

# GRANDES CENTRALES FOTOVOLTAICAS: PRODUCCIÓN, SEGUIMIENTO Y CICLO DE VIDA

OSCAR PERPIÑÁN LAMIGUEIRO<sup>1</sup>

Director: Prof. Dr. EDUARDO LORENZO FIGUEIRAS<sup>2</sup>

Co-directores: Prof. Dr. MANUEL-ALONSO CASTRO GIL<sup>3</sup>

Dr. RAMÓN EYRAS DAGUERRE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ISOFOTON S.A.

<sup>2</sup>IES-UPM

<sup>3</sup>DIEEC-UNED

DPTO. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
DE CONTROL  
ETSII-UNED

2 de Abril de 2008

# ÍNDICE

## 1 INTRODUCCIÓN

## 2 PROYECTOS

## 3 CÁLCULO DE ENERGÍA

- Comportamiento estocástico de la radiación
- Métodos de estimación de energía
- Representatividad de series de radiación

## 4 SEGUIMIENTO SOLAR

- Ecuaciones de seguimiento
- Cálculo de producción
- Sombras mutuas

## 5 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

## 6 CONCLUSIONES

- Aportaciones
- Trabajos futuros

## OBJETIVO

Establecer recomendaciones de carácter universal para la adecuada implantación de plantas fotovoltaicas multimegawattios:

- Estimar⇒Energía producida por un SFCR
- Diseñar⇒Seguimiento y Sombras
- Entender⇒Análisis del Ciclo de Vida

# ÍNDICE

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 PROYECTOS
- 3 CÁLCULO DE ENERGÍA
  - Comportamiento estocástico de la radiación
  - Métodos de estimación de energía
  - Representatividad de series de radiación
- 4 SEGUIMIENTO SOLAR
  - Ecuaciones de seguimiento
  - Cálculo de producción
  - Sombras mutuas
- 5 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA
- 6 CONCLUSIONES
  - Aportaciones
  - Trabajos futuros

## SFCR PHOTOCAMPA

- Sección de 5 000 m<sup>2</sup> de una Campa de almacenamiento de vehículos en el Puerto de Tarragona.
- Generador de 318 kWp.
- 2 992 módulos I-106.
- Estructuras metálicas tipo aparcamiento.
- Inclinación de 12°.



## SFCR FORUM

- Generador fotovoltaico de 3 410 m<sup>2</sup>, 443,2 kWp.
- 2 686 módulos I-165 con Tedlar transparente y sin marco.
- La altura máxima de la estructura alcanza los 54 metros sobre el nivel del mar.



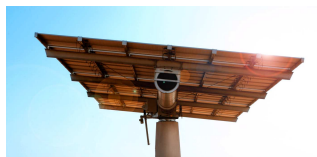
# SFCR CARMONA

## DESCRIPCIÓN

- Extensión de 47 ha. Potencia total de 6,02 MWp.
- Tres agrupaciones independientes de potencia nominal de 1 875 MW. Cada agrupación está formada por 19 sistemas
  - 18 Sistemas con una potencia nominal de 100 kW (4 Seguidores)
  - 1 Sistema de 75 kW de potencia (3 Seguidores).

## SFCR CARMONA

- 225 seguidores.
- 87 RUMBO25 con módulo IS-207 (27,3 kWp).
- 138 ISOTRACK25 con módulo IS-200 (26,4 kWp).
- Inversor de 25 kW alojado en el fuste del propio seguidor.





# ÍNDICE

## 1 INTRODUCCIÓN

## 2 PROYECTOS

## 3 CÁLCULO DE ENERGÍA

- Comportamiento estocástico de la radiación
- Métodos de estimación de energía
- Representatividad de series de radiación

## 4 SEGUIMIENTO SOLAR

- Ecuaciones de seguimiento
- Cálculo de producción
- Sombras mutuas

## 5 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

## 6 CONCLUSIONES

- Aportaciones
- Trabajos futuros

# INTRODUCCIÓN

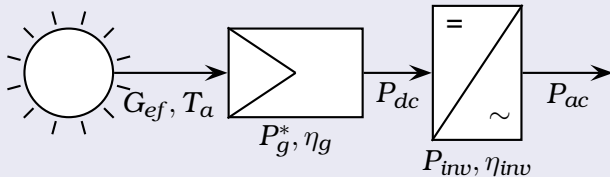
- La energía producida a lo largo de un determinado periodo puede ser estimada a partir del valor medio de la radiación efectiva incidente en el generador, asumiendo el conocimiento de ciertas características básicas del sistema en estudio.
- El valor resultante de esta estimación está sometido a un cierto grado de incertidumbre debido a la componente aleatoria de la radiación solar.

# INTRODUCCIÓN

- Este comportamiento aleatorio está definido por dos características principales:
  - La distribución de valores que presenta la radiación solar durante un periodo está determinada por el valor promedio de la radiación durante ese periodo.
  - El valor de radiación diaria está determinado en gran medida por el valor correspondiente al día anterior.

# INTRODUCCIÓN

- Los métodos de estimación de energía se basan en estas dos características:
  - A partir de doce valores de radiación diaria media mensual se generan días promedio para cada mes o secuencias de valores para todos los días del año.
  - A estos valores generados se les aplica una secuencia de transformaciones para calcular la energía anual producida por el SFCR:
    - Inclinación y orientación del generador
    - Características del generador fotovoltaico (potencia nominal y comportamiento con la temperatura)
    - Características del inversor (potencia nominal y curva de eficiencia)

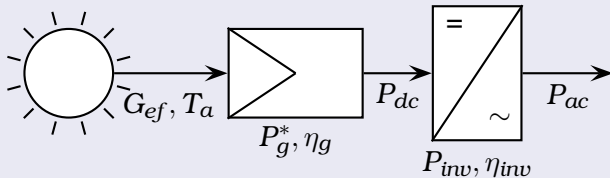


## GENERADOR FOTOVOLTAICO

$$P_{dc} = P_g^* \frac{G_{ef} \eta_g}{G^* \eta_g^*}$$

$$\frac{\eta_g}{\eta_g^*} = 1 - \frac{dV_{oc}}{dT_c} \cdot (T_c - T_c^*)$$

$$p_i = \frac{P_{dc}}{P_{inv}}$$

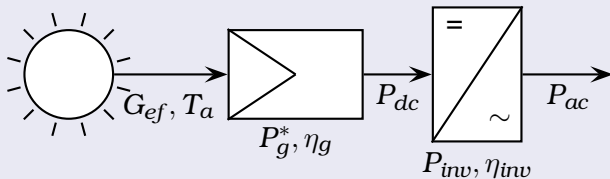


## POTENCIA DE ENTRADA

$$p_i = A_{1,g} G_{ef} + A_{2,g} G_{ef}^2$$

$$A_{1,g} = \frac{F_{di}}{G^*} \left[ 1 - \frac{dV_{oc}}{dT_c} (T_a - T_c^*) \right]$$

