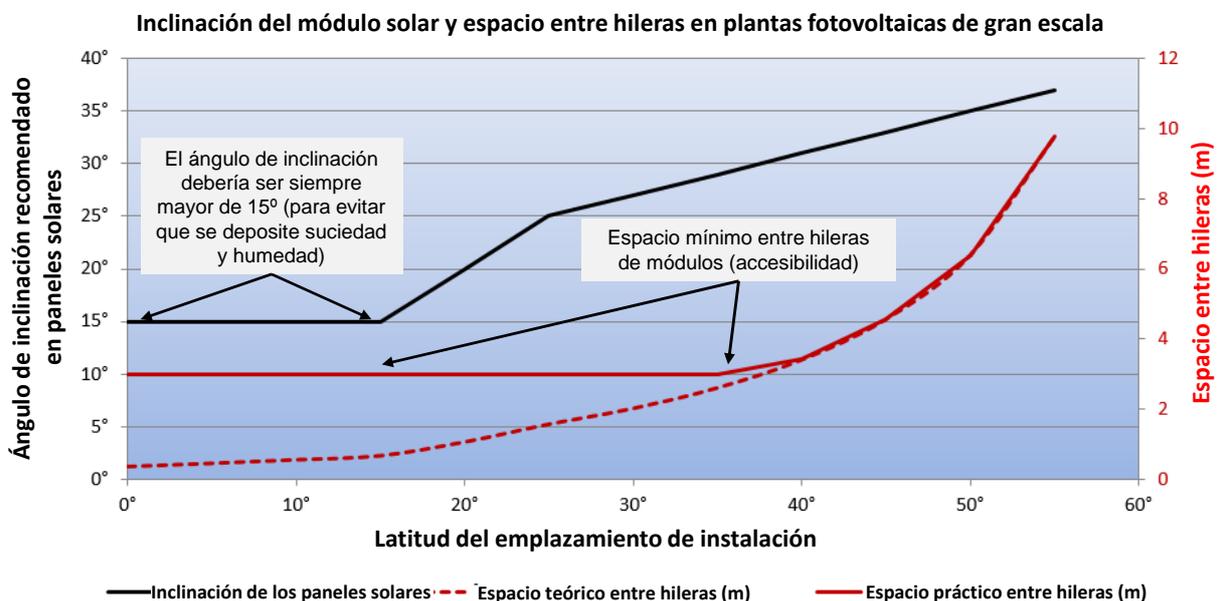
¿Cuánto espacio hay que dejar entre las hileras?

- El espacio entre hileras dependerá de:
 - La latitud (recorrido del sol)
 - La inclinación de los paneles solares
 - La disposición de los paneles solares en la estructura de montaje
 - El espacio mínimo necesario para el mantenimiento (debería caber un coche/camioneta)



