



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y DISEÑO  
INDUSTRIAL

Grado en Ingeniería Eléctrica

---

TRABAJO DE FIN DE GRADO

# Desarrollo de una herramienta software para la simulación de sistemas fotovoltaicos con R

Autor: Francisco Delgado López

---

Tutor: Oscar Perpiñán Lamigueiro

Departamento de Ingeniería Eléctrica,  
Electrónica, Automática y Física aplicada

Madrid, 5 de septiembre de 2024



# Agradecimientos

Agradezco a ...



# Resumen

El presente proyecto se enfoca en el desarrollo de un paquete de software estadístico en R, denominado `solaR2`, diseñado para estimar la productividad de sistemas fotovoltaicos a partir de datos de irradiación solar. `solaR2` es una evolución del paquete `solaR`, con mejoras significativas en modularidad y eficiencia. A diferencia de `solaR`, que utilizaba el paquete `zoo` para la gestión de series temporales, `solaR2` se basa en `data.table`, lo que optimiza la manipulación de grandes volúmenes de datos y acelera el procesamiento. Este avance es crucial para un análisis más detallado y eficiente en el campo de la energía solar fotovoltaica.

`solaR2` ofrece herramientas avanzadas para simular el rendimiento de sistemas conectados a la red y sistemas de bombeo de agua con energía solar. Incluye clases, métodos y funciones que permiten calcular la geometría solar y la radiación solar incidente, así como estimar la productividad final de estos sistemas a partir de la irradiación global horizontal diaria e intradía.

El diseño modular basado en clases `S4` facilita el manejo de series temporales multivariantes y proporciona métodos de visualización avanzados para el análisis de rendimiento en plantas fotovoltaicas a gran escala. La implementación con `data.table` mejora la eficiencia en la manipulación de datos, permitiendo análisis más rápidos y precisos. Entre sus funcionalidades destacadas están el cálculo de radiación solar en diferentes planos, la estimación de rendimiento de sistemas fotovoltaicos y de bombeo, y la evaluación de sombras.

Además, `solaR2` ofrece herramientas avanzadas para la visualización estadística del rendimiento, compatible con otros paquetes de R para manipulación de series temporales y análisis espacial. Esto la convierte en una herramienta útil para investigadores y profesionales en el diseño y optimización de sistemas fotovoltaicos, permitiendo un análisis detallado bajo diversas condiciones. En resumen, `solaR2` representa una mejora significativa en el análisis y simulación de sistemas solares, proporcionando una herramienta flexible y reproducible para mejorar la eficiencia energética y la rentabilidad de las instalaciones solares.

**Palabras clave:** geometría solar, radiación solar, energía solar, fotovoltaica, métodos de visualización, series temporales, datos espacio-temporales, `S4`



# Abstract

This project focuses on the development of a statistical software package in R, called `solaR2`, designed to estimate the productivity of photovoltaic systems based on solar irradiation data. `solaR2` represents an evolution of the existing `solaR` package, featuring significant improvements in modularity and efficiency. Unlike `solaR`, which relied on the `zoo` package for time series management, `solaR2` uses `data.table`, optimizing the handling of large data volumes and speeding up processing. This advancement is crucial for more detailed and efficient analysis in the field of photovoltaic solar energy.

`solaR2` provides advanced tools for simulating the performance of grid-connected systems and solar-powered water pumping systems. It includes classes, methods, and functions for calculating solar geometry and incident solar radiation, as well as estimating the final productivity of these systems from global horizontal irradiation on a daily and intraday basis.

The modular design based on S4 classes facilitates the management of multivariate time series and provides advanced visualization methods for performance analysis in large-scale photovoltaic plants. The use of `data.table` enhances data handling efficiency, allowing for faster and more precise analyses. Key functionalities include calculating solar radiation on different planes, estimating the performance of photovoltaic and pumping systems, and evaluating shading.

Additionally, `solaR2` offers advanced statistical visualization tools, compatible with other R packages for time series manipulation and spatial analysis. This makes it a valuable tool for researchers and professionals involved in the design and optimization of photovoltaic systems, enabling detailed analysis under various conditions. In summary, `solaR2` represents a significant improvement in the analysis and simulation of solar systems, providing a flexible and reproducible tool to enhance energy efficiency and the profitability of solar installations.

**Keywords:** solar geometry, solar radiation, solar energy, photovoltaic, visualization methods, time series, spatiotemporal data, S4





# Índice general

Índice general	IX
Índice de figuras	XI
Nomenclatura	XIII
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos . . . . .	1
1.2. Análisis previo de soluciones . . . . .	3
<b>2 Estado del arte</b>	<b>5</b>
2.1. Situación actual de la generación fotovoltaica . . . . .	5
2.2. Solución actual y sus carencias . . . . .	6
<b>3 Marco teórico</b>	<b>9</b>
3.1. Naturaleza de la radiación solar . . . . .	9
3.2. Radiación en superficies inclinadas . . . . .	12
3.3. Cálculo de la energía producida por un generador fotovoltaico . . . . .	16
3.4. Sombras y ocupación de terreno . . . . .	24
<b>4 Desarrollo del código</b>	<b>31</b>
4.1. Geometría solar . . . . .	31
4.2. Datos meteorológicos . . . . .	36
4.3. Radiación en el plano horizontal . . . . .	40
4.4. Radiación efectiva en el plano del generador . . . . .	49
4.5. Producción eléctrica de un SFCR . . . . .	59
4.6. Producción eléctrica de un SFB . . . . .	63
4.7. Optimización de distancias . . . . .	67
4.8. Métodos de visualización . . . . .	70
4.9. Aspectos técnicos de la elaboración de un paquete en R . . . . .	80
<b>5 Ejemplo práctico de aplicación</b>	<b>85</b>
5.1. <code>solaR</code> . . . . .	85
5.2. <code>PVsyst</code> . . . . .	89
5.3. <code>solaR2</code> . . . . .	89
5.4. Comparación y conclusiones . . . . .	91
<b>A Manual de referencia de <code>solaR2</code></b>	<b>95</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>183</b>



# Índice de figuras

3.1. Procedimiento de cálculo . . . . .	10
3.2. Perfil de irradiancia difusa y global obtenido a partir del generador empírico de [CR79] para valores de irradiancia tomadas cada 10 minutos . . . . .	13
3.3. Ángulo de visión del cielo . . . . .	14
3.4. Pérdidas angulares de un módulo fotovoltaico para diferentes grados de suciedad en función del ángulo de incidencia. . . . .	15
3.5. Curvas corriente-tensión(línea discontinua) y potencia-tensión(línea continua) de una célula solar ( $T_a = 20^\circ C$ y $G = 800 W/m^2$ ) . . . . .	17
3.6. Evolución de la eficiencia de células según la tecnología (según el National Renewable Energy Laboratory [Nat24] (EEUU)). . . . .	18
3.7. Dimensiones y distancias entre filas de un sistema estático. . . . .	25
3.8. Sombras mutuas en un conjunto de cuatro seguidores. . . . .	26
3.9. Dimensiones de un seguidor a doble eje y longitud de su sombra arrojada. . . . .	26
3.10. Posibles sombras en un conjunto de seis seguidores. . . . .	26
3.11. Ábaco para planta de seguimiento a doble eje. Recoge el ratio entre la energía anual producida por un seguidor afectado por sombras mutuas ( $E_{acS}$ ) y la producida por un seguidor sin sombreado ( $E_{ac0}$ ). Las curvas de color negro representan la fracción de energía no afectada por sombras. Las curvas de puntos representan el valor del ROT. . . . .	28
3.12. Dimensiones básicas en sistemas con seguidores de eje horizontal. . . . .	28
4.1. Proceso de cálculo de las funciones de <b>solaR2</b> . . . . .	32
4.2. Cálculo de la geometría solar mediante la función <b>calcSol</b> , la cual unifica las funciones <b>fSolD</b> y <b>fSolI</b> resultando en un objeto clase <b>Sol</b> el cual contiene toda la información geométrica necesaria para realizar las siguientes estimaciones. . . . .	32
4.3. Los datos meteorologicas se pueden leer mediante las funciones <b>readG0dm</b> , <b>readBD</b> , <b>dt2Meteo</b> , <b>zoo2Meteo</b> y <b>readSIAR</b> las cuales procesan estos datos y los almacenan en un objeto de clase <b>Meteo</b> . . . . .	37
4.4. Cálculo de la radiación incidente en el plano horizontal mediante la función <b>calcG0</b> , la cual procesa un objeto clase <b>Sol</b> y otro clase <b>Meteo</b> mediante las funciones <b>fCompD</b> y <b>fCompI</b> resultando en un objeto clase <b>G0</b> . : . . . . .	41
4.5. Cálculo de la radiación efectiva incidente en el plano del generador mediante la función <b>calcGef</b> , la cual emplea la función <b>fInclin</b> para el computo de las componentes efectivas, la función <b>fTheta</b> que provee a la función anterior los ángulos necesarios para su computo y la función <b>calcShd</b> que reprocesa el objeto de clase <b>Gef</b> resultante, añadiendole el efecto de las sombras producidas entres módulos. . . . .	49
4.6. Estimación de la producción eléctrica de un SFCR mediante la función <b>prodGCPV</b> , la cual emplea la función <b>fProd</b> para el computo de la potencia a la entrada ( $P_{DC}$ ), a la salida ( $P_{AC}$ ) y el rendimiento ( $\eta_{inv}$ ) del inversor. . . . .	59
4.7. Estimación de la producción eléctrica de un SFB mediante la función <b>prodPVPS</b> , la cual emplea la función <b>fPump</b> para el computo del rendimiento de las diferentes parte de una bomba centrífuga alimentada por un convertidor de frecuencia. . . . .	63



# Nomenclatura

$A_c$	Área de una célula
$A_G$	Área de un generador fotovoltaico
$\alpha$	Ángulo de orientación de un sistema fotovoltaico
$AM$	Masa de aire
$AO$	Adelanto oficial durante el horario de verano
$B_0(0)$	irradiancia extra-atmósferica o extra-terrestre en el plano horizontal
$B_0$	Constante solar o irradiancia solar incidente en un plano normal al vector solar en el límite superior de la atmósfera terrestre
$B$	Radiación directa
$\beta$	Ángulo de inclinación de un sistema fotovoltaico
$D$	Radiación difusa
$D^C$	Radiación difusa circunsolar
$\delta$	Declinación
$\Delta\lambda$	Diferencia entre la longitud local y la longitud del huso horario
$D^I$	Radiación difusa isotrópica
$d_n$	Día del año
$d_{min}$	Distancia mínima entre hileras de un generador para evitar el sombreado
$EoT$	Ecuación del tiempo
$\epsilon_0$	Corrección debida a la excentricidad de la elipse de la trayectoria terrestre alrededor del sol
$\eta_{mp}$	Eficiencia de una motobomba
$F_D$	Fracción de difusa
$F_{Dd}$	Fracción de difusa diaria
$F_{Dm}$	Fracción de difusa mensual
$FT_B$	Factor de pérdidas angulares para irradiancia directa
$FT_R$	Factor de pérdidas angulares para irradiancia de albedo

$FT_D$	Factor de pérdidas angulares para irradiancia difusa
$g$	Aceleración de la gravedad
$G$	Radiación global
$GCR$	Ground coverage ratio
$G_{STC}$	Irradiancia incidente en condiciones estandar de medida
$H_{dt}$	Nivel dinámico de un pozo
$H_f$	Altura asociada a las pérdidas de fricción en una tubería
$H_{OT}$	Diferencia de cotas entre la salida de agua y la entrada en el depósito
$H_{st}$	Nivel estático de un pozo
$H_T$	Altura total incluyendo las pérdidas de fricción de la tubería
$H_{TE}$	Altura total equivalente de un sistema de bombeo
$H_v$	Altura vertical aparente
$I_{mpp}$	Corriente de una célula en el punto de máxima potencia
$I_{sc}$	Corriente de cortocircuito de una célula
$K_T$	Índice de claridad
$K_{Td}$	Índice de claridad diario
$K_{Tm}$	Índice de claridad mensual
$L_{eo}$	Separación entre seguidores en sentido Este-Oeste
$L_{ns}$	Separación entre seguidores en sentido Norte-Sur
MPP	Punto de máxima potencia de un dispositivo fotovoltaico
$\omega$	Hora solar o tiempo solar verdadero
$\omega_s$	Ángulo del amanecer
$P_{el}$	Potencia eléctrica necesaria en la entrada de una motobomba
$P_f$	Pérdidas de fricción en la tubería de un sistema de bombeo
$P_H$	Potencia hidráulica necesaria en un sistema de bombeo de agua
$P_H$	Potencia hidráulica
$\phi$	Latitud
$P_{inv}$	Potencia nominal de un inversor
$Q$	Caudal de agua
$Q_{max}$	caudal máximo del pozo
$Q_t$	Caudal de ensayo de un pozo

$R$	Radiación del albedo
$r_D$	Relación entre la irradiancia y la irradiación difusa en el plano horizontal
$\rho$	Densidad del agua
$\rho$	Coefficiente de reflexión del terreno para la irradiancia de albedo
$ROT$	Ratio de ocupación del terreno
STC	Condiciones estándar de medida de un dispositivo fotovoltaico
$T_c^*$	Temperatura de célula en condiciones estándar de medida
$T_c$	Temperatura de célula
$\theta_s$	Ángulo de incidencia o ángulo entre el vector solar y el vector director de una superficie
$\theta_{zs}$	Ángulo cenital solar
$TO$	Hora oficial
$TONC$	Temperatura de operación nominal de célula
$V_{mpp}$	Tensión de una célula en el punto de máxima potencia
$V_{oc}$	Tensión de circuito abierto de una célula





# Introducción

## 1.1. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo de un paquete en R [R C23] con el cual poder realizar estimaciones y representaciones gráficas de la geometría solar, radiación solar en el plano horizontal y del generador, y el funcionamiento de sistemas fotovoltaicos de conexión a red y de bombeo de agua.

Durante el resto del documento, si fuera necesario, se hará referencia al paquete desarrollado en este proyecto con el nombre `solaR2` [CITAR SOLAR2].

El usuario puede colocar los datos que considere convenientes (desde una base de datos oficial, una base de datos propia... etc.) en cada una de las funciones que ofrece el paquete pudiendo así obtener resultados de la geometría solar, de la radiación horizontal, de la efectiva y hasta de la producción de diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos.

El paquete también incluye una serie de funciones que permiten hacer representaciones gráficas de estos resultados con el fin de poder apreciar con más detalle las diferencias entre sistemas y contemplar cual es la mejor opción para el emplazamiento elegido.

Este proyecto toma su origen en el paquete ya existente `solaR` [Per12] el cual desarrolló el tutor de este proyecto en 2010. Esta versión, la 0.14, ha tenido una serie de actualizaciones, siendo la más reciente la 0.46 (en el 2021). Sin embargo, al ser versiones de un software antiguo se propuso la idea de renovarlo teniendo en cuenta el paquete en el que basa su funcionamiento. El paquete `solaR` basó su funcionamiento en el paquete `zoo` [ZG05] el cual proporciona una sólida base para trabajar con series temporales. Sin embargo, como base de `solaR2` se optó por el paquete `data.table` [Bar+24]. Este paquete ofrece una extensión de los clásicos `data.frame` de R en los `data.table`, los cuales pueden trabajar rápidamente con enormes cantidades de datos (por ejemplo, 100 GB de RAM).

La clave de ambos proyectos es que al estar basados en R, cualquier usuario puede acceder a ellos de forma gratuita, tan solo necesitas tener instalado R en tu dispositivo.

Para alojar este proyecto se toman dos vías:

- **Github** [Wan+23]: Donde se aloja la versión de desarrollo del paquete.

- **CRAN**: Acrónimo de Comprehensive R Archive Network, es el repositorio donde se alojan las versiones definitivas de los paquetes y desde el cual se descargan a la sesión de R.