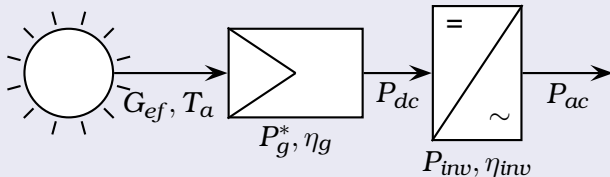
$$A_{2,g} = -\frac{F_{di}}{G^*} \frac{dV_{oc}}{dT_c} C_T$$



## PERDIDAS EN EL INVERSOR

$$\eta_{inv} = 1 - \frac{p_L}{p_i}$$

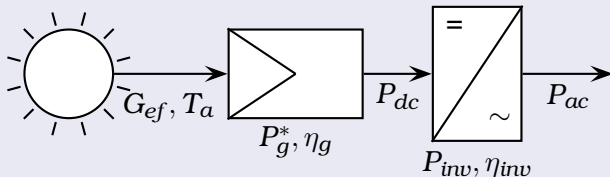
$$p_L = k_0^i + k_1^i p_i + k_2^i p_i^2$$



## PERDIDAS EN EL INVERSOR

$$p_L = \sum_{n=0}^4 A_{n,L} G_{ef}^n$$





## PERDIDAS EN EL INVERSOR

$$A_{0,L} = k_0^i$$

$$A_{1,L} = k_1^i A_{1,g}$$

$$A_{2,L} = k_1^i A_{2,g} + k_2^i A_{1,g}^2$$

$$A_{3,L} = 2k_2^i A_{1,g} A_{2,g}$$

$$A_{4,L} = k_2^i A_{2,g}^2$$

# ECUACIONES

## DOMINIO DE LA IRRADIANCIA

$$E_{dc} = P_{inv} T \int_G p_i(G) f_{G_{ef}}(G) dG$$

$$E_{dc} = P_{inv} T \left( A_{1,g}^y \int_G G_{ef} f_{G_{ef}}(G) dG + A_{2,g} \int_G G_{ef}^2 f_{G_{ef}}(G) dG \right)$$

$$E_L = P_{inv} T \left\{ \sum_{n=0}^4 A_{n,L} \left[ \int_G G_{ef}^n f_{G_{ef}}(G) dG \right] \right\}$$

# ECUACIONES

## MOMENTOS ESTADÍSTICOS

$$m_n = \int_G G^n f_G(G) dG$$

$$m_n = \frac{\sum_G G^n}{N_s}$$

# ECUACIONES

## MÉTODO DE LOS MOMENTOS

$$E_{dc} = P_{inv} T (A_{1,g} m_1 + A_{2,g} m_2)$$

$$E_L = P_{inv} T \sum_{n=0}^4 A_{n,L} m_n$$

$$E_{ac} = P_{inv} T \sum_{n=0}^4 A_{n,ac} m_n$$

# VALIDACIÓN

## PHOTOCAMPA

Energía	Estimación (kWh)	Medida (kWh)	Diferencia (%)
$E_{dc}$	95 249	93 361	2,02
$E_L$	9 677	9 623	0,44
$E_{ac}$	85 572	83 737	2,22

# VALIDACIÓN

## ESTACIÓN DE MEDIDA EXTERNA

- *Predicción* de energía a partir de una base de datos de radiación global en el plano horizontal
  - Distante en el espacio (10 km) y en el tiempo (5 años).
  - Transformación de plano horizontal a inclinado.
  - La evolución de la sociedad se puede aproximar como una constante.

# VALIDACIÓN

## ESTACIÓN DE MEDIDA EXTERNA

Paso	Método
Descomposición de irradiación global diaria horizontal en Difusa y Directa.	Correlación entre fracción de difusa con índice de claridad, según ecuación de Collares-Pereira y Rabl.
Estimación de irradiancia a partir de irradiación diaria.	Ratio de irradiancia global a irradiación global diaria según Collares-Pereira y Rabl.

# VALIDACIÓN

## ESTACIÓN DE MEDIDA EXTERNA

Paso	Método
Estimación de irradiancia en superficie inclinada a partir de componentes de irradiancia horizontal.	Método de Hay y Davies.
Irradiancia de albedo.	Irradiancia difusa isotrópica con factor de reflexión 0,2.
Efectos de suciedad y pérdidas angulares por incidencia no perpendicular.	Ecuaciones propuestas por N. Martín y J.M. Ruiz (grado bajo de suciedad)



# VALIDACIÓN

## FORUM

Energía	Estimación (kWh)	Medida (kWh)	Diferencia (%)
$E_{dc}$	62 355	65 149	4,29
$E_L$	3 011	2 900	-3,82
$E_{ac}$	59 344	62 249	4,67

## RELEVANCIA DE LOS MÉTODOS ESTADÍSTICOS

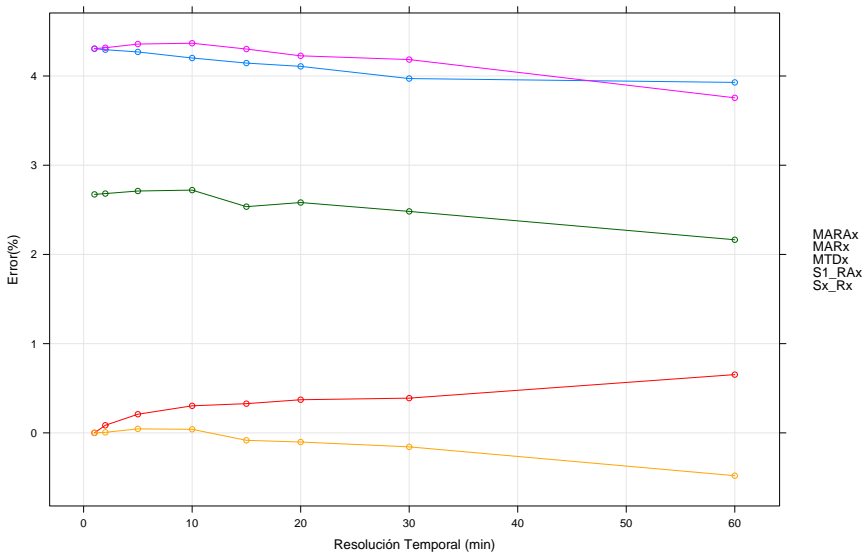
$$E_{ac} \simeq P_{inv} T \sum_{n=0}^2 A_{n,ac} m_n$$