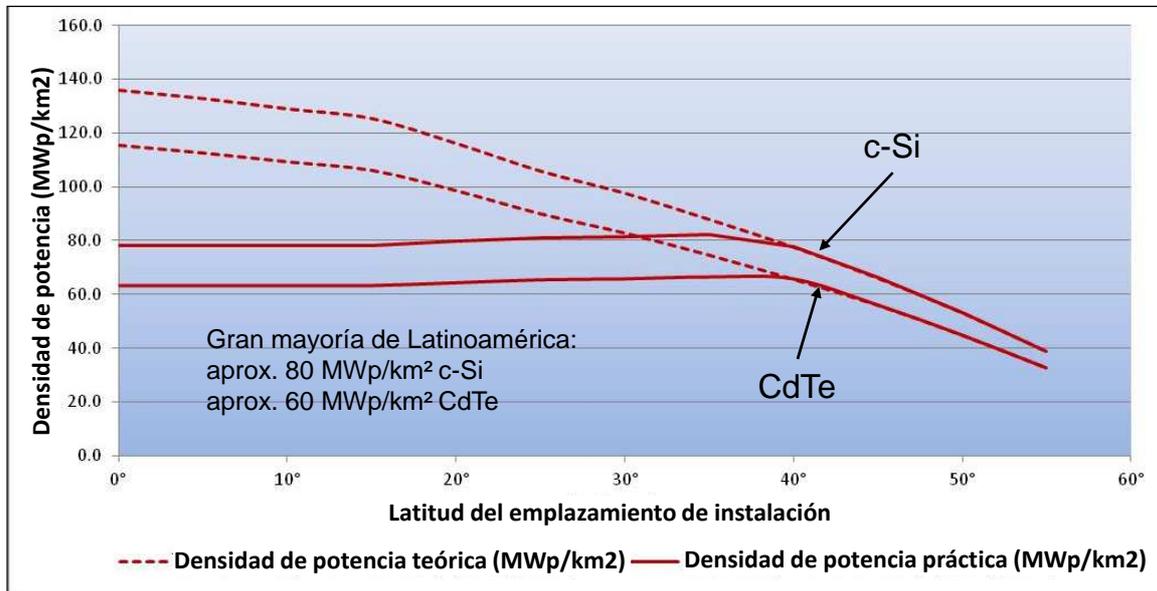
15

Inclinación de los paneles solares y espacio entre hileras



16

Densidad de potencia de plantas fotovoltaicas de gran escala



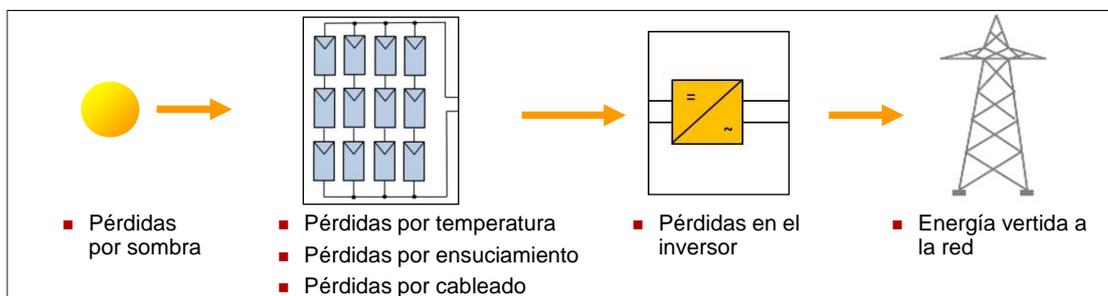
17

3. CÁLCULO DEL RENDIMIENTO ELÉCTRICO FV

18

Rendimiento de un sistema solar fotovoltaico

- La cuestión fundamental que hay que responder es cómo de eficaz es el sistema y cuánta electricidad vierte a la red el sistema fotovoltaico
- Se producen pérdidas de energía en todas las fases de la conversión de la energía solar hasta que se vierte en la red la electricidad de CA
 - Pérdidas previas al generador fotovoltaico
 - Pérdidas del generador fotovoltaico (pérdidas térmicas y de los módulos)
 - Pérdidas del sistema
- La tarea de los ingenieros de diseño es optimizar la planta y maximizar el rendimiento energético reduciendo las pérdidas



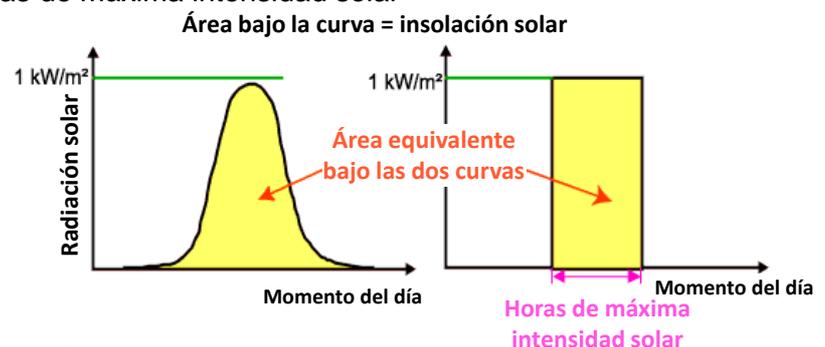
19

Índice de rendimiento como medida de la calidad de una planta fotovoltaica

- El índice de rendimiento IR define el rendimiento global de una planta solar fotovoltaica
- Se calcula como la relación entre la energía que realmente se ha generado (E_{real}) y la energía que teóricamente se habría generado (E_{ideal}):

$$IR = E_{real} / E_{ideal}$$

- ¿Cómo calcular el rendimiento energético ideal E_{ideal} ?
 - Con el método de las horas de máxima intensidad solar