El paquete **solar2** permite realizar las siguientes operaciones:

- Cálculo de toda la geometría que caracteriza a la radiación procedente del Sol.
- Tratamiento de datos meteorológicos (en especial de radiación), procedentes de datos ofrecidos del usuario y de la red de estaciones SIAR [Min23].
- Una vez calculado lo anterior, se pueden hacer estimaciones de:
  - Los componentes de radiación horizontal.
  - Los componentes de radiación eficaz en el plano inclinado.
  - La producción de sistemas fotovoltaicos conectados a red y sistemas fotovoltaicos de bombeo.

Este proyecto ha tenido a su vez una serie de objetivos secundarios:

- Uso y manejo de GNU Emacs [Sta85] en el que se realizaron todos los archivos que componen este documento (utilizando el modo Org [Dom+03]) y el paquete descrito (empleando ESS [Pro24])
- Dominio de diferentes paquetes de R:
  - **zoo** [ZG05]: Paquete que proporciona un conjunto de clases y métodos en S3 para trabajar con series temporales regulares e irregulares. Usado en el paquete **solar** como pilar central.
  - **data.table** [Bar+24]: Otorga una extensión a los datos de tipo `data.frame` que permite una alta eficiencia especialmente con conjuntos de datos muy grandes. Se ha utilizado en el paquete **solar2** en sustitución del paquete **zoo** como tipo de dato principal en el cual se construyen las clases y métodos de este paquete.
  - **microbenchmark** [Mer+23]: Proporciona infraestructura para medir y comparar con precisión el tiempo de ejecución de expresiones en R. Usado para comparar los tiempos de ejecución de ambos paquetes.
  - **profvis** [Wic+24]: Crea una interfaz gráfica donde explorar los datos de rendimiento de una expresión dada. Aplicada junto con **microbenchmark** para detectar y corregir cuellos de botella en el paquete **solar2**
  - **lattice** [Sar08]: Proporciona diversas funciones con las que representar datos. El paquete **solar2** utiliza este paquete para representar de forma visual los datos obtenidos en las estimaciones.
- Junto con el modo Org, se ha utilizado el preprocesador de textos L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X (partiendo de un archivo .org, se puede exportar a un archivo .tex para posteriormente exportar un pdf).
- Obtener conocimientos teóricos acerca de la radiación solar y de la producción de energía solar mediante sistemas fotovoltaicos y sus diversos tipos. Para ello se ha usado en mayor medida el libro “Energía Solar Fotovoltaica” [Per23].

## 1.2. Análisis previo de soluciones

Este proyecto, como ya se ha comentado, es el heredero del paquete **solaR** desarrollado por Oscar Perpiñán. La filosofía de ambos paquetes es la misma y los resultados que dan son muy similares. Sin embargo, lo que les diferencia es que **solaR2** es más modular, es decir, tiene muchas funciones autónomas que permiten realizar cálculos específicos, en especial de geometría y radiación, y, el paquete sobre el que construyen sus datos.

Mientras que **solaR** basa sus clases y métodos en el paquete **zoo**, **solaR2** en el paquete **data.table**. Los dos paquetes pueden trabajar con series temporales, pero, mientras que **zoo** es más eficaz trabajando con series temporales, **data.table** es más eficiente a la hora de trabajar con una cantidad grande de datos, lo cual a la hora de realizar estimaciones muy precisas es beneficioso.

Por otro lado, existen otras soluciones fuera de R:

1. **PVsyst - Photovoltaic Software** [PVS24] Este software es probablemente el más conocido dentro del ámbito del estudio y la estimación de instalaciones fotovoltaicas. Destaca por la personalización detallada de los componentes de la instalación (módulos, inversores, sombreado, etc.), lo que ermite una simulación precisa a través de datos meteorológicos y parámetros detallados del sistema. Su uso está extendido en proyectos de gran escala y estudios avanzados de eficiencia.

- **Ventajas:**

- **Completo y profesional:** PVsyst es altamente detallado, permitiendo análisis avanzados para proyectos pequeños y grandes.
- **Base de datos meteorológicos:** Integra datos climáticos de fuentes como Meteonorm [JG20], lo que mejora la precisión de las simulaciones.
- **Simulaciones avanzadas:** Permite modelar la energía producida por una planta fotovoltaica y calcular las pérdidas debidas a sombreadamiento, inclinación, orientaciones y resistencias internas de los módulos.
- **Herramientas de dimensionamiento:** Ofrece módulos específicos para diseñar la configuración de inversores y módulos solares.

- **Limitaciones:**

- **Costo:** Es un software comercial, con licencias que pueden ser costosas para proyectos pequeños.
- **Curva de aprendizaje:** Su interfaz puede resultar compleja para usuarios nuevos, lo que implica una curva de aprendizaje considerable.
- **Enfoque técnico:** Está más orientado a ingenieros y técnicos, por lo que carece de accesibilidad para usuarios no especializados.

2. **SISIFO** [Sis24] Herramienta web diseñada por el **Grupo de Sistemas Fotovoltaicos del Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid**. Está diseñada para ser accesible y fácil de usar, enfocándose en una audiencia más general, incluyendo ingenieros, pero también técnicos y académicos.

- **Ventajas:**

- **Facilidad de uso:** Tiene una interfaz amigable y fácil de utilizar, lo que lo hace accesible para usuarios con distintos niveles de experiencia.
- **Open-source:** Al ser de código abierto, permite a los desarrolladores modificar y adaptar el software a sus necesidades específicas.

- **Simulación integrada:** Ofrece la posibilidad de realizar simulaciones basadas en datos meteorológicos, aunque con un nivel de detalle inferior a PVsyst.
  - **Soporte comunitario:** Al ser de código abierto, cuenta con una comunidad activa de usuarios y desarrolladores que colaboran en mejoras y actualizaciones.
  - Limitaciones:
    - **Menos preciso:** Al compararse con otras herramientas, su precisión puede ser menor en cuanto a modelado y simulación de pérdidas, ya que simplifica varios aspectos del sistema.
    - **Limitaciones en grandes proyectos:** No está tan bien adaptado para grandes instalaciones o análisis financieros avanzados.
3. **PVGIS** [PVG24] Aplicación web desarrollada por el **European Commission Joint Research Center** desde 2001. Está diseñada para proporcionar estimaciones de producción de energía solar en función de la ubicación geográfica y condiciones meteorológicas históricas.
- Ventajas:
    - **Gratuito y accesible:** Esta herramienta es completamente gratuita y accesible a través de una interfaz web, lo que facilita el uso por parte de cualquier persona.
    - **Datos meteorológicos precisos:** Proporciona acceso a datos meteorológicos satelitales y de estaciones terrestres, lo que permite obtener estimaciones razonables de producción de energía.
    - **Estudios rápidos:** Es ideal para obtener estimaciones preliminares y estudios de viabilidad de sistemas fotovoltaicos.
4. **System Advisor Model** [SAM24] Desarrollado por el **Laboratorio Nacional de Energías Renovables**, perteneciente al Departamento de energía del gobierno de EE.UU. Está orientada a la modelación tanto técnica como económica de sistemas de energía renovable, incluyendo fotovoltaicos.
- Ventajas:
    - **Modelo económico avanzado:** Integra análisis detallados sobre la viabilidad económica, lo que permite evaluar tanto la producción energética como los costos y beneficios a lo largo de la vida útil del proyecto.
    - **Acceso a múltiples tecnologías:** Además de fotovoltaicos, permite modelar otras tecnologías de energía renovable, lo que lo hace más flexible para estudios multidisciplinarios.
    - **Integración de bases de datos:** Utiliza datos meteorológicos detallados, lo que mejora la precisión de las simulaciones.
  - Limitaciones:
    - **Complejidad:** Aunque gratuito, SAM es bastante complejo y técnico, lo que puede limitar su uso a usuarios con experiencia en el modelado de sistemas energéticos.
    - **Interfaz no tan intuitiva:** Comparado con otras herramientas, requiere un mayor tiempo de familiarización debido a su enfoque integral y detalle en las simulaciones.

En el capítulo 5 se realizará un ejemplo práctico que compare los resultados entre **PVsyst**, **solaR** y **solaR2**

## Estado del arte

### 2.1. Situación actual de la generación fotovoltaica

Según el informe anual de 2023 de la UNEF<sup>1</sup> [UNE23] en 2022 la fotovoltaica se posicionó como la tecnología con más crecimiento a nivel internacional, tanto entre las renovables como entre las no renovables. Se instalaron 240 GWp de nueva capacidad fotovoltaica a nivel mundial, suponiendo esto un incremento del 137 % con respecto a 2021.

A pesar de las diversas crisis internacionales, la energía solar fotovoltaica alcanzó a superar los 1185 GWp instalados. Como otros años, las cifras indican que China continuó siendo el primer actor mundial, superando los 106 GWp de potencia instalada en el año. La Unión Europea se situó en el segundo puesto, duplicando la potencia instalada en 2021, y alcanzando un nuevo record con 41 GWp instalados en 2022.

La producción energía fotovoltaica a nivel mundial representó el 31 % de la capacidad de generación renovable, convirtiéndose así en la segunda fuente de generación, solo por detrás de la energía hidráulica. En 2022 se añadió 3 veces más de energía solar que de energía eólica en todo el mundo.

Por otro lado, la Unión Europea superó a EE.UU. como el segundo mayor actor mundial en desarrollo fotovoltaico, instalando un 47 % más que en 2021 y alcanzando una potencia acumulada de más de 208 GWp. España lideró el mercado europeo con 8,6 GWp instalados en 2022, superando a Alemania.

El año 2022 fue significativo en términos legislativos con el lanzamiento del Plan REPowerEU<sup>2</sup> [Eur22]. Dentro de este plan, se lanzó la Estrategia de Energía Solar con el objetivo de alcanzar 400 GWp (320 GW) para 2030, incluyendo medidas para desarrollar tejados solares, impulsar la industria fotovoltaica y apoyar la formación de profesionales en el sector.

En 2022, España vivió un auge en el desarrollo fotovoltaico, instalando 5.641 MWp en plantas en suelo, un 30 % más que en 2021, y aumentando el autoconsumo en un 108 %, alcanzando 3.008 MWp. El sector industrial de autoconsumo creció notablemente, representando el 47 % del autoconsumo total.

---

<sup>1</sup>UNEF: Unión Española Fotovoltaica.

<sup>2</sup>Plan REPowerEU: Proyecto por el cual la Unión Europea quiere poner fin a su dependencia de los combustibles fósiles rusos ahorrando energía, diversificando los suministros y acelerando la transición hacia una energía limpia.

España implementó varias iniciativas legislativas para enfrentar la volatilidad de precios de la energía y la dependencia del gas, destacando el RD-ley 6/2022 [BOE22b] y el RD 10/2022 [BOE22a], que han modificado mecanismos de precios y estableciendo límites al precio del gas.

El Plan SE+<sup>3</sup> [dem22] incluye medidas fiscales y administrativas para apoyar las renovables y el autoconsumo. En 2022, se realizaron subastas de energía renovable, asignando 140 MW a solar fotovoltaica en la tercera subasta y 1.800MW en la cuarta, aunque esta última quedó desierta por precios de reserva bajos.

Se adjudicaron 1.200 MW del nudo de transición justa de Andorra a Enel Green Power España, con planes para instalar plantas de hidrógeno verde y agrovoltaica. la actividad en hidrógeno verde y almacenamiento también creció, con fondos adicionales y exenciones de cargos.

El autoconsumo, apoyado por diversas regulaciones y altos precios de la electricidad, registró un crecimiento significativo, alcanzado 2.504 MW de nueva potencia en 2022. Las comunidades energéticas también avanzaron gracias a ayudas específicas, a pesar de la falta de un marco regulatorio definido.

2022 estuvo marcado por los programas financiados por la Unión Europea, especialmente el Mecanismo de Recuperación y Resiliencia [Hac22] que canaliza los fondos NextGenerationEU [Uni20]. El PERTE<sup>4</sup>, aprobado en diciembre de 2021, espera crear más de 280.000 empleos, con ayudas que se ejecutarán hasta 2026. En 2023 se solicitó a Bruselas una adenda para segunda fase del PERTE, obteniendo 2.700 millones de euros adicionales.

La contribución del sector fotovoltaico a la economía española en 2022 fue significativa, aportando 7.014 millones de euros al PIB<sup>5</sup>, un 51 % más que el año anterior, y generando una huella económica total de 15.656 millones de euros. En términos de empleo, el sector involucró a 197.383 trabajadores, de los cuales 40.683 fueron directos, 97.600 indirectos y 59.100 inducidos.

El sector industrial fotovoltaico nacional tiene una fuerte presencia en España, con hasta un 65 % de los componentes manufacturados localmente. Empresas españolas se encuentran entre los principales fabricantes mundiales de inversores y seguidores solares. Además, España es un importante exportador de estructuras fotovoltaicas y cuenta con iniciativas prometedoras para la fabricación de módulos solares.

En definitiva, la fotovoltaica es una tecnología en auge y con perspectivas para ser el pilar de la transición ecológica. Por ello, surge la necesidad de encontrar herramientas que permitan estimar el desempeño que estos sistemas pueden tener a la hora de realizar estudios de viabilidad económica.

### 2.2. Solución actual y sus carencias

Como se mencionó en el capítulo 1 este proyecto toma su base en el paquete **solaR** [Per12], el cual es una herramienta robusta para el cálculo de la radiación solar y el rendimiento de sistemas fotovoltaicos. Este paquete está diseñado utilizando clases **S4** en **R**, y su núcleo se basa en series temporales multivariantes almacenadas en objetos de la clase **zoo**. El paquete permite realizar investigaciones reproducibles sobre el rendimiento de sistemas fotovoltaicos y la radiación solar, proporcionando métodos para calcular la geometría solar, la radiación incidente sobre un

---

<sup>3</sup>Plan + Seguridad Energética: Se trata de un plan con medidas de rápido impacto dirigidas al invierno 2022/2023, junto con medidas que contribuyen a un refuerzo estructural de esa seguridad energética.

<sup>4</sup>PERTE: Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica.

<sup>5</sup>PIB: Producto Interior Bruto.

generador fotovoltaico, y simular el rendimiento de sistemas fotovoltaicos tanto conectados a la red como de bombeo de agua.

Pese a ser un herramienta muy capaz, **solaR** presenta una serie de carencias relativas al paquete **zoo**:

- **Eficiencia y rendimiento:** el paquete **solaR** utiliza **zoo** para manejar series temporales, lo cual es adecuado para volúmenes de datos moderados. Sin embargo, **zoo** no está optimizado para operaciones de alta eficiencia en datasets grandes. Por otro lado, **data.table** está diseñado específicamente para manejar grandes volúmenes de datos de manera eficiente, ofreciendo un rendimiento superior en operaciones de lectura, escritura y manipulación masiva de datos.
- **Escalabilidad:** **solaR** puede experimentar problemas de escalabilidad al trabajar con datasets extensos, ya que **zoo** no es tan eficiente en operaciones que requieren manipulación compleja o paralelización. Sin embargo, **data.table** supera esta limitación al proporcionar una infraestructura altamente optimizada para operaciones en paralelo y manejo de grandes conjuntos de datos, permitiendo que las aplicaciones escalen mejor en entornos de datos intensivos.
- **Manipulación de datos:** **zoo** es adecuado para manejar series temporales básicas, pero carece de las capacidades avanzadas de manipulación de datos que ofrece **data.table**, como la indexación rápida, las uniones eficientes, y la capacidad de realizar operaciones complejas de agrupamiento y agregación. Estas características de **data.table** permiten un manejo de datos más flexible y potente, lo cual es esencial en análisis de datos complejo y en tiempo real.
- **Consumo de memoria:** **zoo** puede consumir más memoria en comparación con **data.table** cuando se trabaja con grandes conjuntos de datos. Por otro lado, **data.table** está optimizado para operaciones en memoria, lo que permite manejar datasets más grandes sin requerir un incremento proporcional en el uso de recursos, haciendo que las operaciones sean más sostenibles en términos de memoria.

Por lo tanto, al adoptar **data.table** en **solaR2**, se abordarían estas limitaciones, proporcionando un paquete más robusto y capaz de manejar los desafíos actuales en el análisis de datos de radiación solar y de producción de sistemas fotovoltaicos.