Momentos incluidos en el cálculo	Error (%)
$m_1$	2,83 %
$m_1, m_2$	-0,84 %
$m_1, m_2, m_3$	0,05 %
$m_1, m_2, m_3, m_4$	-

# TRANSFORMACIONES

Acrónimo	Descripción
$Sx\_Rx$	Muestreada y almacenada a intervalos de $x$ minutos (siendo $S1\_R1$ la secuencia original)
$S1\_RAx$	Muestreada a intervalos de 1 minuto y almacenada a intervalos de $x$ minutos
$MARx$	Día promedio mensual compuesto por muestras cada $x$ minutos a partir de $Sx\_Rx$
$MARAx$	Día promedio mensual compuesto por muestras cada $x$ minutos a partir de $S1\_RAx$
$MTDx$	Día promedio mensual compuesto por muestras cada $x$ minutos a partir de los perfiles de irradiancia propuestos por Liu y Collares, obteniendo el valor medio mensual de irradiación diaria a partir de $Sx\_Rx$
$YADx$	Día Típico anual construido con muestras cada $x$ minutos a partir de $Sx\_Rx$

Comparación de Modelos de Radiación para Eac  
Base de Datos: IES



# CONCLUSIÓN

- La complejidad exigible a un modelo de radiación solar es muy baja cuando se trata de estimar la energía anual producida por un SFCR.
- Resoluciones temporales mejores que el muestreo horario no contribuyen significativamente a mejorar el resultado de las estimaciones.
- El conjunto de doce medias mensuales de radiación diaria es suficiente para conseguir estimaciones con errores por debajo del 3%.

## CONCLUSIÓN

- La complejidad exigible a un modelo de radiación solar es muy baja cuando se trata de estimar la energía anual producida por un SFCR.
- Resoluciones temporales mejores que el muestreo horario no contribuyen significativamente a mejorar el resultado de las estimaciones.
- El conjunto de doce medias mensuales de radiación diaria es suficiente para conseguir estimaciones con errores por debajo del 3%.

## CONCLUSIÓN

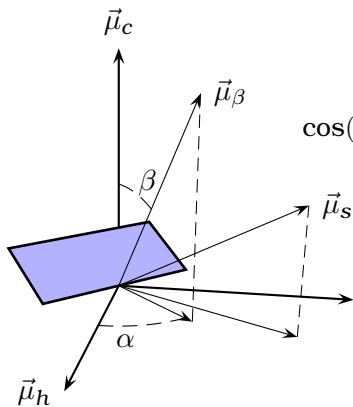
- La complejidad exigible a un modelo de radiación solar es muy baja cuando se trata de estimar la energía anual producida por un SFCR.
- Resoluciones temporales mejores que el muestreo horario no contribuyen significativamente a mejorar el resultado de las estimaciones.
- El conjunto de doce medias mensuales de radiación diaria es suficiente para conseguir estimaciones con errores por debajo del 3%.

# ÍNDICE

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 PROYECTOS
- 3 CÁLCULO DE ENERGÍA
  - Comportamiento estocástico de la radiación
  - Métodos de estimación de energía
  - Representatividad de series de radiación
- 4 **SEGUIMIENTO SOLAR**
  - Ecuaciones de seguimiento
  - Cálculo de producción
  - Sombras mutuas
- 5 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA
- 6 CONCLUSIONES
  - Aportaciones
  - Trabajos futuros



# ÁNGULO DE INCIDENCIA SFCR ESTÁTICO

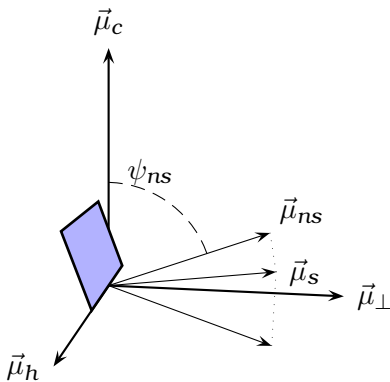


$$\begin{aligned} \cos(\theta_s) = & \sin(\beta) \cos(\alpha) \cos(\delta) \cos(\omega) \sin(\phi) - \\ & - \sin(\beta) \cos(\alpha) \cos(\phi) \sin(\delta) + \\ & + \sin(\beta) \sin(\alpha) \cos(\delta) \sin(\omega) + \\ & + \cos(\beta) \cos(\delta) \cos(\omega) \cos(\phi) + \\ & + \cos(\beta) \sin(\delta) \sin(\phi) \end{aligned}$$

# ÁNGULO DE INCIDENCIA

## EJE HORIZONTAL N-S, GENERADOR HORIZONTAL

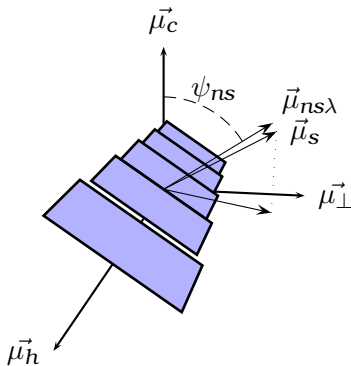
$$\cos(\theta_s) = \cos(\delta) \sqrt{\sin^2(\omega) + (\cos(\omega) \cos(\phi) + \tan(\delta) \sin(\phi))^2}$$



# ÁNGULO DE INCIDENCIA

## EJE HORIZONTAL N-S, GENERADOR INCLINADO

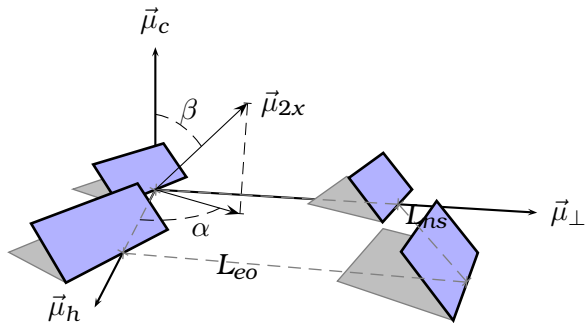
$$\cos(\theta_s) = \cos(\delta) \cdot [\sin(\lambda) (\cos(\omega) \sin(\phi) - \cos(\phi) \tan(\delta)) + \\ + \cos(\lambda) \cdot \sqrt{\sin^2(\omega) + (\cos(\omega) \cos(\phi) + \tan(\delta) \sin(\phi))^2}]$$