Estimación del rendimiento eléctrico de una planta fotovoltaica utilizando índices de rendimiento previstos

- Nota: ¡Esto sólo sirve para cálculos aproximados!
- Rendimiento eléctrico de un sistema fotovoltaico:

$$E = h \cdot n_{pre} \cdot n_{rel} \cdot n_{sys} \cdot P_{nom} = h \cdot PR \cdot P_{nom}$$

- h Horas de máxima intensidad solar
- n_{pre} Eficiencia previa a la conversión
- n_{sys} Eficiencia del sistema
- n_{rel} Eficiencia relativa
- P_{nom} Potencia nominal en condiciones normales de prueba

- 'h' son las horas de máxima intensidad solar, unidad: horas (¡no confundir con horas de sol!)

Horas de máxima intensidad solar = Irradiación anual en kWh/(m²*a) / 1000 W/m²

21

Ejemplo práctico:

4. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD Y RENDIMIENTO FV DE UN EMPLAZAMIENTO DETERMINADO

22

Cálculo del rendimiento energético fotovoltaico en Lima

- Pasos seguidos:
 - 1) Obtener los datos de irradiación horizontal global en el Atlas Global
 - 2) Calcular el rendimiento eléctrico específico (kWh/kWp)
 - 3) Calcular la capacidad fotovoltaica y el potencial de producción de energía solar por km² en la ubicación dada



Fuente: Atlas Global de IRENA

23

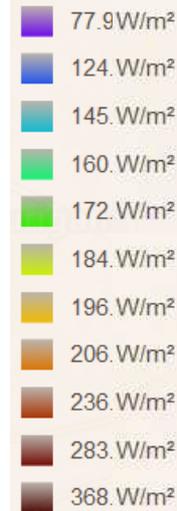
→ Ejercicio con papel y lápiz (empezar)

Obtención de la irradiación horizontal global

- Irradiancia horizontal global media por hora de ??? W/m²
¿Irradiación hor. glob. anual? = ??? kWh/m²/a