## Marco teórico

El paquete **solaR2** toma como marco teórico el libro de Oscar Perpiñán, tutor de este trabajo, Energía Solar Fotovoltaica [Per23] para cada una de las operaciones de cálculo que realizan cada una de las funciones. En la figura 3.1, se muestra un diagrama que resume los pasos que se siguen a la hora de calcular la producción de sistemas fotovoltaicos.

Estos pasos son:

1. Calcular la geometría que define la posición relativa del Sol desde la Tierra.
2. Obtener la irradiación global diaria en el plano horizontal
3. A partir de la irradiación global, obtener las componentes de difusa y directa.
4. Se trasladan estos valores de irradiación a valores de irradiancia.
5. Integrando estos valores se pueden obtener las estimaciones irradiación diaria difusa, directa y global
6. El generador fotovoltaico produce una potencia en corriente continua dependiente del rendimiento del mismo.
7. Se transforma en potencia en corriente alterna mediante un inversor que tiene una eficiencia asociada.
8. Integrando esta potencia se puede obtener la energía que produce el generador en un tiempo determinado.

### 3.1. Naturaleza de la radiación solar

Para el cálculo de la radiación solar que incide en una superficie se deben distinguir tres componentes diferenciados:

- **Radiación Directa**, B: fracción de radiación que procede en línea recta desde el Sol.
- **Radiación Difusa**, D: fracción de radiación que procede de todo el cielo, excepto del Sol. Son todos aquellos rayos que dispersa la atmósfera.

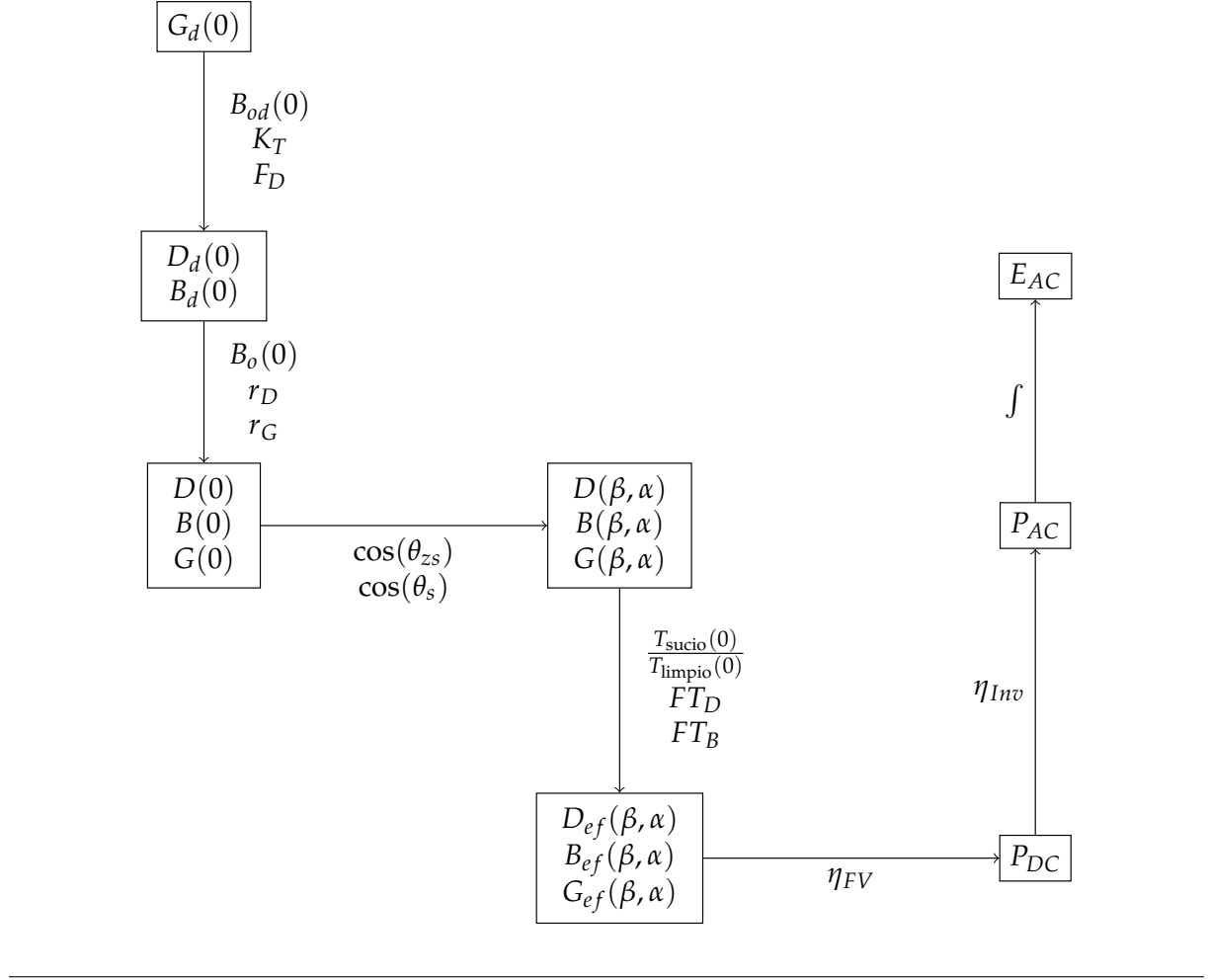


FIGURA 3.1: Procedimiento de cálculo

- **Radiación del albedo**,  $R$ : parte de la radiación procedente de la reflexión con el suelo.

La suma de las tres componentes constituye la denominada radiación global:

$$G = B + D + R \quad (3.1)$$

Tomando como base el libro antes mencionado [Per23], se describirá el proceso que se ha de seguir para obtener una estimación de las componenetes directa y difusa a partir del dato de radiación global, dado que es el que comúnmente se puede obtener de una localización determinada.

### 3.1.1. Radiación fuera de la atmósfera terrestre

Lo primero que se menciona en dicho proceso es la obtención de la irradiancia denominada extra-terrestre o extra-atmosférica, que es la radiación que llega a la atmósfera, directamente desde el Sol, que no sufre ninguna pérdida por interaccionar con algún medio. Como la relación entre el tamaño de nuestro planeta y la distancia entre el Sol y la Tierra es muy reducida, es posible asumir que el valor de dicha irradiancia es constante, siendo este valor  $B_0 = 1367 \frac{W}{m^2}$ , según varias mediciones. Como la órbita que describe la Tierra alrededor del Sol no es totalmente circular, sino que tiene forma de elipse, para calcular la irradiancia incidente en una superficie tangente a la atmosfera en ua latitud concreta, debemos aplicar un factor de corrección de la excentricidad de la elipse:

$$B_0(0) = B_0 \epsilon_0 \cos \theta_{zs} \quad (3.2)$$

Siendo cada componente:

- Constante solar:  $B_0 = 1367 \frac{W}{m^2}$
  - Factor de corrección por excentricidad:  $\epsilon_0 = (\frac{r_0}{r})^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos(\frac{2\pi d_n}{365})^1$
  - Ángulo zenital solar:  $\cos(\theta_{zs}) = \cos(\delta)\cos(\omega)\cos(\phi) + \sin(\delta) + \sin(\phi)^2$  Donde:
    - Declinación:  $\delta = 23,45^\circ \cdot \sin(\frac{2\pi \cdot (d_n + 284)}{365})$  donde  $d_n$  es el día del año.
    - Latitud:  $\phi$
    - Hora solar o tiempo solar verdadero:  $\omega = 15 \cdot (TO - AO - 12) + \Delta\lambda + \frac{EoT}{4}$
- Donde:
- Hora oficial:  $TO$
  - Adelanto oficial durante el horario de verano:  $AO$
  - Diferencia entre la longitud local y la longitud del huso horario:  $\Delta\lambda$
  - Ecuación del tiempo:  $EoT = 229,18 \cdot (-0,0334 \cdot \sin(\frac{2\pi}{365,24} \cdot dn) + 0,04184 \cdot \sin(2 \cdot \frac{2\pi}{365,24} \cdot dn + 3,5884))$

Esta irradiancia extra-terrestre solo tiene componentes geométricas. De modo que, si integramos la ecuación 3.2, se obtiene la irradiación diaria extra-terrestre:

$$B_{0d}(0) = -\frac{T}{\pi} B_0 \epsilon_0 (\omega_s \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s) \quad (3.3)$$

Siendo:

- Ángulo del amanecer:

$$\omega_s = \begin{cases} -\arccos(-\tan \delta \tan \phi) & \text{si } |\tan \delta \tan \phi| < 1 \\ -\pi & \text{si } -\tan \delta \tan \phi < -1 \\ 0 & \text{si } -\tan \delta \tan \phi > 1 \end{cases}$$

Es posible demostrar que el promedio mensual de esta irradiación diaria coincide numéricamente con el valor de irradiación diaria correspondiente a los denominados “días promedios”, días en los que la declinación correspondiente coincide con el promedio mensual (tabla 3.1)

TABLA 3.1: Valor  $d_n$  correspondiente a los doce días promedio.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$d_n$	17	45	74	105	135	161	199	230	261	292	322	347

<sup>1</sup>Para las ecuaciones de este apartado se va a optar por poner la ecuación más simple posible. Sin embargo, el paquete **solar2** otorga la posibilidad de realizar los cálculos de utilizando las ecuaciones propuestas por 4 autores diferentes.

<sup>2</sup>Se van a utilizar las ecuaciones propuestas por P.I. Cooper [Coo69] por su simpleza.

### 3.1.2. Cálculo de componentes de radiación solar

Para caracterizar la radiación solar en un lugar, Liu y Jordan [LJ60] propusieron el índice de claridad,  $K_T$ . Este índice es la relación entre la radiación global y la radiación extra-atmosférica, ambas en el plano horizontal. El índice de claridad diario es la relación entre los valores diarios de irradiación:

$$K_{Td} = \frac{G_d(0)}{B_{0d}(0)} \quad (3.4)$$

mientras que el índice de claridad mensual es la relación entre las medias mensuales de la irradiación diaria:

$$K_{Tm} = \frac{G_{d,m}(0)}{B_{0d,m}(0)} \quad (3.5)$$

Una vez se tiene el índice de claridad, se puede calcular la fracción de radiación difusa en el plano horizontal. En el caso de medias mensuales [Pag61]:

$$F_{Dm} = 1 - 1,13 \cdot K_{Tm} \quad (3.6)$$

Donde:

- Fracción de radiación difusa:  $F_D = \frac{D(0)}{G(0)}$

Al tener la fracción de radiación difusa, se pueden obtener los valores de la radiación directa y difusa en el plano horizontal:

$$D_d(0) = F_D \cdot G_d(0) \quad (3.7)$$

$$B_d(0) = G_d(0) - D_d(0) \quad (3.8)$$

## 3.2. Radiación en superficies inclinadas

Dados los valores de irradiación diaria difusa, directa y global en el plano horizontal se puede realizar la transformación al plano inclinado. Para ello, es necesario estimar el perfil de irradiancia correspondiente a cada valor de irradiación. dado que la variación solar durante una hora es baja, podemos suponer que el valor medio de la irradiancia durante esa hora coincide numéricamente con la irradiación horaria. Por otra parte, el análisis de valores *medios* en *largas* series temporales ha mostrado que la relación entre la irradiancia y la irradiación extra-atmosférica [CR79] (3.9):

$$r_D = \frac{D(0)}{D_d(0)} = \frac{B_0(0)}{B_{0d}(0)} \quad (3.9)$$

Este factor  $r_D$  es calculable directamente sabiendo que la relación entre irradiancia e irradiación extra-atmosférica es deducible teóricamente a partir de las ecuaciones 3.2 3.3:

$$\frac{B_0(0)}{B_{0d}(0)} = \frac{\pi}{T} \cdot \frac{\cos(\omega) - \cos(\omega_s)}{\omega_s \cdot \cos(\omega_s) - \sin(\omega_s)} = r_D \quad (3.10)$$

el mismo análisis mostró una relación entre la irradiancia e irradiación global asimilable a una función dependiente de la hora solar (3.11):

$$r_G = \frac{G(0)}{G_d(0)} = r_D \cdot (a + b \cdot \cos(w)) \quad (3.11)$$

Donde:

- $a = 0,409 - 0,5016 \cdot \sin(\omega_s + \frac{\pi}{3})$
- $b = 0,6609 + 0,4767 \cdot \sin(\omega_s + \frac{\pi}{3})$

Es importante resaltar que estos perfiles proceden de medias sobre largos períodos, y de ahí que, como es observable en la figura 3.2, las fluctuaciones propias del movimiento de nubes a lo largo del día queden atenuadas y se obtenga una curva sin alteraciones.

### 3.2.1. Transformación al plano del generador

Una vez obtenidos los valores de irradiancia en el plano horizontal, se traspone al plano del generador:

- **Irradiancia Directa**  $B(\beta, \alpha)$ : Ecuación basada en geometría solar (ángulo zenital) y del generador (ángulo de incidencia).

$$B(\beta, \alpha) = B(0) \cdot \frac{\max(0, \cos(\theta_s))}{\cos(\theta_{zs})} \quad (3.12)$$

donde:

- Ángulo de inclinación:  $\beta$ .
- Ángulo de orientación:  $\alpha$ .
- **Irradiancia Difusa**  $D(\beta, \alpha)$ : Utilizando el modelo de cielo anisotrópico [Per23], se distinguen dos componentes de la irradiancia difusa, denominados *circunsolar* e *isotrópica*.

$$D(\beta, \alpha) = D^I(\beta, \alpha) + D^C(\beta, \alpha) \quad (3.13)$$

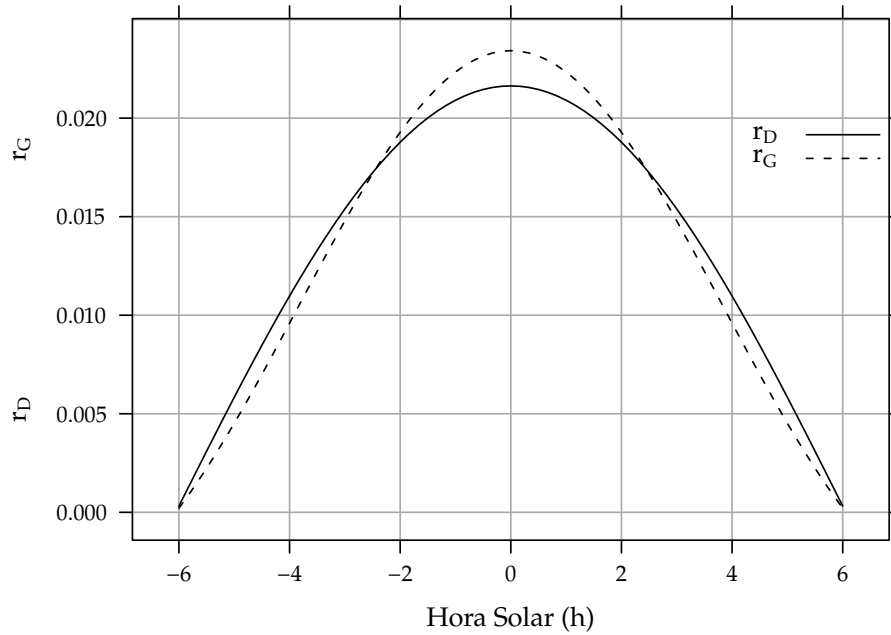


FIGURA 3.2: Perfil de irradiancia difusa y global obtenido a partir del generador empírico de [CR79] para valores de irradiancia tomadas cada 10 minutos

$$D^I(\beta, \alpha) = D(0)(1 - k_1) \cdot \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad (3.14)$$

$$D^C(\beta, \alpha) = D(0) \cdot k_1 \cdot \frac{\max(0, \cos(\theta_s))}{\cos(\theta_{zs})} \quad (3.15)$$

Donde:

- $k_1 = \frac{B(n)}{B_0 \cdot \epsilon_0} = \frac{B(0)}{B_0(0)}$

- **Irradiancia de albedo**  $R(\beta, \alpha)$ : Se considera isotrópica debido a su baja contribución a la radiación global. Se calcula a partir de la irradiancia global en el plano horizontal usando un coeficiente de reflexión,  $\rho$ , que depende del terreno. En la ecuación 3.16, se utiliza el factor  $\frac{1 - \cos(\beta)}{2}$ , complementario al factor de visión de la difusa isotrópica (figura 3.3)

$$R(\beta, \alpha) = \rho \cdot G(0) \cdot \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \quad (3.16)$$

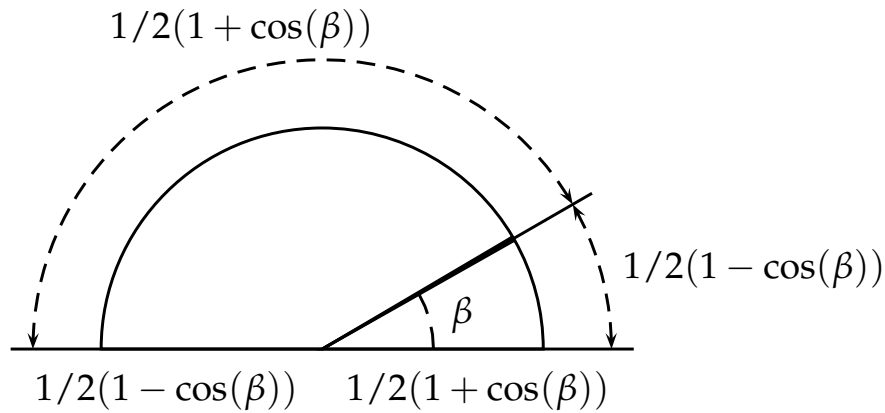
### 3.2.2. Ángulo de incidencia y suciedad

En un módulo fotovoltaico, la radiación incidente generalmente no es perpendicular a la superficie del módulo, lo que provoca pérdidas por reflexión o pérdidas angulares, cuantificadas por el ángulo de incidencia  $\theta_s$ . La suciedad acumulada en la superficie del módulo también reduce la transmitancia del vidrio (representada por  $T_{limpio}(0)$ ), disminuyendo la irradiancia efectiva, es decir, la radiación que realmente puede ser aprovechada por el módulo. La irradiancia efectiva para radiación directa se expresa en la ecuación 3.17:

$$B_{ef}(\beta, \alpha) = B(\beta, \alpha) \cdot \left[ \frac{T_{sucio}(0)}{T_{limpio}(0)} \right] \cdot (1 - FTB(\theta_s)) \quad (3.17)$$

donde  $FTB(\theta_s)$  es el factor de pérdidas angulares, que se calcula con la ecuación 3.18:

$$FTB(\theta_s) = \frac{\exp(-\frac{\cos(\theta_s)}{a_r}) - \exp(-\frac{1}{a_r})}{1 - \exp(-\frac{1}{a_r})} \quad (3.18)$$




---

FIGURA 3.3: Ángulo de visión del cielo

Este factor depende el ángulo de incidencia  $\theta_s$  y del coeficiente de pérdidas angulares  $a_r$ . Cuando la radiación es perpendicular a la superficie ( $\theta_s = 0$ ),  $FTB$  es cero. En la figura 3.4 se puede observar que las pérdidas angulares son más significativas cuando  $\theta_s$  supera los  $60^\circ$ , y se acentúan con mayor suciedad.

Para calcular las componente de radiación difusa isotrópica y de albedo se utilizan las ecuaciones 3.19 y 3.2.2:

$$FTD(\beta) \approx \exp\left[-\frac{1}{a_r} \cdot \left(c_1 \cdot \left(\sin\beta + \frac{\pi - \beta - \sin\beta}{1 + \cos\beta}\right) + c_2 \cdot \left(\sin\beta + \frac{\pi - \beta - \sin\beta}{1 + \cos\beta}\right)^2\right)\right] \quad (3.19)$$

$$FTR(\beta) \approx \exp\left[-\frac{1}{a_r} \cdot \left(c_1 \cdot \left(\sin\beta + \frac{\beta - \sin\beta}{1 - \cos\beta}\right) + c_2 \cdot \left(\sin\beta + \frac{\beta - \sin\beta}{1 - \cos\beta}\right)^2\right)\right] \quad (3.20)$$

Donde:

- Ángulo de inclinación del generador (en radianes):  $\beta$
- Coeficiente de pérdidas angulares:  $a_r$
- Coeficientes de ajuste:  $c_1$  y  $c_2$  (en la tabla 3.2 se recogen algunos valores característicos de un módulo de silicio monocristalino convencional para diferentes grados de suciedad)

Para estas componenetes el cálculo de irradiancia efectiva es similar al de la irradiancia directa (ecuaciones 3.21 y 3.23). Para la componente difusa circunsolar emplearemos el factor de pérdidas angulares de la irradiancia efectiva (ecuacion 3.22):

$$D_{ef}^I(\beta, \alpha) = D^I(\beta, \alpha) \cdot \left[\frac{T_{sucio}(0)}{T_{limpio}(0)}\right] \cdot (1 - FTD(\beta)) \quad (3.21)$$

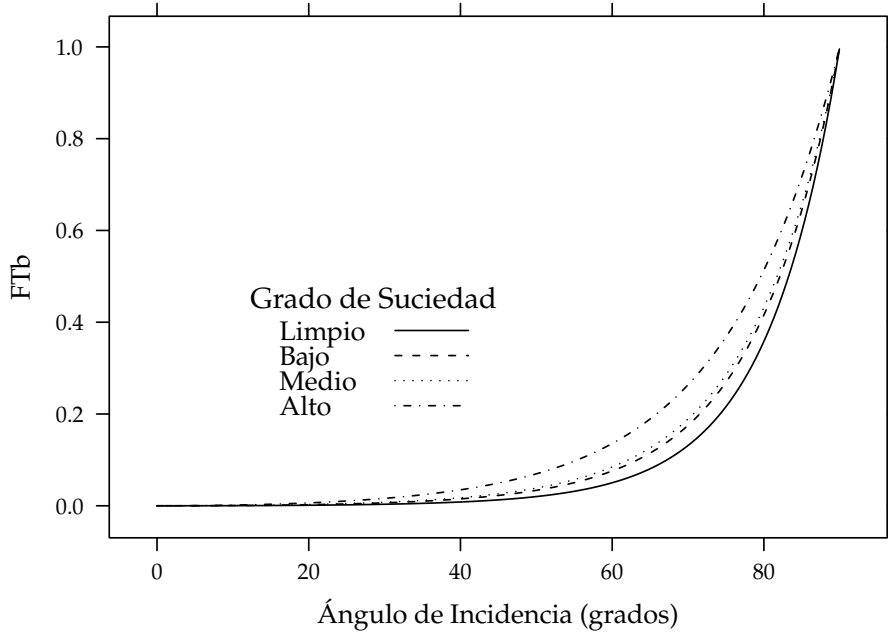


FIGURA 3.4: Pérdidas angulares de un módulo fotovoltaico para diferentes grados de suciedad en función del ángulo de incidencia.

TABLA 3.2: Valores del coeficiente de pérdidas angulares y transmitancia relativa en incidencia normal para diferentes tipos de suciedad.

Grado de suciedad	$\frac{T_{sucio}(0)}{T_{limpio}(0)}$	$a_r$	$c_2$
Limpio	1	0.17	-0.069
Bajo	0.98	0.20	-0.054
Medio	0.97	0.21	-0.049
Alto	0.92	0.27	-0.023

$$D_{ef}^C(\beta, \alpha) = D^C(\beta, \alpha) \cdot \left[ \frac{T_{sucio}(0)}{T_{limpio}(0)} \right] \cdot (1 - FT_B(\theta_s)) \quad (3.22)$$

$$R_{ef}(\beta, \alpha) = R(\beta, \alpha) \cdot \left[ \frac{T_{sucio}(0)}{T_{limpio}(0)} \right] \cdot (1 - FT_R(\beta)) \quad (3.23)$$

Siguiendo el esquema de la figura 3.1, a partir de estas irradiancias efectivas se puede calcular la irradiación global efectiva diaria, mensual y anual. Comparando la irradiación global incidente con la irradiación efectiva, se puede evaluar el impacto de la suciedad y el desajuste del ángulo en períodos prolongados.

### 3.3. Cálculo de la energía producida por un generador fotovoltaico

#### 3.3.1. Funcionamiento de una célula solar

Para calcular la energía producida por un generador fotovoltaico, se deben tener en cuenta la influencia de factores tales como la radiación o la temperatura en una célula solar y en los valores de tensión y corriente que se alcanzan en dichas condiciones.

Para definir una célula solar, se tomar 4 variables:

- La corriente de cortocircuito:  $I_{sc}$
- La tensión de circuito abierto:  $V_{oc}$
- La corriente en el punto de máxima potencia:  $I_{mpp}$
- La tensión en el punto de máxima potencia:  $V_{mpp}$

#### Punto de máxima potencia

El punto de máxima potencia es aquel situado en la curva de funcionamiento del generador donde, como su propio nombre indica, los valores de tensión y corriente son tales que la potencia que entrega es máxima (figura 3.5).

#### Factor de forma y eficiencia

El área encerrada por el rectángulo definido por el producto  $I_{mpp} \cdot V_{mpp}$  es, como es observable en la figura 3.5, inferior a la representada por el producto  $I_{sc} \cdot V_{oc}$ . La relación entre estas dos superficies se cuantifica con el factor de forma:

$$FF = \frac{I_{mpp} \cdot V_{mpp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (3.24)$$



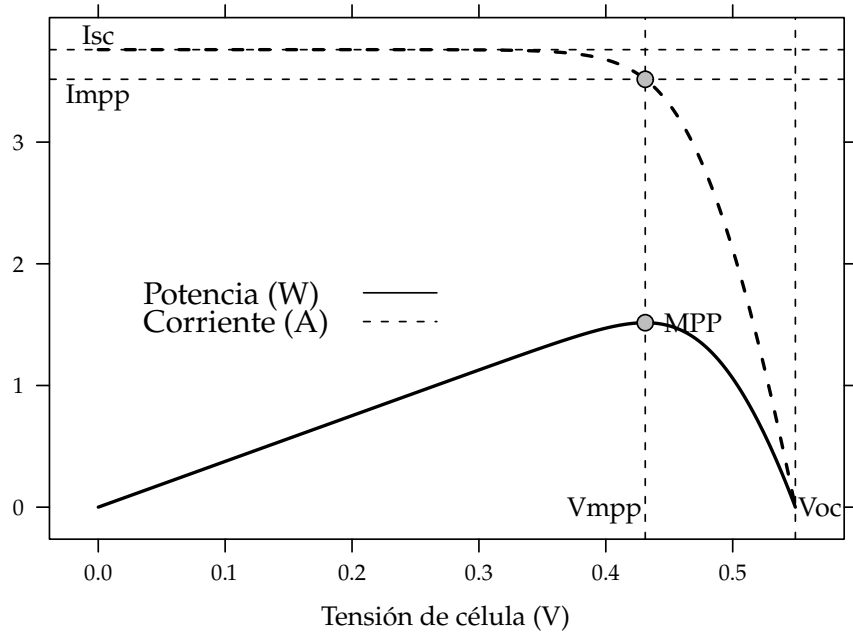


FIGURA 3.5: Curvas corriente-tensión(línea discontinua) y potencia-tensión(línea continua) de una célula solar ( $T_a = 20^\circ\text{C}$  y  $G = 800\text{W}/\text{m}^2$ )

Conociendo los valores de  $I_{sc}$  y  $V_{oc}$  es posible calcular la potencia en el punto de máxima potencia, dado que  $P_{mpp} = FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}$ .

Por otra parte, la calidad de una célula se puede cuantificar con la eficiencia de conversión (ecuación 3.25).

$$\eta = \frac{I_{mpp} \cdot V_{mpp}}{P_L} \quad (3.25)$$

donde  $P_L = A_c \cdot G_{ef}$  representa la potencia luminosa que incide en la célula. Como es evidente de la ecuación 3.25, este valor de eficiencia se corresponde al caso en el que el acoplamiento entre la carga y la célula permite a ésta trabajar en el punto de máxima potencia. En la figura 3.6 se muestra la evolución temporal del valor de eficiencia de célula de laboratorio para diferentes tecnologías.

### Influencia de la temperatura y la radiación

La temperatura y la radiación son factores cruciales en el funcionamiento de una célula solar. El aumento de la temperatura ambiente reduce la tensión de circuito abierto según la relación  $dV_{oc}/dT_c$ , que para células de silicio cristalino es de  $-2,3 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}}$ . Además, disminuye la eficiencia de la célula solar con  $\frac{d\eta}{dT_c} = -0,4 \text{ } \%/^\circ\text{C}$ .

En cuanto a la iluminación, la fotocorriente y la tensión de circuito abierto son proporcionales a la irradiancia incidente.

Tomando en cuenta estas influencias, se definen unas condiciones de funcionamiento, denominadas condiciones estándar de medida (STC), válidas para caracterizar una célula en el entorno de un laboratorio. Estas condiciones vienen determinadas por:

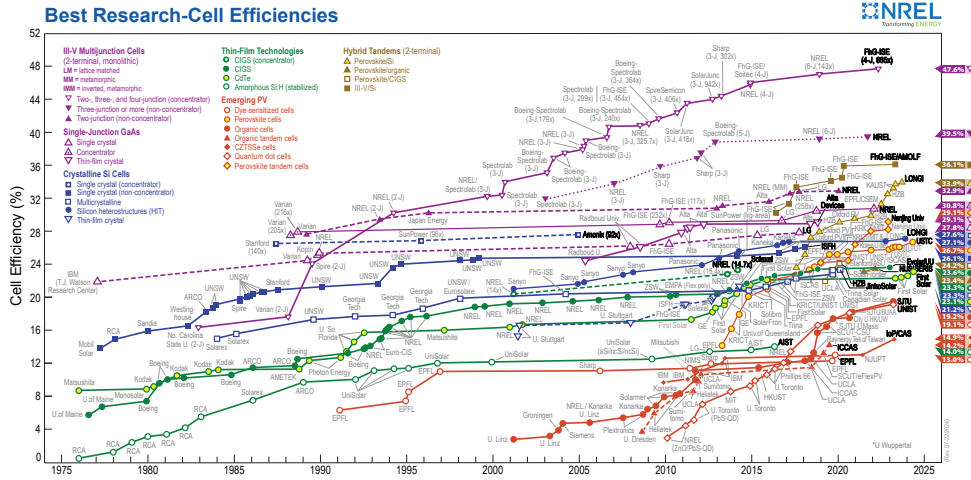


FIGURA 3.6: Evolución de la eficiencia de células según la tecnología (según el National Renewable Energy Laboratory [Nat24] (EEUU)).

- Irradiancia:  $G_{stc} = 1000W/m^2$  con incidencia normal.
- Temperatura de célula:  $T_c^* = 25^\circ C$ .
- Masa de aire:  $AM = 1,5$ .<sup>3</sup>

Frecuentemente los fabricantes informan de los valores de las tensiones  $V_{oc}^*$  y  $V_{mpp}^*$  y las corrientes  $I_{sc}^*$  y  $I_{mpp}^*$ .<sup>4</sup> A partir de estos valores es posible referir a estas condiciones:

- La potencia:  $P_{mpp}^* = I_{mpp}^* \cdot V_{mpp}^*$
- El factor de forma:  $FF^* = \frac{P_{mpp}^*}{I_{sc}^* \cdot V_{oc}^*}$
- La eficiencia:  $\eta^* = \frac{I_{mpp}^* \cdot V_{mpp}^*}{A_c \cdot G_{stc}}$

### 3.3.2. Funcionamiento de un módulo fotovoltaico

#### Comportamiento térmico de un módulo

La mayoría de las ecuaciones que definen el comportamiento de un módulo fotovoltaico se establecen en lo que se conocen como condiciones estándar de funcionamiento. En estas condiciones, la temperatura de la célula es de  $25^\circ C$ . Sin embargo, la temperatura de operación de la célula es diferente y depende directamente de la radiación que recibe el módulo en cada momento.