# ÁNGULO DE INCIDENCIA ACIMUTAL Y DOBLE EJE

$$\cos(\theta_s) = \cos(\beta - \theta_z)$$

$$\cos(\theta_s) = 1$$

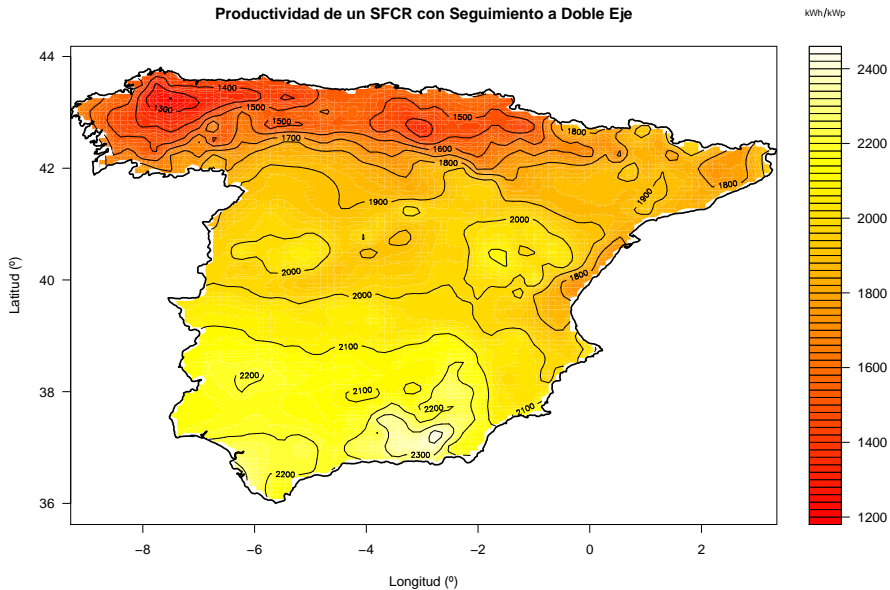


## MAPAS DE RADIACIÓN

- Mapas de irradiación global efectiva anual y energía producida por un SFCR
- Procedimiento de cálculo a partir de medias mensuales
- Base de datos HelioClim-1 de SODA-ESRA.
  - Método Heliosat-2 a imágenes de satélite.
  - Resolución de 0,25 grados en latitud y longitud (aproximadamente 20 km).
  - Promedio de imágenes almacenadas entre 1985 y 2005.
- Interpolación espacial mediante técnicas de *kriging*.

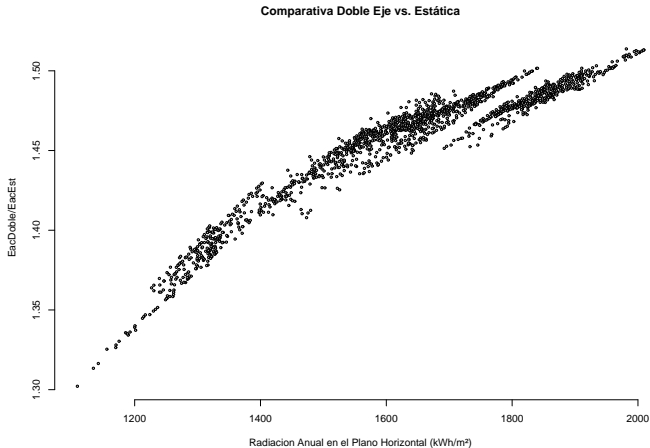
# MAPAS DE PRODUCCIÓN

Productividad de un SFCR con Seguimiento a Doble Eje



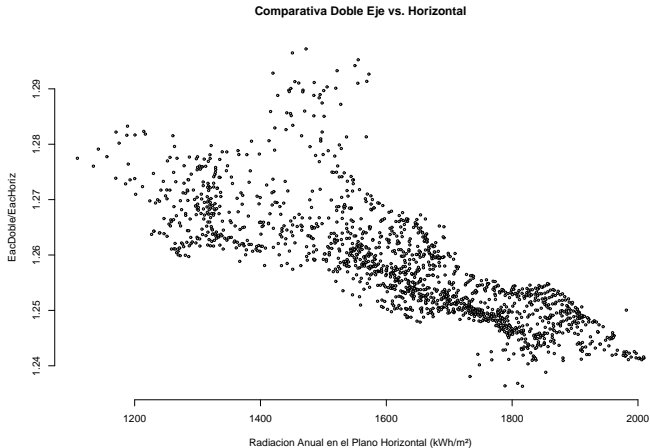
# COMPARATIVA DOBLE EJE-ESTÁTICA

- Mejora oscila entre el 30% y 50%
- Mejor para bajas latitudes y alta radiación



# COMPARATIVA DOBLE EJE - HORIZONTAL

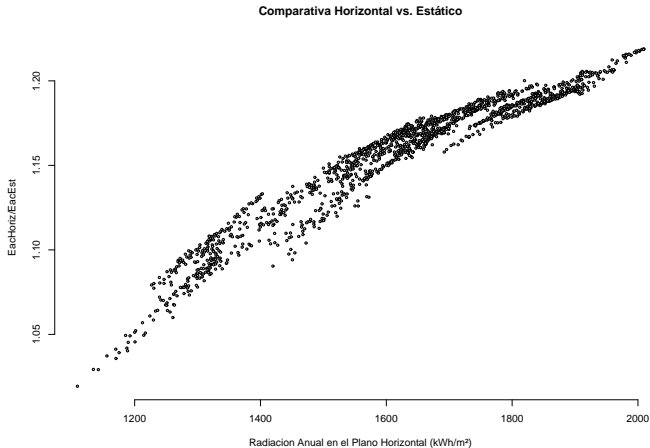
- Mejora oscila entre el 25% y 30%
- Mejor para altas latitudes y baja radiación.