3TIER's Global Solar Dataset
3km with units in W/m²



Fuente: Atlas Global de IRENA

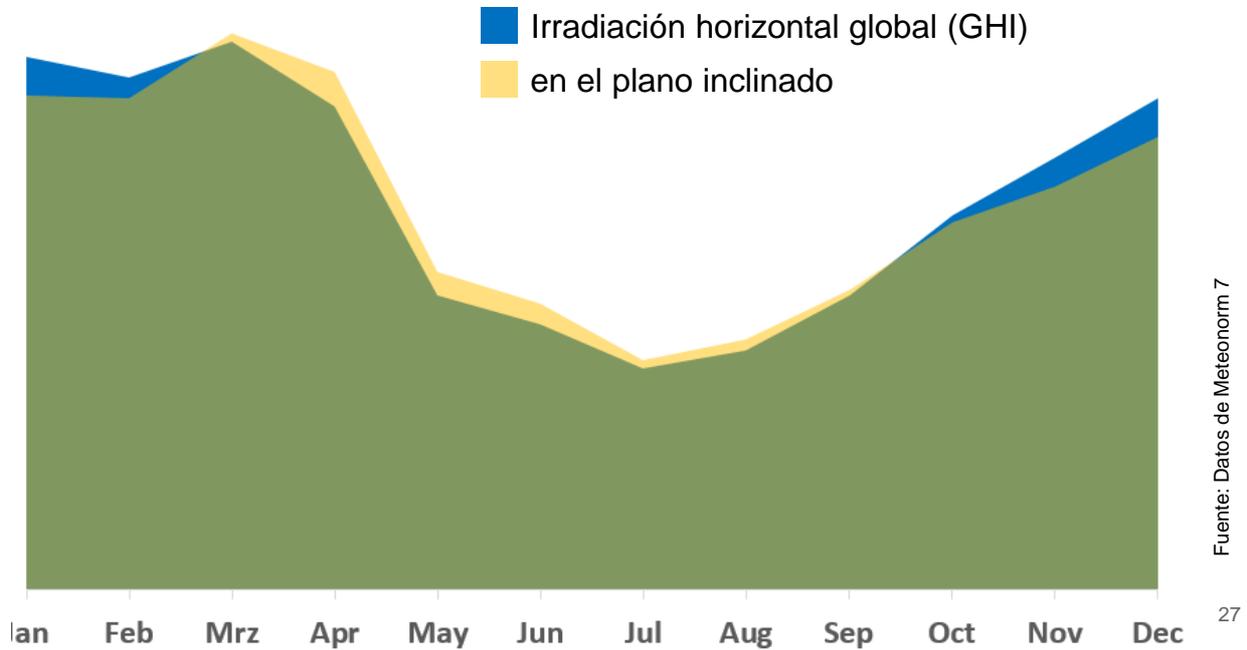
25

Ajuste de la irradiación horizontal (GHI) a la irradiación en el plano inclinado

- Coordenadas del lugar elegido en Lima: 12,05° S y 77,05° O.
- El ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos en esta ubicación debería ser de unos 15°.
- Irradiación horizontal global en esta ubicación: 1.600 kWh/m²/a de irradiación horizontal global. En esta latitud, la irradiación en el plano inclinado es más o menos igual que la irradiación horizontal global. No obstante, la distribución mensual de la energía será diferente (ver la diapositiva siguiente).
- Para otras ubicaciones se pueden utilizar herramientas online o bases de datos profesionales, como Meteonorm, para averiguar el ángulo de inclinación óptimo y su valor de irradiación resultante.
- Irradiancia en el plano de inclinación óptimo de los módulos: = ??? kWh/m²/a**

26

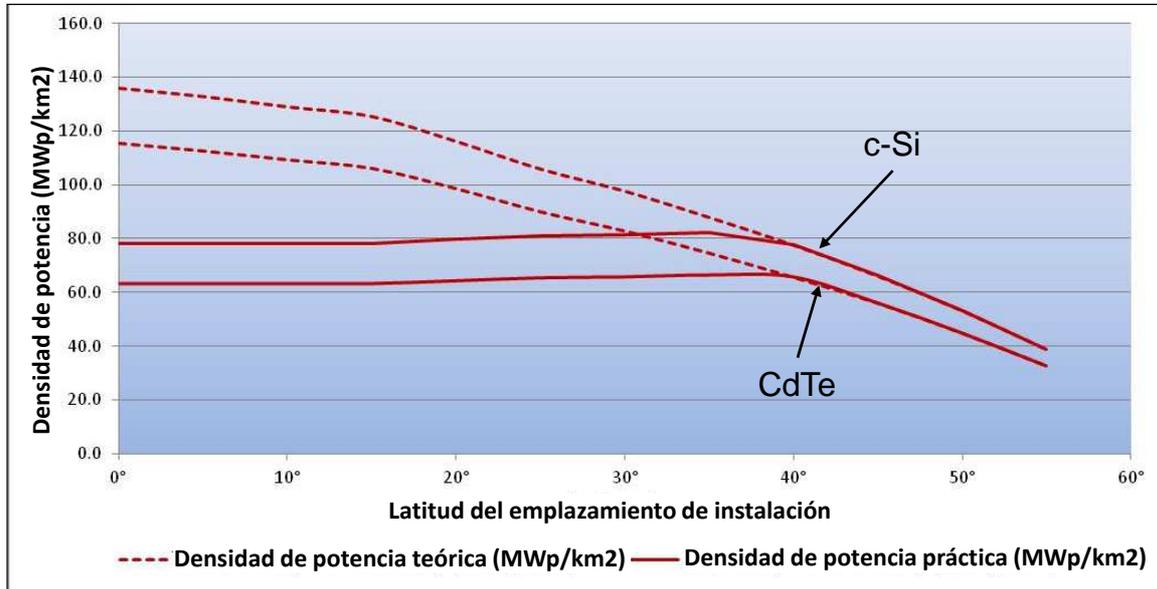
Distribución mensual de la irradiación solar (en Lima)



Cálculo del rendimiento eléctrico fotovoltaico específico

- Supuestos*:
 - Matrices independientes
 - IR de los módulos c-Si = 75%
 - IR de los módulos CdTe = 78% (principalmente debido a una menor sensibilidad a la temperatura)
- Horas de máxima intensidad solar anual = ???
- Cálculo de la producción eléctrica anual:
 - c-Si: = ??? kWh/kWp/a
 - CdTe: = ??? kWh/kWp/a