El módulo recibe una cantidad de radiación dada, absorbiendo la fracción de ésta que no se refleja al exterior. De dicha fracción, parte de ella es transformada en energía eléctrica mientras que el resto se entrega en forma de calor al entorno.

<sup>3</sup>Relación entre el camino recorrido por los rayos directos del Sol a través de la atmósfera hasta la superficie receptora y el que recorrerían en caso de incidencia vertical ( $AM = 1/\cos\theta_{zs}$ ).

<sup>4</sup>Es de uso común añadir un asterisco como superíndice para denotar aquellos parámetros medidos en estas condiciones.

Para simplificar, se puede asumir que el incremento de la temperatura de la célula respecto de la temperatura ambiente depende linealmente de la irradiancia incidente en ésta. El coeficiente de proporcionalidad depende de muchos factores, tales como el modo de instalación del módulo, la velocidad del viento, la humedad ambiente y las características constructivas del laminado.

Estos factores quedan recogidos en un valor único representado por la temperatura de operación nominal de célula (NOCT o TONC), definida como aquella que alcanza una *célula* cuando su *módulo* trabaja en las siguientes condiciones:

- Irradiancia:  $G = 800 \text{ W/m}^2$ .
- Masa de aire:  $AM = 1,5$ .
- Irradiancia normal.
- Temperatura ambiente:  $T_a = 20^\circ \text{C}$ .
- Velocidad de viento:  $v_v = 1 \text{ m/s}$ .

La ecuación 3.26 expresa una aproximación aceptable del comportamiento térmico de una célula integrada en un módulo en base a las consideraciones previas:

$$T_c = T_a + G_{ef} \cdot \frac{NOCT - 20}{800} \quad (3.26)$$

Para la simulación del funcionamiento de un módulo fotovoltaico en condiciones de operación real, es necesario contar con secuencias de valores de temperatura ambiente. Si no se dispone de información detallada, se puede asumir un valor constante de  $T_a = 25^\circ \text{C}$  para simulaciones anuales. Sin embargo, si se conocen los valores máximos y mínimos diarios de la temperatura ambiente, se puede generar una secuencia intradiaria usando una combinación de funciones coseno.

### Cálculo de $V_{oc}$ y $I_{sc}$

Conociendo ya los valores horarios de temperatura de la célula, se puede calcular  $V_{oc}$  utilizando la ecuación 3.27. Y, por último, mediante la ecuación 3.28 se puede calcular  $I_{sc}$ .

$$V_{oc}(T_c) = V_{oc}^* + (T_c - T_c^*) \cdot \frac{dV_{oc}}{dT_c} \cdot N_{cs} \quad (3.27)$$

$$I_{sc} = G_{ef} \cdot \frac{I_{sc}^*}{G^*} \quad (3.28)$$

### Factor de forma variable

Una vez obtenidos los valores de  $V_{oc}$  y  $I_{sc}$ , el siguiente paso ha de ser calcular los valores de tensión y corriente en el punto de máxima potencia, pues es donde el generador estará entregando su máxima potencia, como su propio nombre indica, y por tanto es un punto de interés para el cálculo.

Existen dos metodologías de cálculo de dicho punto, uno de ellos significativamente más sencillo que el otro. Éste consiste en suponer que el Factor de Forma, definido en la expresión 3.24 es constante.

Si suponemos que  $FF$  es constante, se podrían extraer los valores de tensión y corriente en el punto de máxima potencia ya que si

$$FF = FF^* \quad (3.29)$$

entonces

$$\frac{I_{mpp} \cdot V_{vmpp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} = \frac{I_{mpp}^* \cdot V_{vmpp}^*}{I_{sc}^* \cdot V_{oc}^*} \quad (3.30)$$

pudiendo así obtener los valores de  $I_{mpp}$  y  $V_{vmpp}$ .

Sin embargo, esta suposición da resultados alejados a una estimación acertada. Por ello, se tendrá en cuenta la variación del factor de forma:

- **Cálculo de la tensión termica,  $V_t$ , a temperatura de la célula:** Se calculará el valor de  $V_t$  a 25°C con la expresión:

$$V_{tn} = \frac{V_t \cdot (273 + 25)}{300} \quad (3.31)$$

- **Cálculo de  $R_s^*$ :** El segundo paso consiste en calcular el valor de resistencia en serie con los valores STC:

$$R_s^* = \frac{\frac{V_{oc}^*}{N_{cs}} - \frac{V_{mpp}^*}{N_{cs}} + m \cdot V_{tn} \cdot \ln(1 - \frac{I_{mpp}^*}{I_{sc}^*})}{\frac{I_{mpp}^*}{N_{cp}}} \quad (3.32)$$

- **Cálculo de  $r_s$ :** Utilizando los valores de  $R_s^*$  calculado en el paso anterior junto con los valores de  $V_{oc}$  y  $I_{sc}$  podemos calcular  $r_s$  que se utilizará más adelante en el proceso.

$$r_s = R_s^* \cdot \left( \frac{N_{cs}}{N_{cp}} \cdot \frac{I_{sc}}{V_{oc}} \right) \quad (3.33)$$

- **Cálculo de  $k_{oc}$ :** A continuación, utilizando los valores de temperatura ambiente obtenidos con anterioridad junto con la tensión de circuito abierto, se calcula  $k_{oc}$  mediante la expresión:

$$k_{oc} = \frac{V_{oc}/N_{cs}}{m \cdot V_t \cdot \frac{T_c + 273}{300}} \quad (3.34)$$

Con éstos cálculos previos, éste método propone localizar el punto de máxima potencia de forma aproximada mediante las ecuaciones:

$$i_{mpp} = 1 - \frac{D_M}{k_{oc}} \quad (3.35)$$

$$v_{mpp} = 1 - \frac{\ln(k_{oc}/D_M)}{k_{oc}} - r_s \cdot i_{mpp} \quad (3.36)$$

donde:

$$D_M = D_{M0} + 2 \cdot r_s \cdot D_{M0}^2 \quad (3.37)$$

$$D_{M0} = \frac{k_{oc} - 1}{k_{oc} - \ln k_{oc}} \quad (3.38)$$

Por último, multiplicando los valores de  $i_{mpp}$  y  $v_{mpp}$  por  $I_{sc}$  y  $V_{oc}$  respectivamente, se obtienen los valores de  $I_{mpp}$  y  $V_{mpp}$  que serán los que se utilicen para calcular la potencia entregada por el generador en el punto de máxima potencia.

Teniendo estos valores se puede obtener:

$$P_{mpp} = I_{mpp} \cdot V_{mpp} \quad (3.39)$$

### 3.3.3. Cálculo de potencias y energías de un sistema fotovoltaico conectado a la red

La potencia obtenida en el paso anterior es la de un solo módulo. Para conocer la potencia que va a ser capaz de entregar un socr, se debe tener en cuenta su configuración de módulos en serie y en paralelo.

$$P_g^* = N_s \cdot N_p \cdot P_m^* \quad (3.40)$$

Con este paso se obtiene la potencia horaria entregada por el generador fotovoltaico. El siguiente paso será pasar esa potencia a través del inversor y calcular la potencia a la salida de este.

Primero, se establecen las expresiones de las potencias normalizadas. Siendo  $P_{inv}$  la potencia nominal del inversor:

$$p_i = \frac{P_{DC}}{P_{inv}} \quad (3.41)$$

$$p_o = \frac{P_{AC}}{P_{inv}} \quad (3.42)$$

Por otro lado, el rendimiento de un inversor fotovoltaico se puede modelizar de la siguiente manera:

$$\eta_{inv} = \frac{p_o}{p_o + k_0 + k_1 p_o + k_2 p_o^2} \quad (3.43)$$

De las dos ecuaciones anteriores se puede deducir:

$$p_i = p_o + k_0 + k_1 p_o + k_2 p_o^2 \quad (3.44)$$

Desarrollando esta ecuación, se puede obtener una ecuación de segundo grado con  $p_o$  como incógnita:

$$k_2 p_o^2 + (k_1 + 1)p_o + (k_0 - p_i) = 0 \quad (3.45)$$

Por último, volviendo a las primeras expresiones se puede obtener la potencia en corriente alterna:

$$P_{AC} = p_o \cdot P_{inv} \quad (3.46)$$

Con esta potencia, integrando en función del tiempo se puede obtener la energía que genera el sistema

$$E_{AC} = \int_T P_{AC} dt \quad (3.47)$$

y la productividad:

$$Y_f = \frac{E_{ac}}{P_g^*} \quad (3.48)$$

### 3.3.4. Cálculo de potencias y energías de un sistema fotovoltaico de bombeo

#### Potencia hidráulica

La potencia hidráulica,  $P_H$ , necesaria para bombear agua es función de,

- La altura vertical aparente,  $H_v$
- El caudal de agua,  $Q$

$$P_H = g \cdot \rho \cdot Q \cdot H_V \quad (3.49)$$

Expresando  $P_H$  en watios,  $H_v$  en metros y  $Q$  en  $m^3/h$  la ecuación resulta en:

$$P_H = 2,725 \cdot Q \cdot H_v \quad (3.50)$$

Asumiendo que el agua bombeado sale por el co ducto a baja velocidad, la potencia de salida de la bomba necesita satisfacer  $P_H$  más las pérdidas de fricción en la tubería,  $P_f$ . Este valor se asimila a una altura equivalente  $H_f$  asociado a un caudal determinado:

$$H_T = H_v + H_f \quad (3.51)$$

La potencia eléctrica a la entrada de la motobomba,  $P_{el}$ , es:

$$P_{el} = \frac{P_H + P_f}{\eta_{mp}} \quad (3.52)$$

donde  $\eta_{mp}$  es la eficiencia de la motobomba. La potencia eléctrica requerida por la motobomba es entregada por un generador FV y acondicionador de potencia:

$$P_{el} = P_g^* \cdot \frac{G}{G_{stc}} \cdot \frac{\eta_g}{\eta_g^*} \cdot \eta_{inv} \quad (3.53)$$

siendo  $G$  la irradiancia en el plano del generador,  $\eta_{inv}$  la eficiencia del equipo de acondicionamiento de potencia y  $\frac{\eta_g}{\eta_g^*}$  modela el comportamiento del generador con la temperatura.

### Caudal diario

El caudal diario bombeado por este conjunto es:

$$Q_d = \int_d \frac{G}{G^*} \cdot P_g^* \cdot \eta_g \cdot \frac{\eta_{ig}}{\eta_{ig}^*} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{mp} dt \quad (3.54)$$

### Altura

Se puede definir una altura total equivalente,  $H_{TE}$ , con las siguientes suposiciones:

- Las pérdidas de fricción en tubería son despreciables ( $H_f < 0,05 \cdot H_T$ ).
- El nivel del agua dentro del pozo se mantiene constante.

$$Q_d = \frac{P_g^*}{2,725 \cdot G^* \cdot H_{TE}} \int \left( \frac{G}{\eta_{ig}^* \eta_m^* \eta_{inv} \eta_{mp}} \right) dt \quad (3.55)$$

Ahora el cálculo en la integral sólo depende de la radiación, temperatura, y equipos.

Para calcular esta altura total equivalente, se debe suponer que:

- El pozo está caracterizado con tres parámetros:
  - Nivel estático,  $H_{st}$ .
  - Nivel dinámico,  $H_{dt}$ .
  - Caudal de ensayo,  $Q_t$ .

- Que se ha realizado el ensayo de bombeo para caracterizar los pozos con bomba portátil empleando el caudal máximo del pozo,  $Q_{max}$  ( $Q_t = Q_{max}$ ).

Con estas suposiciones se puede llegar a la expresión:

$$H_{TE} = H_{ot} + H_{st} + \left( \frac{H_{dt} - H_{st}}{Q_T} \right) Q_{AP} + H_f(Q_{AP}) \quad (3.56)$$

donde:

- $H_{OT}$ , es la altura desde la salida de agua hasta el suelo.
- Nivel estático,  $H_{st}$ .
- Nivel dinámico,  $H_{dt}$ .
- Caudal aparente,  $Q_{AP} = \alpha \cdot Q_d$  ( $\alpha = 1/24 = 0,0416h^{-1}$ ).
- $H_f(Q_{AP})$ , pérdidas en la tubería al caudal aparente.

### Potencia del generador

Como primera aproximación, se consideran constantes a lo largo del tiempo las eficiencias de los componentes del sistema con la elección de ciertos valores adecuados ( $\frac{\eta_g}{\eta_g^*} = 0,85$ ,  $\eta_{mp} = 0,35$ ,  $\eta_{inv} = 0,9$ ). Así, es posible calcular de forma aproximada la potencia nominal del generador necesaria para bombear un caudal diario  $Q_d$  a una altura total equivalente  $H_{TE}$  a partir de la ecuación:

$$P_g^* = \frac{10 \cdot H_{TE} \cdot Q_d}{\frac{G_d}{G_{stc}}} \quad (3.57)$$

### Simulación de sistemas fotovoltaicos de bombeo

Debido a la complicación del cálculo del dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos de bombeo, se puede recurrir a métodos de simulación asistidos por ordenaor. El algoritmo a seguir es:

1. Curva característica de la bomba que relaciona la altura,  $H$ , y el caudal,  $Q$ , a la frecuencia nominal de la bomba:

$$H = a \cdot f^2 + b \cdot f \cdot Q + c \cdot Q^2 \quad (3.58)$$

- Donde  $a$ ,  $b$ , y  $c$  son coeficientes característicos de la bomba y  $f$  es la frecuencia.

2. Relaciones de semejanza para bombas centrífugas:

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \left( \frac{H_1}{H_2} \right)^{1/2} = \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{1/3} \quad (3.59)$$

3. Cálculo de caudal y altura a frecuencia nominal (50 Hz):

$$Q_{50} = \frac{50 \cdot Q}{f} \quad (3.60)$$

$$H_{50} = H \cdot \left( \frac{50}{f} \right)^2 \quad (3.61)$$

4. Ecuación de potencia hidráulica:

$$P_{h,50} = 2,725 \cdot Q_{50} \cdot H_{50} \quad (3.62)$$

5. Potencia mecánica en el eje de la bomba a 50 Hz:

$$P_{b,50} = \frac{P_{h,50}}{\eta_b} \quad (3.63)$$

6. Potencia mecánica a frecuencia  $f$ :

$$P_b = P_{b,50} \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^3 \quad (3.64)$$

7. Potencia eléctrica demandada por el motor:

$$P_{bc} = P_b \cdot \frac{50}{f} \quad (3.65)$$

$$P_{e,50} = \frac{P_{bc}}{\eta_m} \quad (3.66)$$

$$P_e = P_{e,50} \cdot \frac{f}{50} \quad (3.67)$$

8. Perfil de irradiancia diaria (según IEC 61725):

$$G = G_{max} \cdot \cos\left(\frac{t}{t_0} \cdot \frac{\pi}{2}\right) \cdot \left[1 + s \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{t}{t_0} \cdot \frac{\pi}{2}\right)\right)\right] \quad (3.68)$$

donde  $G$  es la irradiancia ( $W/m^2$ ) en la hora  $t$ ,  $G_{max}$  es el valor máximo de irradiancia ( $W/m^2$ ) durante el día en cuestión, y  $s$  es el factor de forma definido por:

$$s = \frac{d \cdot \frac{\pi}{2} - 1}{1 - \frac{\pi}{4}} \quad (3.69)$$

siendo  $d$  el factor de conjunto de datos calculado con:

$$d = \frac{G_d}{G_{max} \cdot h} \quad (3.70)$$

### 3.4. Sombras y ocupación de terreno

Al diseñar una central fotovoltaica se debe decidir la ubicación de las diferentes partes del generador resolviendo un compromiso entre la mejor ocupación del terreno disponible y la minimización del impacto de sombras mutuas arrojadas entre los módulos.