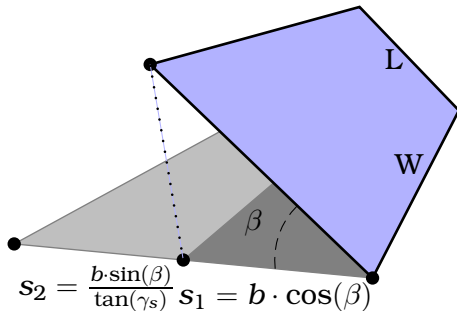


# COMPARATIVA EJE HORIZONTAL - ESTÁTICA

- Mejora entre el 5% y 20%
- Mejor para bajas latitudes y alta radiación.

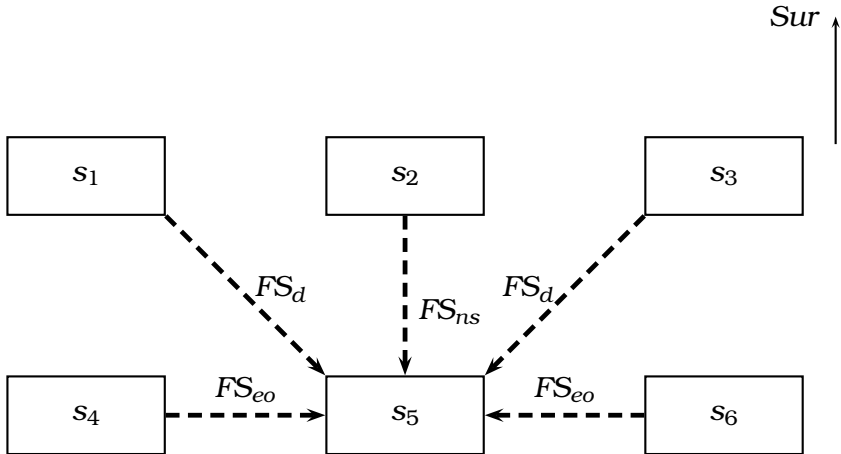


## SEPARACIÓN DE SEGUIDORES DOBLE EJE



$$b = \frac{L}{W}$$
$$ROT = \frac{L_{ns} \cdot L_{eo}}{b}$$
$$E_{ac} = f(ROT)??$$

## SEPARACIÓN DE SEGUIDORES DOBLE EJE

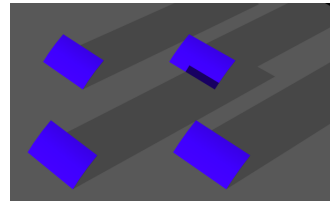


## FACTORES DE SOMBREADO 2X

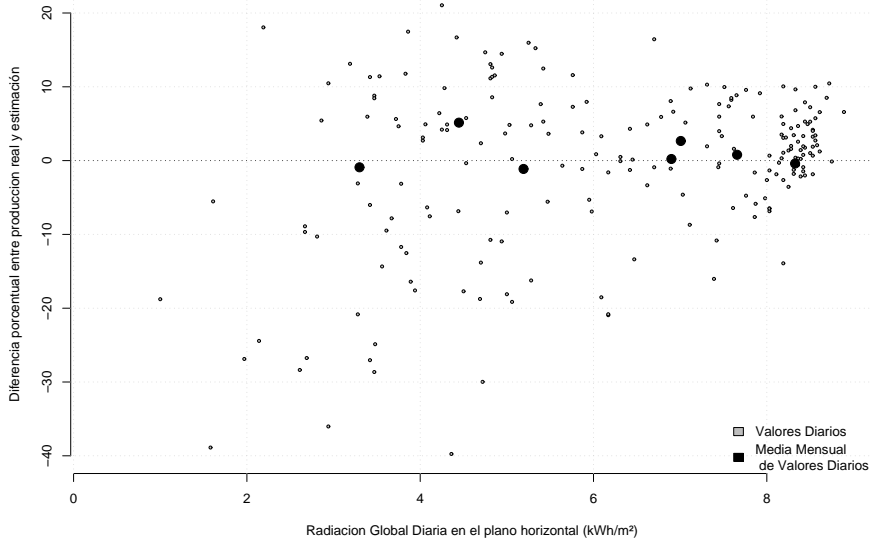
$$FS_{eo} = \frac{(1 - L_{eo} \cos(\psi_s)) \cdot (s - L_{eo} \sin(\psi_s))}{s}$$

$$FS_{ns} = \frac{(s - L_{ns} \cos(\psi_s)) \cdot (1 - L_{ns} \sin(\psi_s))}{s}$$

$$FS_d = \frac{[s - (L_{eo} \cdot \sin(\psi_s) + L_{ns} \cos(\psi_s))]}{s} \cdot \frac{[1 - (L_{eo} \cdot \cos(\psi_s) - L_{ns} \sin(\psi_s))]}{s}$$