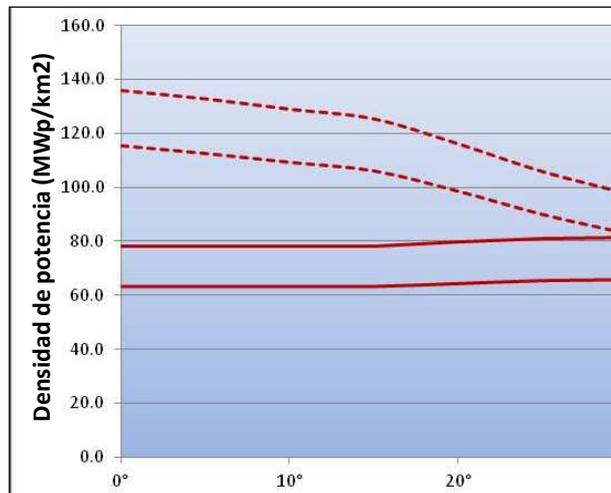
Densidad de potencia de plantas FV de gran escala



29

Cálculo de la energía por km² y factor de capacidad

- c-Si:
 - = ??? GWh/km²/a
- CdTe:
 - = ??? GWh/km²/a
- Factor de capacidad:
 - = ???%

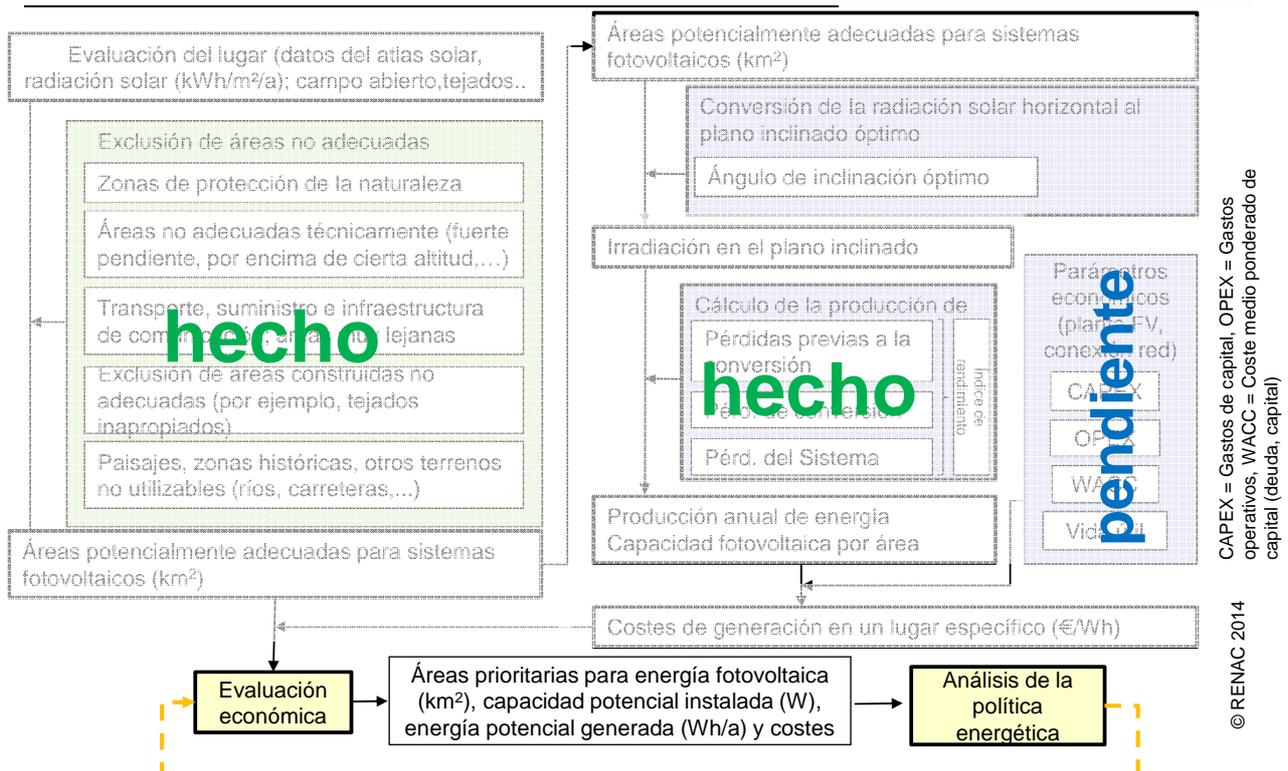


30

Recuerden

- El ejemplo práctico anterior es sólo un cálculo aproximado, y los resultados sólo son válidos para los supuestos dados (instalación en campo abierto, tipos de módulos, datos de recursos solares, supuestos sobre el índice de rendimiento, etc.)
- Algunos factores que podrían influir en la producción de electricidad y que aquí no se han tenido en cuenta específicamente son, por ejemplo: suciedad importante en los módulos, sombras proyectadas por otros objetos, pérdidas adicionales por la temperatura si la ventilación es menor que en el caso de las matrices independientes (por ejemplo, instalación en paralelo sobre cubierta), etc.

31



CAPEX = Gastos de capital, OPEX = Gastos operativos, WACC = Coste medio ponderado de capital (deuda, capital)

© RENAC 2014

32

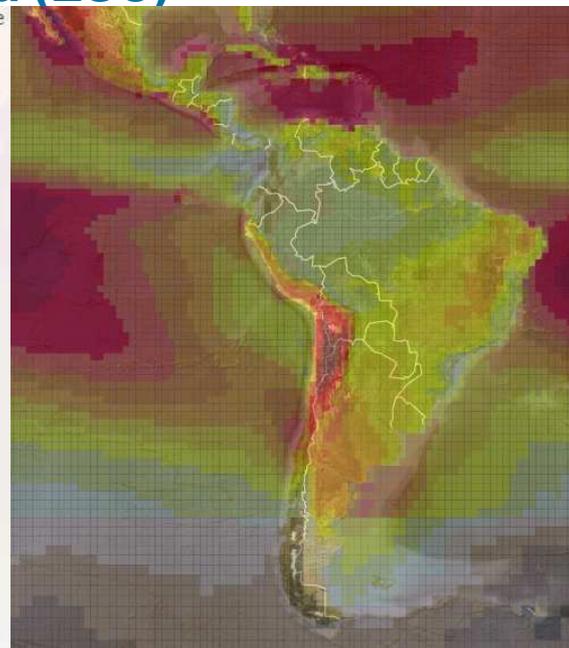
5. UNAS PALABRAS SOBRE LA ESC