Este factor de sombras implica un nivel de ocupación de terreno que depende del modo de seguimiento del generador. La ocupación del terreno se puede medir con dos métricas:

- Relación de ocupación del terreno (*Ground Coverage Ratio*,  $GCR$ ): es la relación entre el área del generador,  $A_G$ , y el área del terreno ocupado,  $A_T$  (por tanto, siempre será  $GCR < 1$ ).

$$GCR = \frac{A_G}{A_T} \quad (3.71)$$

- Ratio de ocupación del terreno ( $ROT$ , o *Ground Requirement Ratio*,  $GRR$ ): es el inverso del  $GCR$ , la relación entre el área de terreno ocupado,  $A_T$ , y el área del generador,  $A_G$ .

$$ROT = \frac{A_T}{A_G} \quad (3.72)$$



### 3.4.1. Sistemas estáticos

Las filas que componen el generador arrojan sombras unas sobre otras en determinados momentos del día y año. Como recomendación general, es de uso común respetar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno libres de sombra. La longitud de la sombra de un obstáculo se mide con:

$$d = \frac{h}{\tan \gamma_s} \quad (3.73)$$

siendo  $h$  la altura de la fila adyacente,  $h = L \cdot \sin(\beta)$  y  $L$  la longitud del generador, según se indica en la figura 3.7.

En el mediodía del solsticio de invierno la altura solar es  $\gamma_s = 90^\circ - 23,45^\circ - |\phi| \simeq 67^\circ - |\phi|$ . Por tanto, la distancia mínima que permite 4 horas libres de sombra alrededor del mediodía es:

$$d_{min} = \frac{h}{\tan(61^\circ - |\phi|)} \quad (3.74)$$

### 3.4.2. Sistemas de seguimiento a doble eje

El diseño de un sistema de seguimiento solar a doble eje busca optimizar la ubicación de los seguidores para minimizar las pérdidas de radiación por sombras, utilizando eficientemente el terreno. Para esto, se simula el sistema en diferentes configuraciones y se elige la más eficiente en términos de productividad y ROT, que se calcula con la fórmula:

$$ROT = \frac{L_{ns} \cdot L_{eo}}{L \cdot W} \quad (3.75)$$

donde (figuras 3.8 y 3.9):

- $L_{ns}$  es la separación entre seguidores en la dirección Norte-Sur.
- $L_{eo}$  es la separación en la dirección Este-Oeste.
- $L$  es la longitud del seguidor.
- $W$  es la anchura del seguidor.

El sistema se modela como un grupo de seis seguidores en una matriz de dos filas en dirección Norte-Sur (figura 3.10), representando tres situaciones de sombra: lateral (Este-Oeste), frontal

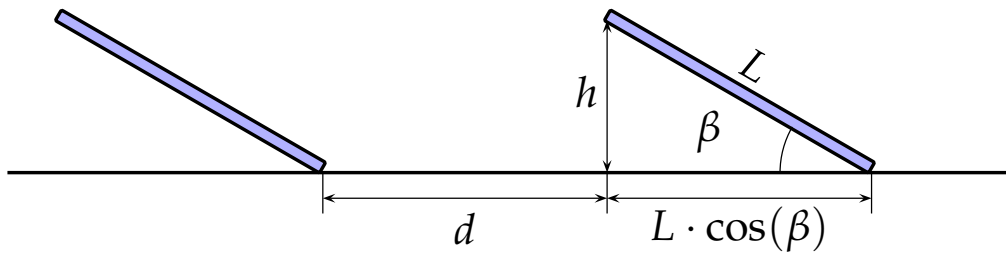


FIGURA 3.7: Dimensiones y distancias entre filas de un sistema estático.

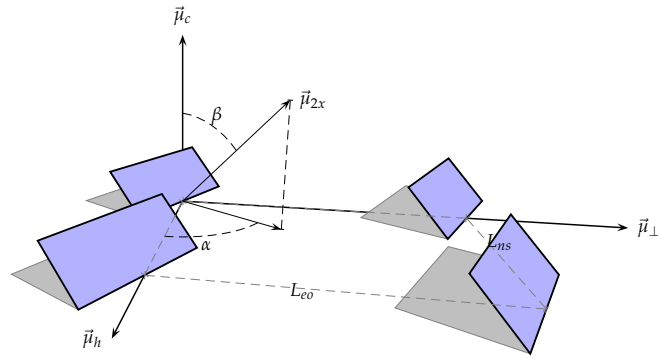


FIGURA 3.8: Sombras mutuas en un conjunto de cuatro seguidores.

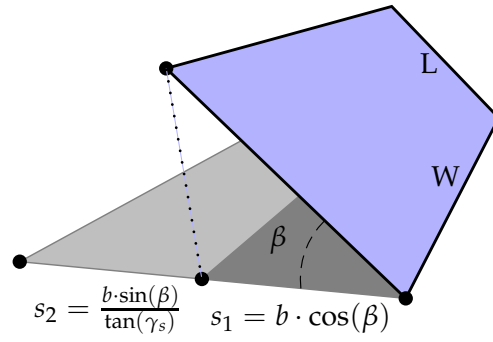


FIGURA 3.9: Dimensiones de un seguidor a doble eje y longitud de su sombra arrojada.

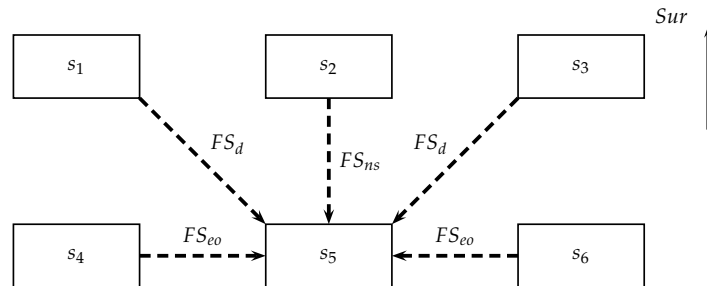


FIGURA 3.10: Posibles sombras en un conjunto de seis seguidores.

(Norte-Sur) y diagonal, caracterizados por los factores de sombra  $FS_{xx}$ , definidos como la relación entre el área sombreada y el área total del generador. Las ecuaciones para estos factores son, en las que se emplean los valores normalizados de las distancias,  $l_{eo} = \frac{L_{eo}}{W}$  y  $l_{ns} = \frac{L_{ns}}{W}$ :

$$\begin{aligned} |l_{eo} \cdot \cos(\psi_s)| < 1 \\ |l_{eo} \cdot \sin(\psi_s)| < s \end{aligned} \Rightarrow FS_{eo} = \frac{(1 - |l_{eo} \cos(\psi_s)|) \cdot (s - |l_{eo} \sin(\psi_s)|)}{s} \quad (3.76)$$

$$\begin{aligned} |l_{ns} \cdot \cos(\psi_s)| < s \\ |l_{ns} \cdot \sin(\psi_s)| < 1 \end{aligned} \Rightarrow FS_{ns} = \frac{(s - |l_{ns} \cos(\psi_s)|) \cdot (1 - |l_{ns} \sin(\psi_s)|)}{s} \quad (3.77)$$

$$\begin{aligned} s &> |l_{ns} \cdot \cos(\psi_s)| + |l_{eo} \sin(\psi_s)| \\ 1 &> |l_{eo} \cdot \cos(\psi_s)| - |l_{ns} \cdot \sin(\psi_s)| \end{aligned} \Rightarrow$$

$$FS_d = \frac{[s - (|l_{eo} \cdot \sin(\psi_s)| + |l_{ns} \cos(\psi_s)|)] \cdot [1 - (|l_{eo} \cdot \cos(\psi_s)| - |l_{ns} \sin(\psi_s)|)]}{s} \quad (3.78)$$

siendo  $\psi_s$  el acimut solar y  $\gamma_s$  la altura solar y donde la longitud de sombra (normalizada con la anchura del seguidor) se calcula con:

$$s = s_1 + s_2 \quad (3.79)$$

$$s_1 = b \cdot \cos(\beta) \quad (3.80)$$

$$s_2 = \frac{b \cdot \sin(\beta)}{|\tan(\gamma_s)|} \quad (3.81)$$

El factor  $\frac{\sin(\gamma_s)}{\sin(\gamma_s + \beta)}$  representa la proyección de sombra existente en el suelo sobre el plano del generador, y por tanto, el porcentaje de área sombreada que debe ser eliminado de la radiación directa. Desarrollando este factor se obtiene una formulación alternativa que puede facilitar el cálculo de los tres factores:

$$FS_{eo} = \frac{(1 - l_{eo} \cos(\psi_s)) \cdot (s - l_{eo} \sin(\psi_s))}{s} \quad (3.82)$$

$$FS_{ns} = \frac{(s - l_{ns} \cos(\psi_s)) \cdot (1 - l_{ns} \sin(\psi_s))}{s} \quad (3.83)$$

$$FS_d = \frac{[s - (l_{eo} \cdot \sin(\psi_s) + l_{ns} \cos(\psi_s))] \cdot [1 - (l_{eo} \cdot \cos(\psi_s) - l_{ns} \sin(\psi_s))]}{s} \quad (3.84)$$

Realizando la simulación de este sistema incluyendo el cálculo de sombras, y repitiendo la simulación para varias combinaciones (Lns, Leo) pueden elaborarse gráficos de nivel como el de la figura 3.11, donde se recoge el ratio entre la energía anual producida por un seguidor *promedio* incluyendo el efecto de por sombras mutuas<sup>5</sup> y la energía anual producida por un seguidor sin sombreado.

### 3.4.3. Sistemas de seguimiento de eje horizontal

Se considera que los seguidores son de longitud infinita en sentido Norte-Sur (se desprecia el efecto de borde). Así, los parámetros que determinan el diseño de este tipo de sistema son (figura 3.12):

1. La inclinación del generador fotovoltaico,  $\beta$ , (coincidente con el ángulo  $\psi_{ns}$ ).

<sup>5</sup>En el cálculo de la producción del seguidor afectado por sombras mutuas se considera que la reducción en potencia está exclusivamente relacionada con el área sombreada, por tanto, no se tienen en cuenta las conexiones eléctricas entre módulos.

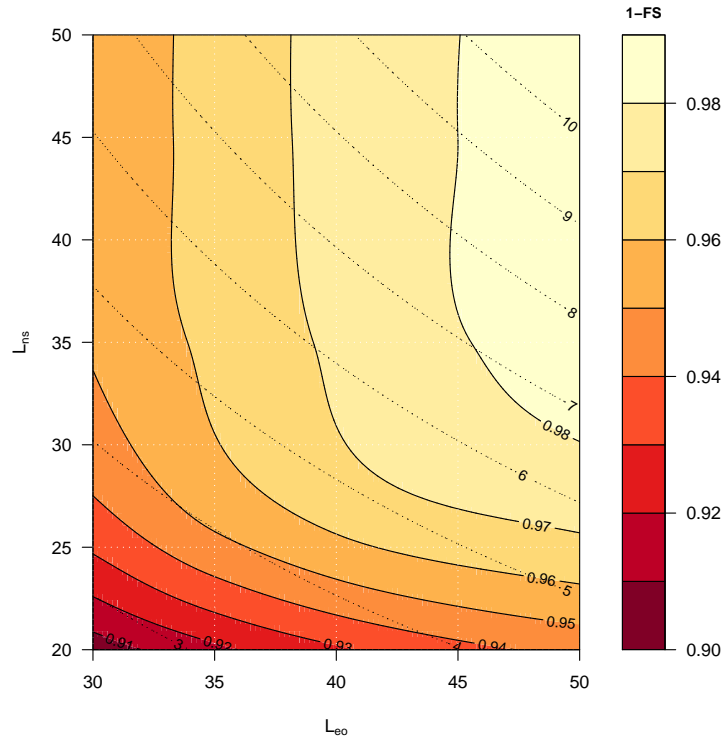


FIGURA 3.11: Ábaco para planta de seguimiento a doble eje. Recoge el ratio entre la energía anual producida por un seguidor afectado por sombras mutuas ( $E_{acs}$ ) y la producida por un seguidor sin sombreado ( $E_{ac0}$ ). Las curvas de color negro representan la fracción de energía no afectada por sombras. Las curvas de puntos representan el valor del ROT.

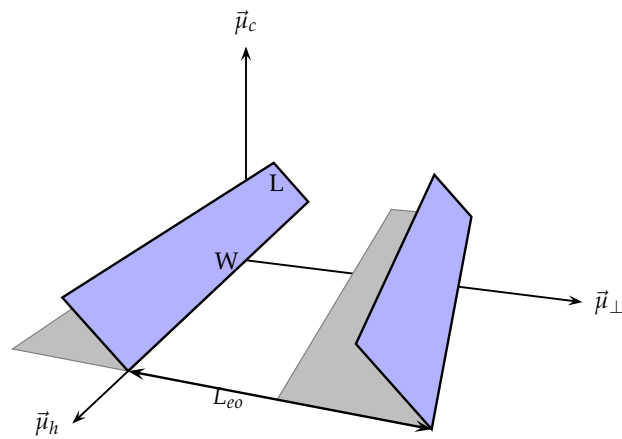


FIGURA 3.12: Dimensiones básicas en sistemas con seguidores de eje horizontal.

2. La dimensión en sentido Este-Oeste del campo generador,  $L$ .
3. La separación entre los diferente seguidores en la dirección Este-Oeste,  $L_{eo}$ . Por tanto,  $ROT = \frac{L_{eo}}{L}$ .

Para caracterizar numéricamente el sombreado, se empleará el factor  $FS_{eo}$ . Mediante consideraciones geométricas, utilizando la distancia normalizada  $l_{eo} = \frac{L_{eo}}{L}$ , es posible escribir:

$$\begin{aligned}
 FS_{eo} &= \frac{s - l_{eo}}{s} \\
 &= 1 - l_{eo} \cdot \cos(\beta) \\
 &= 1 - l_{eo} \cdot \frac{\sin(\omega)}{\sqrt{\sin^2(\omega) + (\cos(\omega) \cos(\phi) + \tan(\delta) \sin(\phi))^2}}
 \end{aligned} \tag{3.85}$$

### Limitación de ángulo y retroseguimeitno

En seguidores de eje horizontal se puede evitar la incidencia de sombras en cualquier en cualquier instante mediante algoritmos de *backtracking* o retroseguimiento [Pan+91]. Esta técnica provoca el desvío del seguidor de su posición óptima en los instantes en los que se produce la sombra entre seguidores, evitando el impacto de sombras pero con la consiguiente reducción en energía producida pro alejamiento del apuntamiento óptimo.

Para evitar la aparición de sombras, el ángulo de inclinación de los seguidores debe ser tal que la longitud de la sombra sea igual a la distancia entre seguidores. Siendo,  $\beta$  el ángulo de inclinación con retroseguimiento, y,  $\beta_0$  el ángulo de inclinación original, de la ecuación 3.85 se deduce que sólo será necesario aplicar esta técnica cuando  $l_{eo} \cdot \cos(\beta_0) \leq 1$ . El triángulo definido por el rayo solar, el seguidro y la sombra debe cumplir la siguiente condición, basada en el teorema de los senos:

$$\frac{l_{eo}}{\cos(\beta_0 - \beta)} = \frac{1}{\cos \beta_0} \tag{3.86}$$

Por tanto, el ángulo de inclinación que grantiza la ausencia de sombras a costa de apartarse de la condición de seguimiento es:

$$\beta = \beta_0 - \arccos(l_{eo} \cdot \cos \beta_0) \tag{3.87}$$

ecuación que debe aplicarse sólo cuando  $l_{eo} \cdot \cos(\beta_0) \leq 1$ . En caso contrario  $\beta = \beta_0$ .



## Desarrollo del código

En la figura 4.1, se muestra el proceso de cálculo que sigue el paquete a la hora de obtener la estimación de la producción del sistema fotovoltaico. A la hora de estimar la producción, el programa sigue los siguientes procesos<sup>1</sup>:

### 4.1. Geometría solar

Para calcular la geometría que definen las posiciones de la Tierra y el Sol, **solaR2** se vale de una función constructora, **calcSol**, la cual mediante las funciones **fSolD** y **fSolI** calcula todos los ángulos y componentes que caracterizan la geometría solar.