# ESTIMACIÓN DE SOMBRAS: DOBLE EJE

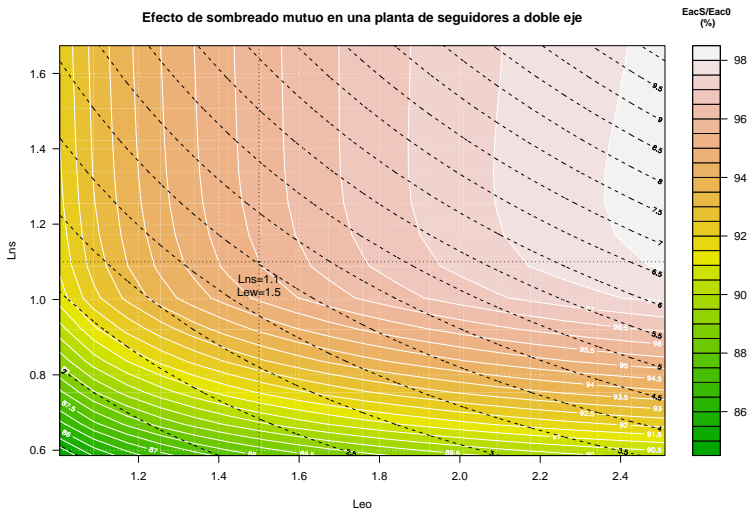


# ESTIMACIÓN DE SOMBRAS: DOBLE EJE

$$b = \frac{L}{W} = 0,475$$

$$ROT = \frac{L_{ns} \cdot L_{eo}}{b}$$

Efecto de sombreado mutuo en una planta de seguidores a doble eje

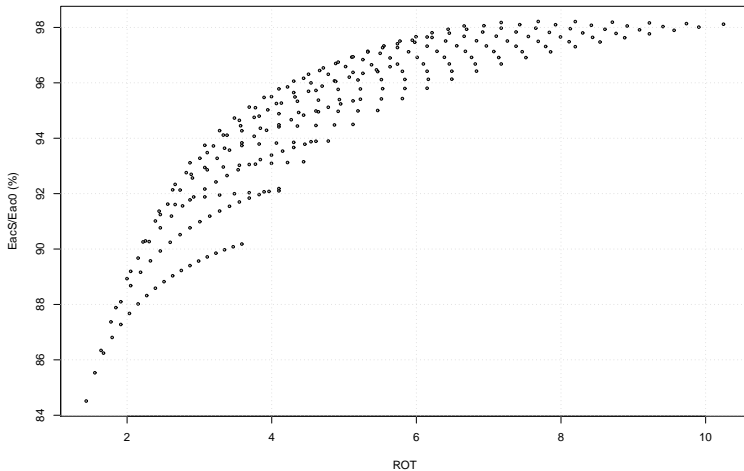


# OCUPACIÓN DE TERRENO

$$b = \frac{L}{W} = 0,475$$

$$ROT = \frac{L_{ns} \cdot L_{eo}}{b}$$

Efecto de sombreado mutuo en una planta de seguidores a doble eje



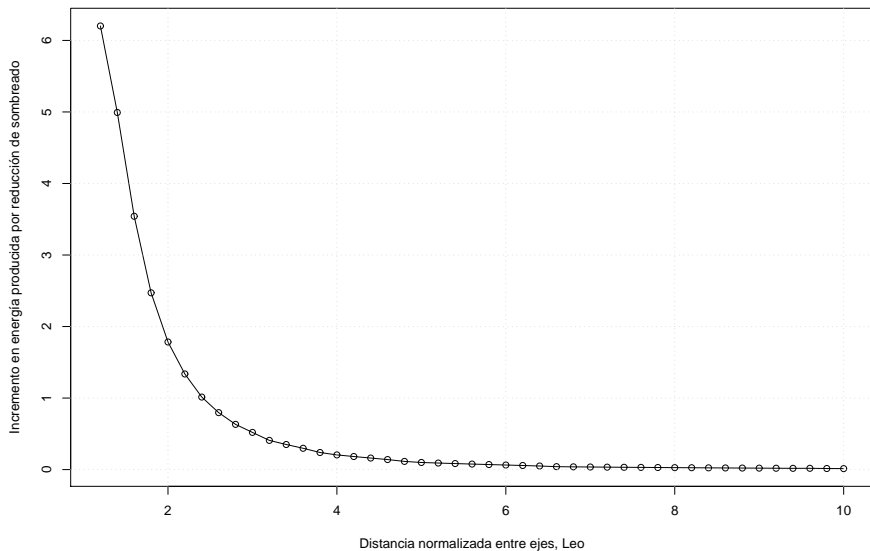
## ESTIMACIÓN DE SOMBRA: EJE HORIZONTAL

$$\begin{aligned}FS_{eo} &= \frac{s - L_{eo}}{s} \\ &= 1 - L_{eo} \cdot \cos(\beta) \\ &= 1 - L_{eo} \cdot \frac{\sin(\omega)}{\sqrt{\sin^2(\omega) + (\cos(\omega) \cos(\phi) + \tan(\delta) \sin(\phi))^2}}\end{aligned}$$



# ESTIMACIÓN DE SOMBRAS: EJE HORIZONTAL

Incremento en energía producida por aumento de separación entre Seguidores Horizontales N-S



## SOMBRA EJE HORIZONTAL LAMAS INCLINADAS

$$S_{ns} = S_{ns,1} + S_{ns,2}$$

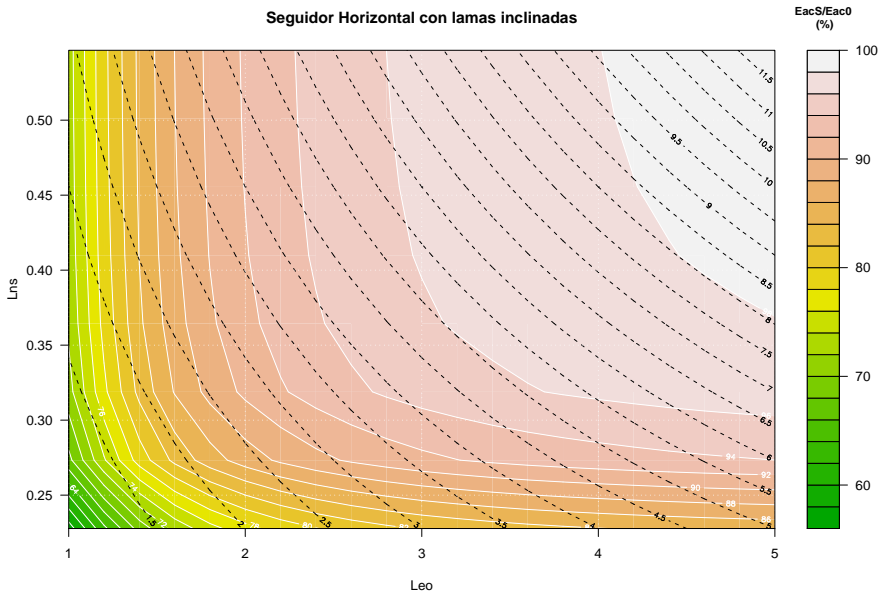
$$S_{ns,1} = b \cdot \frac{\cos(\lambda)}{\cos(\psi_s)}$$

$$S_{ns,2} = b \cdot \frac{\sin(\lambda)}{\tan(\gamma_s)}$$

$$FS_{ns,\lambda} = \frac{[1 - (l_{ns} - b \cdot \cos(\lambda)) \cdot \tan(\psi_s)] \cdot \left[ S_{ns} - \frac{l_{ns}}{\cos(\psi_s)} \right]}{S_{ns}}$$

# SOMBRAS EJE HORIZONTAL LAMAS INCLINADAS

Seguidor Horizontal con lamas inclinadas



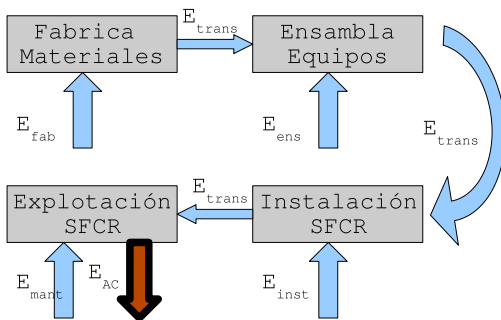
## CONCLUSIÓN

SFCR	ROT	Productividad
Estático	2	1
Eje Horizontal NS	4	1,05-1,2
Doble Eje	6	1,3-1,5