33

Requisitos geográficos y de irradiación para la energía solar concentrada (ESC)

- El mapa muestra la irradiación normal directa (IND) en kWh/m²/día
- La ESC no sólo necesita elevados niveles de IND, (se considera económicamente viable > 2.000 kWh/m²/año), sino también un terreno plano y suficiente suministro de agua

Global NASA SSE 1 Degree 2008

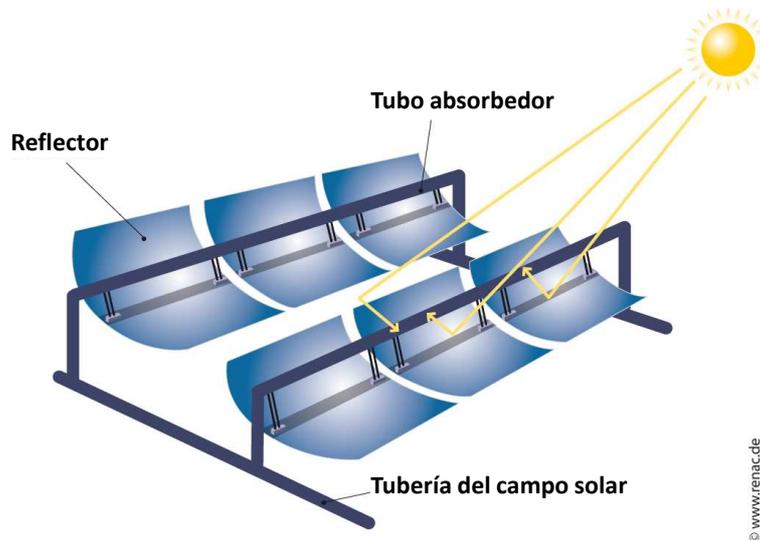


Mapa: Atlas Global de IRENA; datos de la NASA

34

Colector cilíndrico parabólico: principios de funcionamiento

- Un espejo parabólico sigue el recorrido del sol en un eje y refleja la irradiación normal directa sobre el elemento colector térmico



Planta eléctrica de concentradores cilíndricos parabólicos

- Temperatura de servicio: Entre 300°C y 500°C
- Factor de concentración 70 - 90
- Fluido de transferencia térmica: aceite térmico, vapor directo, sal fundida
- Potencia típica: Entre 50 y 400 MW_{el} (para un campo solar para 50 MW_{el} en 500.000 m² de área de apertura)
- Estrictos requisitos de calidad en la fabricación: ¡El sistema deberá estar alineado para seguir el sol con una precisión de 0,1°!