Como se puede ver en la figura 4.2, **calcSol** funciona gracias a las siguientes funciones:

- **fSolD**: la cual, a partir de la latitud ( $\phi$ ), calcula la geometría a nivel diario, es decir, los ángulos y componentes que se pueden calcular en cada día independiente.

Estas son:

- Declinación ( $\delta$ ): calculada a partir de la función **declination**.
- Excentricidad ( $\epsilon_o$ ): obtenida mediante la función **eccentricity**.
- Ecuación del tiempo ( $EoT$ ): obtenida mediante la función **eot**.
- Ángulo del amanecer ( $\omega_s$ ): calculada a partir de la función **sunrise**.
- Irradiancia diaria extra-atmosférica ( $B_{0d}(0)$ ): obtenida a partir de la función **bo0d**.

```
1 lat <- 37.2
2 BTd <- fBTd(mode = 'prom')
3 sold <- fSolD(lat = lat, BTd = BTd)
4 show(sold)
```

Key:	<Dates>						
	Dates	lat	decl	eo	EoT	ws	Bo0d
	<IDat>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1:	2024-01-17	37.2	-0.36271754	1.0340422	-0.0455346238	-1.278593	4738.993

<sup>1</sup>Todas las funciones recogidas en este capítulo, están descritas en el manual de uso del paquete **solaR2**, el cual, está disponible en el apéndice A de este documento.

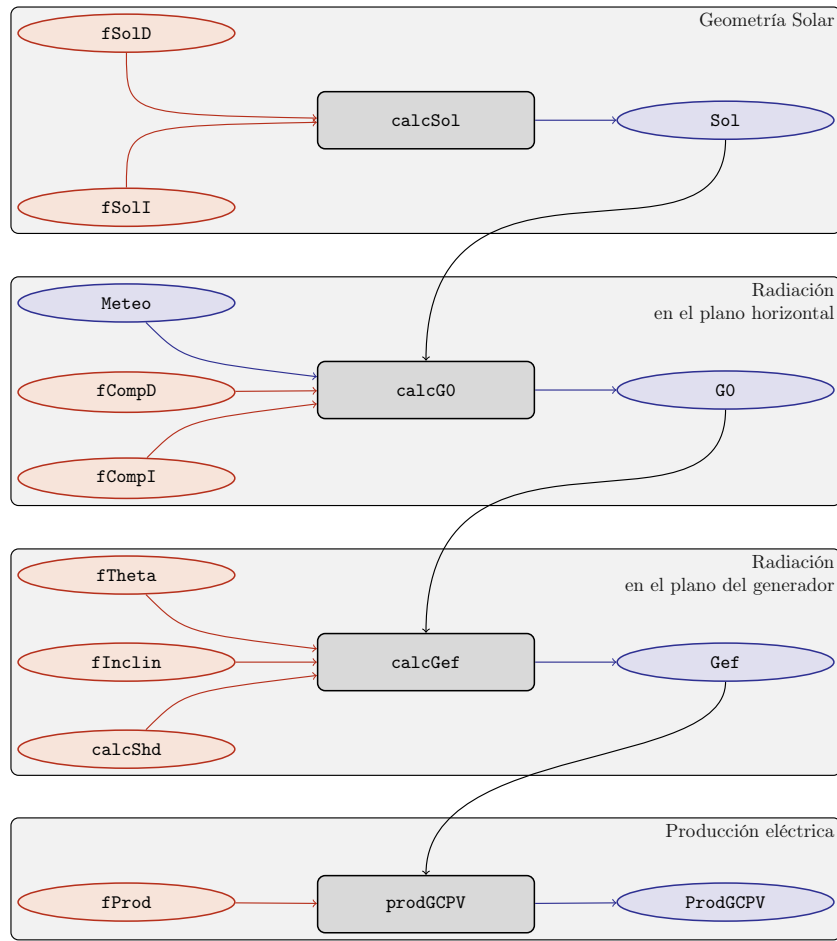


FIGURA 4.1: Proceso de cálculo de las funciones de *solar2*

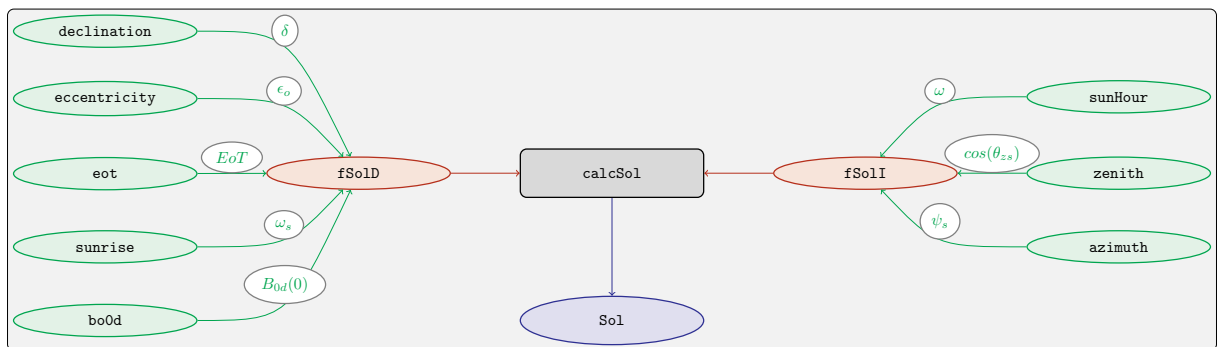


FIGURA 4.2: Cálculo de la geometría solar mediante la función `calcSol`, la cual unifica las funciones `fSolD` y `fSolI` resultando en un objeto clase `Sol` el cual contiene toda la información geométrica necesaria para realizar las siguientes estimaciones.



```

2: 2024-02-14 37.2 -0.22850166 1.0259717 -0.0614793356 -1.393341 6137.388
3: 2024-03-15 37.2 -0.03191616 1.0107943 -0.0368674274 -1.546560 8086.323
4: 2024-04-15 37.2 0.17531794 0.9926547 0.0017482721 -1.705659 9921.357
5: 2024-05-15 37.2 0.33246485 0.9775162 0.0143055938 -1.835976 11115.619
6: 2024-06-10 37.2 0.40257826 0.9691480 -0.0007378952 -1.899934 11573.907
7: 2024-07-18 37.2 0.36439367 0.9675489 -0.0263454380 -1.864521 11257.133
8: 2024-08-18 37.2 0.22407398 0.9758022 -0.0111761118 -1.744657 10183.208
9: 2024-09-18 37.2 0.02730595 0.9907919 0.0342189964 -1.591529 8508.642
10: 2024-10-19 37.2 -0.17900474 1.0088406 0.0689613044 -1.433019 6554.218
11: 2024-11-18 37.2 -0.33862399 1.0245012 0.0575423573 -1.300179 4951.750
12: 2024-12-13 37.2 -0.40478283 1.0328516 0.0158622941 -1.239567 4284.472

```

Además, **fSold** permite seleccionar el método de cálculo entre los propuestos por 4 autores diferentes (**cooper** [Coo69], **spencer** [Spe71], **strous** [Str11], **michalsky** [Mic88]) (el valor por defecto es **michalsky**):

```

1 sold_cooper <- fSold(lat = lat, BTd = BTd, method = 'cooper')
2 show(sold_cooper)

```

```

Key: <Dates>
      Dates    lat    decl    eo    EoT    ws    BoOd
   <IDat> <num> <num> <num> <num> <num> <num>
1: 2024-01-17 37.2 -0.36506987 1.0315970 -0.0455346238 -1.276457 4702.617
2: 2024-02-14 37.2 -0.23770977 1.0235842 -0.0614793356 -1.385835 6024.833
3: 2024-03-15 37.2 -0.04219743 1.0091112 -0.0368674274 -1.538742 7968.679
4: 2024-04-15 37.2 0.17074888 0.9917107 0.0017482721 -1.702053 9870.335
5: 2024-05-15 37.2 0.33214647 0.9770196 0.0143055938 -1.835696 11107.378
6: 2024-06-10 37.2 0.40292516 0.9690335 -0.0007378952 -1.900263 11575.213
7: 2024-07-18 37.2 0.36346384 0.9684861 -0.0263454380 -1.863677 11260.684
8: 2024-08-18 37.2 0.21721704 0.9778484 -0.0111761118 -1.739110 10144.635
9: 2024-09-18 37.2 0.01056696 0.9933706 0.0342189964 -1.578817 8367.014
10: 2024-10-19 37.2 -0.19902155 1.0107363 0.0689613044 -1.417100 6356.454
11: 2024-11-18 37.2 -0.34965673 1.0247443 0.0575423573 -1.290358 4835.353
12: 2024-12-13 37.2 -0.40651987 1.0315970 0.0158622941 -1.237915 4260.830

```

```

1 sold_spencer <- fSold(lat = lat, BTd = BTd, method = 'spencer')
2 show(sold_spencer)

```

```

Key: <Dates>
      Dates    lat    decl    eo    EoT    ws    BoOd
   <IDat> <num> <num> <num> <num> <num> <num>
1: 2024-01-17 37.2 -0.36483670 1.0340422 -0.0455346238 -1.276669 4716.264
2: 2024-02-14 37.2 -0.23199205 1.0259717 -0.0614793356 -1.390501 6100.057
3: 2024-03-15 37.2 -0.03563921 1.0107943 -0.0368674274 -1.543730 8048.574
4: 2024-04-15 37.2 0.17171286 0.9926547 0.0017482721 -1.702813 9888.522
5: 2024-05-15 37.2 0.33007088 0.9775162 0.0143055938 -1.833871 11096.093
6: 2024-06-10 37.2 0.40208757 0.9691480 -0.0007378952 -1.899469 11570.124
7: 2024-07-18 37.2 0.36657157 0.9675489 -0.0263454380 -1.866501 11274.319
8: 2024-08-18 37.2 0.22748717 0.9758022 -0.0111761118 -1.747427 10212.886
9: 2024-09-18 37.2 0.03143967 0.9907919 0.0342189964 -1.594670 8548.821
10: 2024-10-19 37.2 -0.17549393 1.0088406 0.0689613044 -1.435795 6590.939
11: 2024-11-18 37.2 -0.33679169 1.0245012 0.0575423573 -1.301800 4971.285
12: 2024-12-13 37.2 -0.40419949 1.0328516 0.0158622941 -1.240121 4290.674

```

```

1 sold_strous <- fSold(lat = lat, BTd = BTd, method = 'cooper')
2 show(sold_strous)

```

Key: <Dates>							
	Dates	lat	decl	eo	EoT	ws	BoOd
	<IDat>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1:	2024-01-17	37.2	-0.36506987	1.0315970	-0.0455346238	-1.276457	4702.617
2:	2024-02-14	37.2	-0.23770977	1.0235842	-0.0614793356	-1.385835	6024.833
3:	2024-03-15	37.2	-0.04219743	1.0091112	-0.0368674274	-1.538742	7968.679
4:	2024-04-15	37.2	0.17074888	0.9917107	0.0017482721	-1.702053	9870.335
5:	2024-05-15	37.2	0.33214647	0.9770196	0.0143055938	-1.835696	11107.378
6:	2024-06-10	37.2	0.40292516	0.9690335	-0.0007378952	-1.900263	11575.213
7:	2024-07-18	37.2	0.36346384	0.9684861	-0.0263454380	-1.863677	11260.684
8:	2024-08-18	37.2	0.21721704	0.9778484	-0.0111761118	-1.739110	10144.635
9:	2024-09-18	37.2	0.01056696	0.9933706	0.0342189964	-1.578817	8367.014
10:	2024-10-19	37.2	-0.19902155	1.0107363	0.0689613044	-1.417100	6356.454
11:	2024-11-18	37.2	-0.34965673	1.0247443	0.0575423573	-1.290358	4835.353
12:	2024-12-13	37.2	-0.40651987	1.0315970	0.0158622941	-1.237915	4260.830

- **fSolI**: toma los resultados obtenidos en **fSold** y calcula la geometría a nivel intradiario, es decir, aquella que se puede calcular en unidades de tiempo menores a los días. Estas son:

- La hora solar o tiempo solar verdadero ( $\omega$ ): calculada a partir de la función **sunHour**.
- Los momentos del día en los que es de noche (*night*): calculada a partir del resultado anterior y de el ángulo del amanecer (calculada en **fSold**)<sup>2</sup>.
- El coseno del ángulo cenital solar ( $\cos(\theta_{zs})$ ): obtenida a partir de la función **zenith**.
- La altura solar ( $\gamma_s$ ): obtenida a partir del resultado anterior<sup>3</sup>.
- El ángulo acimutal solar ( $\theta_{zs}$ ): calculada mediante la función **azimuth**.
- La irradiancia extra-atmosférica ( $B_0(0)$ ): calculada mediante el coseno del ángulo cenital, la constante solar ( $B_0$ ) y la excentricidad (calculada en **fSold**) [ecuación 3.2].

```

1  solI <- fSolI(sold = sold[1], sample = 'hour') #Computo solo un día a fin
    mejorar la visualización
2  show(solI)

```

Index: <night>								
	Dates	lat	w	night	cosThzS	AlS	AzS	BoO
	<POSc>	<num>	<num>	<lgcl>	<num>	<num>	<num>	<num>
1:	2024-01-17 00:00:00	37.2	3.09905026	TRUE	-0.958552332	-1.281876984	3.00157749	0.00000
2:	2024-01-17 01:00:00	37.2	-2.92239722	TRUE	-0.941407376	-1.226779122	-2.49462689	0.00000
3:	2024-01-17 02:00:00	37.2	-2.66065932	TRUE	-0.874749489	-1.064918604	-2.03862388	0.00000
4:	2024-01-17 03:00:00	37.2	-2.39892132	TRUE	-0.763119126	-0.868125900	-1.77932134	0.00000
5:	2024-01-17 04:00:00	37.2	-2.13718324	TRUE	-0.614120126	-0.661270606	-1.59701536	0.00000
6:	2024-01-17 05:00:00	37.2	-1.87544507	TRUE	-0.437901763	-0.453263434	-1.44469585	0.00000
7:	2024-01-17 06:00:00	37.2	-1.61370681	TRUE	-0.246467423	-0.249033534	-1.30093496	0.00000
8:	2024-01-17 07:00:00	37.2	-1.35196846	TRUE	-0.052856976	-0.052881619	-1.15283370	0.00000
9:	2024-01-17 08:00:00	37.2	-1.09023003	FALSE	0.129741461	0.130108233	-0.99014548	183.39419
10:	2024-01-17 09:00:00	37.2	-0.82849151	FALSE	0.288889848	0.293067041	-0.80329847	408.35612
11:	2024-01-17 10:00:00	37.2	-0.56675290	FALSE	0.413747472	0.426566560	-0.58400587	584.84684
12:	2024-01-17 11:00:00	37.2	-0.30501420	FALSE	0.495809380	0.518766586	-0.32921922	700.84427
13:	2024-01-17 12:00:00	37.2	-0.04327541	FALSE	0.529485721	0.557994217	-0.04769723	748.44699
14:	2024-01-17 13:00:00	37.2	0.21846346	FALSE	0.512482515	0.538073327	0.23821864	724.41235
15:	2024-01-17 14:00:00	37.2	0.48020243	FALSE	0.445957919	0.462244212	0.50355560	630.37745
16:	2024-01-17 15:00:00	37.2	0.74194148	FALSE	0.334443348	0.341014503	0.73469016	472.74762

<sup>2</sup>Cuando la hora solar verdadera excede los ángulos en los que amanecer y anochece ( $|\omega| \geq |\omega_s|$ ), el Sol queda por debajo de la línea del horizonte, por lo que es de noche.

<sup>3</sup> $\gamma_s = \text{asin}(\cos(\theta_s))$ .