# ÍNDICE

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 PROYECTOS
- 3 CÁLCULO DE ENERGÍA
  - Comportamiento estocástico de la radiación
  - Métodos de estimación de energía
  - Representatividad de series de radiación
- 4 SEGUIMIENTO SOLAR
  - Ecuaciones de seguimiento
  - Cálculo de producción
  - Sombras mutuas
- 5 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA
- 6 CONCLUSIONES
  - Aportaciones
  - Trabajos futuros

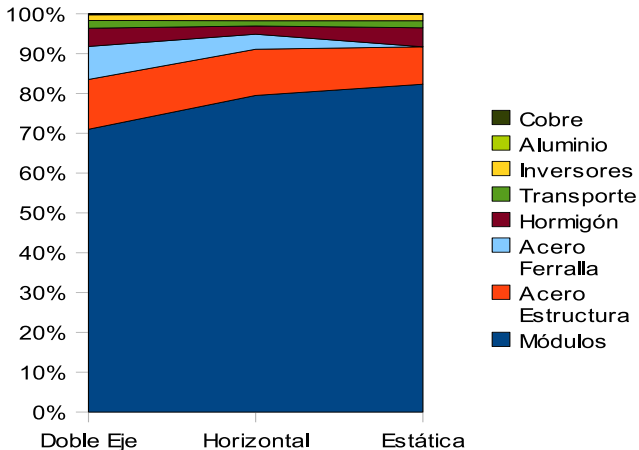
# FLUJO DE ENERGÍA



## ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA PARA SFCRS

- Se han recogido los resultados de los análisis anteriores para integrarlos en un estudio del ciclo de vida de un SFCR, desde la perspectiva del Tiempo de Retorno Energético (EPBT)
- Se han recopilado los estudios existentes en el sector solar fotovoltaico y se han complementado con cifras propias para producir mapas en los que se refleja este tiempo para SFCR estáticos, de doble eje y eje horizontal Norte-Sur.

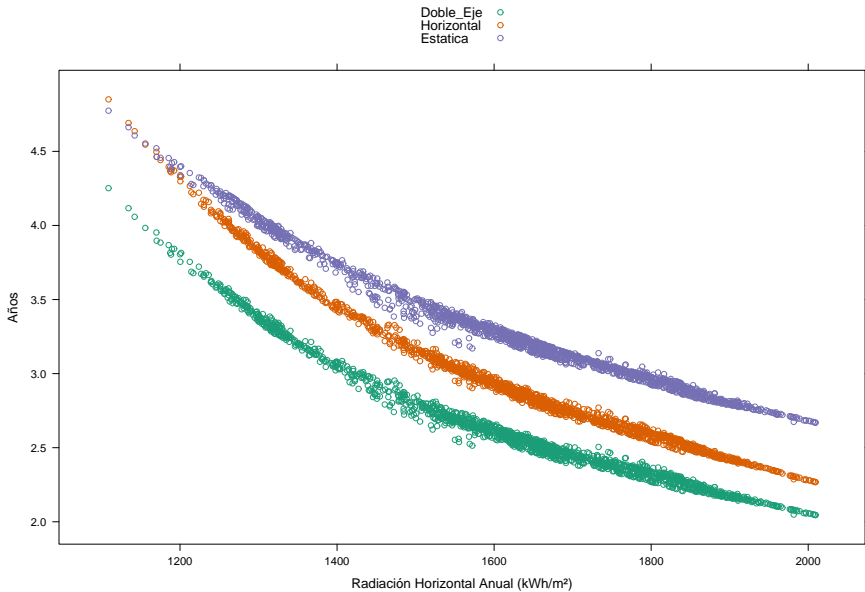
## COMPOSICIÓN ENERGÉTICA





# EPBT FRENTE A LA RADIACIÓN ANUAL HORIZONTAL

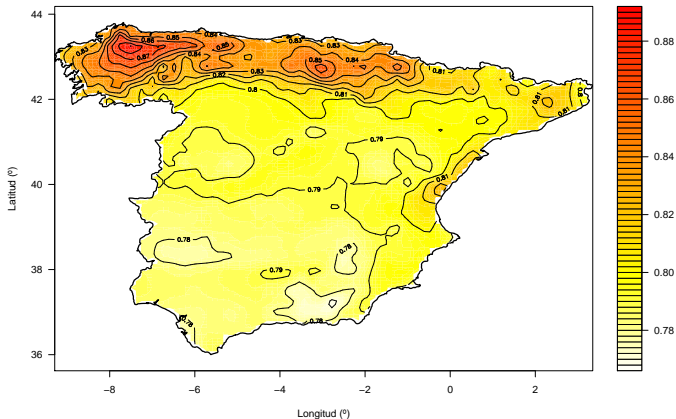
EPBT vs. Radiación Horizontal Anual



# COMPARATIVA DOBLE EJE-ESTÁTICA

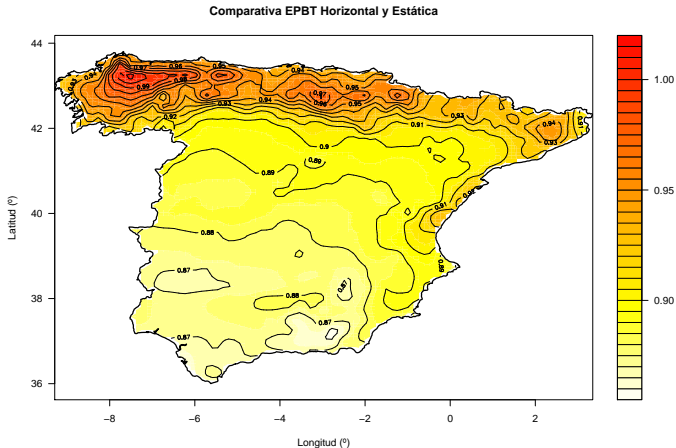
Comparativa EPBT de SFCR Doble Eje y SFCR Estático