Torre solar

- La radiación solar es reflejada por los heliostatos (grandes reflectores de acero) hacia un receptor (intercambiador de calor) situado en la parte superior de la torre solar.
- Aquí el calor calienta el agua que, convertido en vapor, alimenta un generador de vapor que genera electricidad.

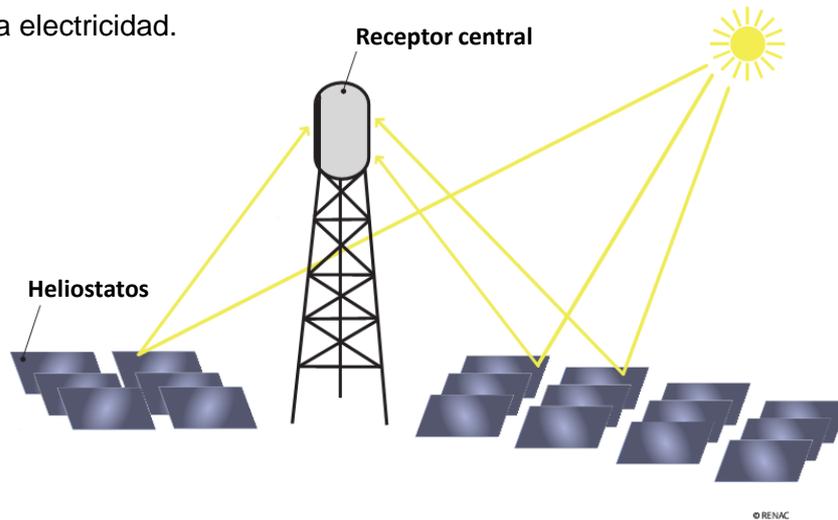


Gráfico: RENAC
37

Plantas de ESC: Costes y tendencias de costes

- El coste nivelado de electricidad (LCOE) de las plantas de energía solar concentrada varía mucho en función de:
 - la tecnología
 - la ubicación de la planta, es decir, los niveles de irradiación
 - el nivel de almacenamiento térmico, es decir, los factores de capacidad
- En el año 2012, IRENA predijo un potencial de reducción adicional del LCOE del 45-60% para el 2025

Tecnología	LCOE estimado
Concentrador cilíndrico parabólico ¹⁾ (IND: 2.000 – 2.500 kWh/m ² *a; IR=90%)	0,15–0,20 EUR ₂₀₁₃
Torre solar ²⁾	0,12–0,21 EUR ₂₀₁₁ /kWh
Fotovoltaica ¹⁾ (servicio público; 2.000 kWh/m ² *a; IR=85%)	media: 0,08 EUR ₂₀₁₃ /kWh

Fuentes: 1) Instituto Fraunhofer para Sistemas de Energía Solar ISE: Coste nivelado de electricidad - tecnologías de energía

¡Muchas gracias por su atención!

Lars Koerner

Renewables Academy (RENAC)