- Mejora oscila entre el 15% y 30%
- Mejor para bajas latitudes y alta radiación



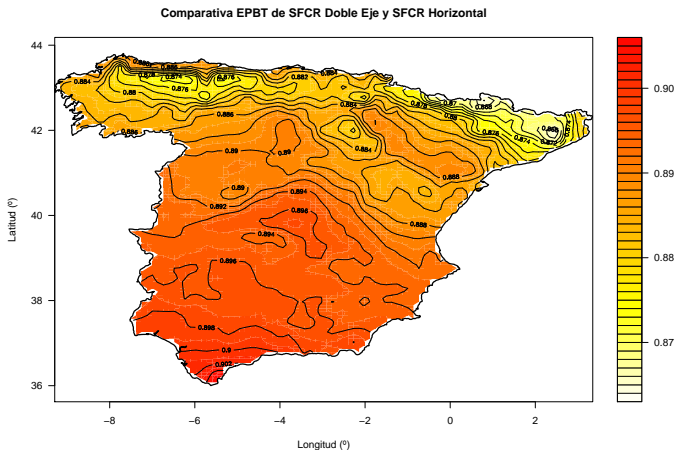
# COMPARATIVA HORIZONTAL NS-ESTÁTICA

- Mejora oscila entre el 0% y 15%.
- Mejor para bajas latitudes y alta radiación



# COMPARATIVA DOBLE EJE Y HORIZONTAL NS

- Mejora oscila entre el 0% y 15%.
- Mejor para altas latitudes y baja radiación



# ÍNDICE

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 PROYECTOS
- 3 CÁLCULO DE ENERGÍA
  - Comportamiento estocástico de la radiación
  - Métodos de estimación de energía
  - Representatividad de series de radiación
- 4 SEGUIMIENTO SOLAR
  - Ecuaciones de seguimiento
  - Cálculo de producción
  - Sombras mutuas
- 5 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA
- 6 CONCLUSIONES
  - Aportaciones
  - Trabajos futuros

## MÉTODO DE LOS MOMENTOS

- Es posible estimar la energía mediante operaciones simples empleando los momentos de orden 1 a 4.
- Método validado con datos de los SFCR Photocampa y Forum.
  - Radiación simultánea en tiempo y espacio con funcionamiento: error  $<2\%$ .
  - Distancia temporal y espacial: error  $5\%$ .
- Contribución de los momentos tercero y cuarto despreciable.
  - Relación cuasi-lineal entre energía AC y radiación efectiva.

# REPRESENTATIVIDAD DE MODELOS DE RADIACIÓN

- Conjunto de transformaciones a cuatro bases de datos de radiación localizadas en España.
- Para estimaciones de energía anual el modelo de radiación empleado puede ser de complejidad muy baja.
- Resoluciones temporales mejores que el muestreo horario no contribuyen apreciablemente.
- Estimaciones con errores por debajo del 3% con formato habitual de 12 medias mensuales de radiación diaria.

# SEGUIMIENTO SOLAR

## CÁLCULO DE PRODUCCIÓN

- Ecuaciones para modelar el seguimiento solar.
- Proceso de cálculo de radiación efectiva y energía producida.
- Mapas de radiación y producción.

## SOMBRAS MUTUAS

- Ecuaciones para modelar sombreado entre seguidores.
- Ábacos que relacionan pérdidas por sombreado con ocupación de terreno.



# SEGUIMIENTO SOLAR

## CÁLCULO DE PRODUCCIÓN

- Ecuaciones para modelar el seguimiento solar.
- Proceso de cálculo de radiación efectiva y energía producida.
- Mapas de radiación y producción.

## SOMBRAS MUTUAS

- Ecuaciones para modelar sombreado entre seguidores.
- Ábacos que relacionan pérdidas por sombreado con ocupación de terreno.

# SEGUIMIENTO SOLAR

## SOMBRAS MUTUAS

- Se ha validado el proceso de cálculo contra datos del SFCR Carmona.
  - La diferencia entre energía producida y estimada durante el periodo de estudio es menor del 1 %.
  - Las discrepancias aumentan en los periodos diarios, apareciendo una relación muy marcada con el índice de claridad.

## ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

- A partir de estudios del sector fotovoltaico y cifras propias se generan mapas de EPBT para SFCR estáticos, de doble eje y eje horizontal.
- EPBT entre 2 y 4,6 años dependiendo del modo de seguimiento y la latitud.
- Las tecnologías de seguimiento demandan mayor energía en estructura metálica, cimentaciones y cableado, para obtener el mayor rendimiento posible del componente más costoso energéticamente.

## PUBLICACIONES

- *On the calculation of energy produced by a PV grid-connected system*, Progress in Photovoltaics, 2007.
- *On the complexity of radiation models for PV energy production calculation*, Solar Energy, 2007
- 2 artículos en revistas nacionales.
- 2 comunicaciones en congresos europeos.

# ESTIMACIÓN DE ENERGÍA

- Relación directa entre la radiación horizontal con los momentos estadísticos.
- Impacto de efectos no lineales tales como sombreado mutuo.

## SISTEMAS DE SEGUIMIENTO

- Técnicas de retroseguimiento y limitación del ángulo de inclinación.
- Pérdidas por dispersión en la conexión en paralelo de varios seguidores a un inversor central.
- Influencia del índice de claridad y correlación con fracción de difusa.
- Nuevos modelos de sombra:
  - Configuración eléctrica del generador.
  - Bloqueo de difusa.
  - Otros tipos de seguidores.
- Procesos Markov frente a días promedio.

# ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

- Estudiar el compromiso entre energía invertida, energía producida y ocupación de terreno (optimizar la función  $EPBT = EPBT(ROT)$ )
- Incluir SFCR de integración arquitectónica y sistemas de concentración.

- Investigación desarrollada en entorno Debian GNU/Linux.
- Análisis numéricos y generación de gráficas con paquete de software libre R-project.
- Escritura y edición del documento con software libre  $\text{L}\text{y}\text{X}$  y el sistema de preparación de documentos  $\text{L}\text{A}\text{T}\text{E}\text{X}$ .
- Licencia de Documentación Libre de GNU:
  - Asegura la libertad efectiva de copiar y redistribuir, con o sin modificaciones, de manera comercial o no.
  - Proporciona al autor y al editor una manera de obtener reconocimiento, sin responsabilidad por las modificaciones realizadas por otros.



*“As we enjoy great advantages from the inventions of others, we should be glad of an opportunity to serve others by any invention of ours, and this we should do freely and generously”*

(Benjamin Franklin)

GRACIAS POR SU ATENCIÓN