Teléfono +49 30 52 689 58-81

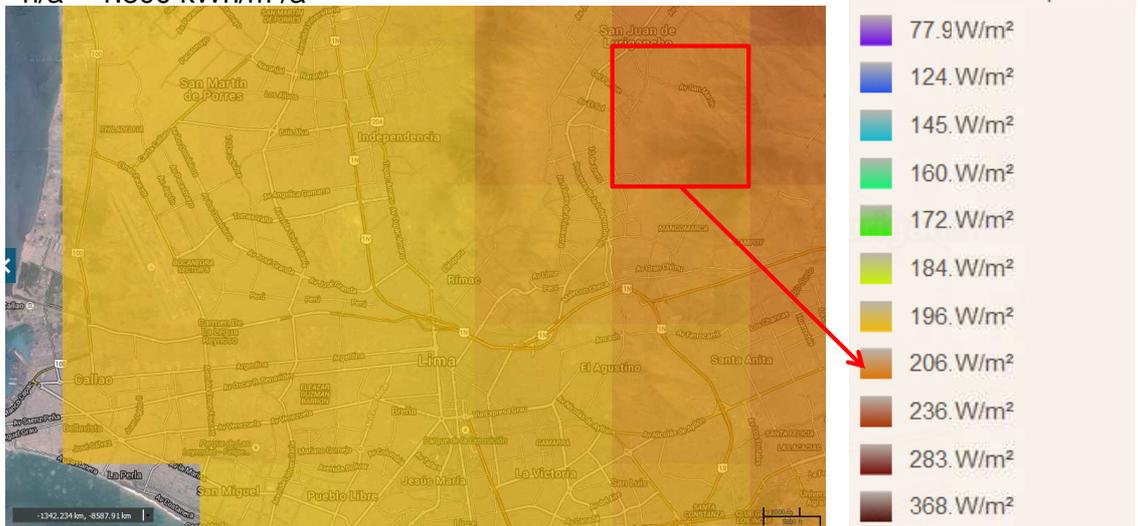
koerner@renac.de

www.renac.de

→ **Soluciones**

Obtención de la irradiación horizontal global

- Irradiancia horizontal global media por hora de 206 W/m^2
Irradiancia horizontal global anual = $206 \text{ W/m}^2 \cdot 8.760$
 $h/a = 1.800 \text{ kWh/m}^2/a$



41

Ajuste de la irradiación horizontal a la irradiación en el plano inclinado

- No es aplicable para nuestro emplazamiento en Lima para los valores anuales.
- Para otras latitudes, consultar herramientas/software/bases de datos online para convertir la irradiancia horizontal global en valores para el plano inclinado.

42

Cálculo del rendimiento eléctrico fotovoltaico específico

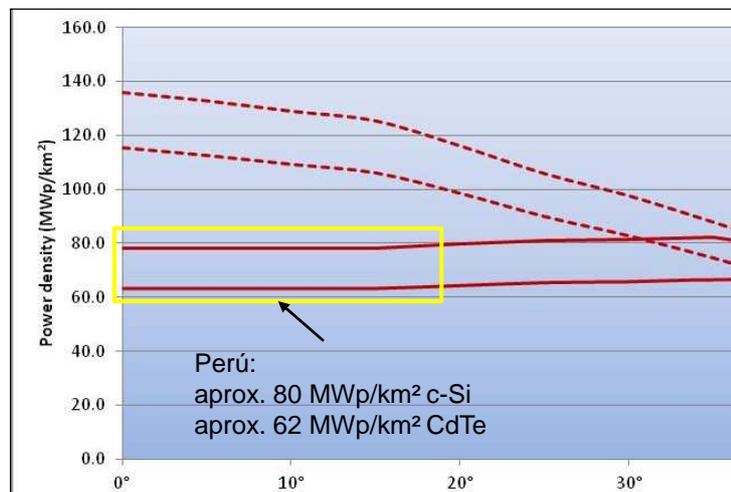
- Supuestos*:
 - Matrices independientes
 - IR de los módulos c-Si = 75%
 - IR de los módulos CdTe = 78% (principalmente debido a una menor sensibilidad a la temperatura)
- Horas de máxima intensidad solar al año = $(1.800 \text{ kWh/m}^2/\text{a}) / (1.000 \text{ W/m}^2) = 1.800 \text{ h/a}$
- Cálculo de la producción eléctrica:
 - c-Si: $1\text{kWp} * 75\% * 2.330 \text{ h/a} \approx \mathbf{1.350 \text{ kWh/kWp/a}}$
 - CdTe: $1\text{kWp} * 78\% * 2.330 \text{ h/a} \approx \mathbf{1.400 \text{ kWh/kWp/a}}$

*IR: cálculos nuestros

43

Cálculo de la energía por km² y factor de capacidad

- c-Si:
 - $80 \text{ MWp/km}^2 * 1.350 \text{ MWh/MWp/a} = \mathbf{108 \text{ GWh/km}^2/\text{a}}$
- CdTe:
 - $60 \text{ MWp/km}^2 * 1.400 \text{ MWh/MWp/a} = \mathbf{84 \text{ GWh/km}^2/\text{a}}$



44