17:	2024-01-17 16:00:00	37.2	1.00368062	FALSE	0.185534810	0.186616094	0.93148844	262.26008
18:	2024-01-17 17:00:00	37.2	1.26541985	FALSE	0.009375501	0.009375638	1.10112996	13.25261
19:	2024-01-17 18:00:00	37.2	1.52715917	TRUE	-0.182035120	-0.183055757	1.25297092	0.00000
20:	2024-01-17 19:00:00	37.2	1.78889857	TRUE	-0.375658695	-0.385107424	1.39694027	0.00000
21:	2024-01-17 20:00:00	37.2	2.05063807	TRUE	-0.558306105	-0.592342658	1.54466726	0.00000
22:	2024-01-17 21:00:00	37.2	2.31237766	TRUE	-0.717535874	-0.800258081	1.71368519	0.00000
23:	2024-01-17 22:00:00	37.2	2.57411733	TRUE	-0.842501657	-1.001910427	1.93928567	0.00000
24:	2024-01-17 23:00:00	37.2	2.83585709	TRUE	-0.924691065	-1.180223341	2.30977400	0.00000
	Dates	lat	w	night	cosThzS	AlS	AzS	Bo0

Además, como los datos nocturnos aportan poco a los cálculos que atañen a este proyecto, **fSolI** presenta la posibilidad de eliminar estos datos con el argumento **keep.night**.

```
1 solI_nigth <- fSolI(sold = sold[1], sample = 'hour', keep.night = FALSE)
2 show(solI_nigth)
```

	Dates <POS>	lat <num>	w <num>	night <lgcl>	cosThzS <num>	AlS <num>	AzS <num>	Bo0 <num>
1:	2024-01-17 08:00:00	37.2	-1.09023003	FALSE	0.129741461	0.130108233	-0.99014548	183.39419
2:	2024-01-17 09:00:00	37.2	-0.82849151	FALSE	0.288889848	0.293067041	-0.80329847	408.35612
3:	2024-01-17 10:00:00	37.2	-0.56675290	FALSE	0.413747472	0.426566560	-0.58400587	584.84684
4:	2024-01-17 11:00:00	37.2	-0.30501420	FALSE	0.495809380	0.518766586	-0.32921922	700.84427
5:	2024-01-17 12:00:00	37.2	-0.04327541	FALSE	0.529485721	0.557994217	-0.04769723	748.44699
6:	2024-01-17 13:00:00	37.2	0.21846346	FALSE	0.512482515	0.538073327	0.23821864	724.41235
7:	2024-01-17 14:00:00	37.2	0.48020243	FALSE	0.445957919	0.462244212	0.50355560	630.37745
8:	2024-01-17 15:00:00	37.2	0.74194148	FALSE	0.334443348	0.341014503	0.73469016	472.74762
9:	2024-01-17 16:00:00	37.2	1.00368062	FALSE	0.185534810	0.186616094	0.93148844	262.26008
10:	2024-01-17 17:00:00	37.2	1.26541985	FALSE	0.009375501	0.009375638	1.10112996	13.25261

Aparte, en vez de identificar el intervalo intradiario (con el argumento **sample**), se puede dar directamente la base temporal intradiaria.

```
1 BTi <- fBTi(BTd, sample = 'hour')
2 solI_BTi <- fSolI(sold, BTi = BTi)
3 show(solI_BTi)
```

Index: <night>	Dates <POS>	lat <num>	w <num>	night <lgcl>	cosThzS <num>	AlS <num>	AzS <num>	Bo0 <num>
1:	2024-01-17 00:00:00	37.2	3.099050	TRUE	-0.9585523	-1.2818770	3.001577	0
2:	2024-01-17 01:00:00	37.2	-2.922397	TRUE	-0.9414074	-1.2267791	-2.494627	0
3:	2024-01-17 02:00:00	37.2	-2.660659	TRUE	-0.8747495	-1.0649186	-2.038624	0
4:	2024-01-17 03:00:00	37.2	-2.398921	TRUE	-0.7631191	-0.8681259	-1.779321	0
5:	2024-01-17 04:00:00	37.2	-2.137183	TRUE	-0.6141201	-0.6612706	-1.597015	0
---								
284:	2024-12-13 19:00:00	37.2	1.856445	TRUE	-0.4444110	-0.4605166	1.394524	0
285:	2024-12-13 20:00:00	37.2	2.118158	TRUE	-0.6191456	-0.6676542	1.539641	0
286:	2024-12-13 21:00:00	37.2	2.379871	TRUE	-0.7679298	-0.8756029	1.709361	0
287:	2024-12-13 22:00:00	37.2	2.641583	TRUE	-0.8806309	-1.0771921	1.946876	0
288:	2024-12-13 23:00:00	37.2	2.903296	TRUE	-0.9495736	-1.2518732	2.377338	0

También, se puede indicar que no realice las correcciones de la ecuación del tiempo.

```
1 solI_EoT <- fSolI(sold = sold, BTi = BTi, EoT = FALSE)
2 show(solI_EoT)
```

```

Index: <night>
      Dates      lat      w      night      cosThzS      ALS      AzS      BoO
      <POS> <num> <num> <lgcl> <num> <num> <num> <num>
1: 2024-01-17 00:00:00 37.2 3.099050 TRUE -0.9585523 -1.2818770 3.001577 0
2: 2024-01-17 01:00:00 37.2 -2.922397 TRUE -0.9414074 -1.2267791 -2.494627 0
3: 2024-01-17 02:00:00 37.2 -2.660659 TRUE -0.8747495 -1.0649186 -2.038624 0
4: 2024-01-17 03:00:00 37.2 -2.398921 TRUE -0.7631191 -0.8681259 -1.779321 0
5: 2024-01-17 04:00:00 37.2 -2.137183 TRUE -0.6141201 -0.6612706 -1.597015 0
---
284: 2024-12-13 19:00:00 37.2 1.856445 TRUE -0.4444110 -0.4605166 1.394524 0
285: 2024-12-13 20:00:00 37.2 2.118158 TRUE -0.6191456 -0.6676542 1.539641 0
286: 2024-12-13 21:00:00 37.2 2.379871 TRUE -0.7679298 -0.8756029 1.709361 0
287: 2024-12-13 22:00:00 37.2 2.641583 TRUE -0.8806309 -1.0771921 1.946876 0
288: 2024-12-13 23:00:00 37.2 2.903296 TRUE -0.9495736 -1.2518732 2.377338 0

```

Finalmente, estas dos funciones, como se muestra en la figura 4.2, convergen en la función `calcSol`, dando como resultado un objeto de clase `Sol`. Este objeto muestra un resumen de ambos elementos junto con la latitud de los cálculos.

```

1 sol <- calcSol(lat = lat, BTd = BTd, sample = 'hour')
2 show(sol)

```

```

Object of class Sol

Latitude: 37.2 degrees

Daily values:
      Dates      decl      eo      EoT      ws
Min. :2024-01-17 Min. : -0.404783 Min. :0.9675 Min. : -0.0614793 Min. : -1.900
1st Qu.:2024-04-07 1st Qu.: -0.256032 1st Qu.:0.9771 1st Qu.: -0.0289759 1st Qu.: -1.767
Median :2024-06-29 Median : -0.002305 Median :1.0007 Median : 0.0005052 Median : -1.569
Mean :2024-07-01 Mean : -0.001618 Mean :1.0009 Mean : 0.0008748 Mean : -1.569
3rd Qu.:2024-09-25 3rd Qu.: 0.251172 3rd Qu.:1.0249 3rd Qu.: 0.0204515 3rd Qu.: -1.370
Max. :2024-12-13 Max. : 0.402578 Max. :1.0340 Max. : 0.0689613 Max. : -1.240

BoOd
Min. : 4284
1st Qu.: 5841
Median : 8297
Mean : 8109
3rd Qu.:10416
Max. :11574

Intradaily values:
      Dates      w      night      cosThzS
Min. :2024-01-17 00:00:00 Min. : -3.1393050 Mode :logical Min. : -0.9700256
1st Qu.:2024-04-07 11:45:00 1st Qu.: -1.5692285 FALSE:145 1st Qu.: -0.5004531
Median :2024-06-29 11:30:00 Median : 0.0010871 TRUE :143 Median : 0.0062923
Mean :2024-07-01 15:30:00 Mean : 0.0009975 Mean : -0.0009523
3rd Qu.:2024-09-26 11:15:00 3rd Qu.: 1.5716412 3rd Qu.: 0.5007129
Max. :2024-12-13 23:00:00 Max. : 3.1413972 Max. : 0.9697262

ALS      AzS      BoO
Min. : -1.325336 Min. : -3.139169 Min. : 0.000
1st Qu.: -0.524130 1st Qu.: -1.570722 1st Qu.: 0.000
Median : 0.006292 Median : 0.003834 Median : 8.748
Mean : -0.001202 Mean : 0.001011 Mean : 337.752
3rd Qu.: 0.524433 3rd Qu.: 1.555342 3rd Qu.: 698.153
Max. : 1.324107 Max. : 3.141331 Max. :1284.718

```

## 4.2. Datos meteorológicos

Para el procesamiento de datos meteorológicos, `solar2` provee una serie de funciones que son capaces de leer todo tipo de datos. Estos datos se procesan y se almacenan en un objeto de

tipo **Meteo** tal y como se ve en la figura 4.3. Estas funciones son:

- **readG0dm**: Esta función construye un objeto **Meteo** a partir de 12 valores de medias mensuales de irradiación.

```
1 G0dm = c(2.766,3.491,4.494,5.912,6.989,7.742,
2         7.919,7.027,5.369,3.562,2.814,2.179) * 1000;
3 Ta = c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2,
4        28.4, 29.9, 24.3, 18.2, 17.2, 15.2)
5 BD <- readG0dm(G0dm = G0dm, Ta = Ta, lat = 37.2)
6 show(BD)
```

Object of class **Meteo**

Source of meteorological information: prom-  
Latitude of source: 37.2 degrees

Meteorological Data:

Dates	G0d	Ta
Min. :2024-01-17	Min. :2179	Min. :10.00
1st Qu.:2024-04-07	1st Qu.:3322	1st Qu.:15.50
Median :2024-06-29	Median :4932	Median :17.70
Mean :2024-07-01	Mean :5022	Mean :19.22
3rd Qu.:2024-09-25	3rd Qu.:6998	3rd Qu.:21.98
Max. :2024-12-13	Max. :7919	Max. :29.90

- **readBD**: Esta familia de funciones puede leer ficheros de datos y transformarlos en un objeto de clase **Meteo**. Se dividen en:
  - **readBDd**: Procesa datos meteorológicos de tipo diarios.

```
1 ## Se utiliza un archivo alojado en el
2 ## github del tutor de este proyecto
3 myURL <- "https://raw.githubusercontent.com/oscarperpinan/R/master/data/
4         aranjuez.csv"
5 download.file(myURL, 'data/aranjuez.csv', quiet = TRUE)
6 BDd <- readBDd(file = 'data/aranjuez.csv', lat = lat,
7               format = '%Y-%m-%d', header = TRUE,
8               fill = TRUE, dec = '.', sep = ',', dates.col = '',
9               ta.col = 'TempAvg', g0.col = 'Radiation', keep.cols = TRUE)
10 show(BDd)
```

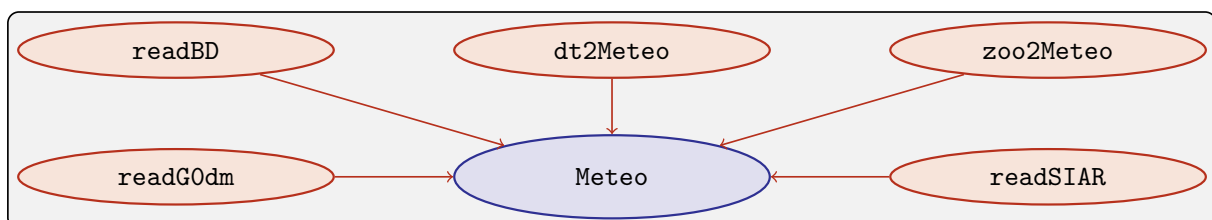


FIGURA 4.3: Los datos meteorológicos se pueden leer mediante las funciones **readG0dm**, **readBD**, **dt2Meteo**, **zoo2Meteo** y **readSIAR** las cuales procesan estos datos y los almacenan en un objeto de clase **Meteo**.

Object of class Meteo

Source of meteorological information: bd-data/aranjuez.csv

Latitude of source: 37.2 degrees

Meteorological Data:

Dates	G0	Ta	TempMin	TempMax	
Min. :2004-01-01	Min. : 0.277	Min. : -5.309	Min. : -12.980	Min. : -2.362	
1st Qu.:2005-12-29	1st Qu.: 9.370	1st Qu.: 7.692	1st Qu.: 1.515	1st Qu.:14.530	
Median :2008-01-09	Median :16.660	Median :13.810	Median : 7.170	Median :21.670	
Mean :2008-01-03	Mean :16.742	Mean :14.405	Mean : 6.888	Mean :22.531	
3rd Qu.:2010-01-02	3rd Qu.:24.650	3rd Qu.:21.615	3rd Qu.: 12.590	3rd Qu.:30.875	
Max. :2011-12-31	Max. :32.740	Max. :30.680	Max. : 22.710	Max. :41.910	
	NA's :13		NA's :4		
HumidAvg	HumidMax	WindAvg	WindMax	Rain	ET
Min. : 19.89	Min. : 35.88	Min. :0.251	Min. : 0.000	Min. : 0.000	Min. :0.000
1st Qu.: 47.04	1st Qu.: 81.60	1st Qu.:0.667	1st Qu.: 3.783	1st Qu.: 0.000	1st Qu.:1.168
Median : 62.58	Median : 90.90	Median :0.920	Median : 5.027	Median : 0.000	Median :2.758
Mean : 62.16	Mean : 87.22	Mean :1.174	Mean : 5.208	Mean : 1.094	Mean :3.091
3rd Qu.: 77.38	3rd Qu.: 94.90	3rd Qu.:1.431	3rd Qu.: 6.537	3rd Qu.: 0.200	3rd Qu.:4.926
Max. :100.00	Max. :100.00	Max. :8.260	Max. :10.000	Max. :49.730	Max. :8.564
	NA's :13	NA's :8	NA's :128	NA's :4	NA's :18

- **readBDi**: Procesa datos meteorológicos de tipo intradiarios.

```

1 myURL <- "https://raw.githubusercontent.com/oscarperpinan/R/master/data/
  NREL-Hawaii.csv"
2 download.file(myURL, 'data/NREL-Hawaii.csv', quiet = TRUE)
3 BDi <- readBDi(file = 'data/NREL-Hawaii.csv', lat = 19,
4               format = "%d/%m/%Y %H:%M", header = TRUE,
5               fill = TRUE, dec = '.', sep = ',',
6               dates.col = 'DATE', times.col = 'HST',
7               ta.col = 'Air Temperature [deg C]',
8               g0.col = 'Global Horizontal [W/m^2]',
9               keep.cols = TRUE)
10 show(BDi)

```

Object of class Meteo

Source of meteorological information: bdI-data/NREL-Hawaii.csv

Latitude of source: 19 degrees

Meteorological Data:

Dates	G0	Ta	Direct Normal [W/m^2]
Min. :2010-01-11 06:32:00.00	Min. : 0.4769	Min. :13.42	Min. : 0.0
1st Qu.:2010-03-11 17:37:45.00	1st Qu.: 147.4328	1st Qu.:22.76	1st Qu.: 0.0
Median :2010-06-11 17:32:30.00	Median : 300.6510	Median :24.15	Median :270.3
Mean :2010-06-26 11:55:22.63	Mean : 370.5293	Mean :23.64	Mean :356.6
3rd Qu.:2010-09-11 17:34:15.00	3rd Qu.: 585.7402	3rd Qu.:25.24	3rd Qu.:715.2
Max. :2010-12-11 17:46:00.00	Max. :1172.3000	Max. :28.12	Max. :943.0
NA's :4660			
Diffuse Horizontal [W/m^2]			
Min. : 0.4769			
1st Qu.: 78.4636			
Median :152.9320			
Mean :171.7706			
3rd Qu.:246.3193			
Max. :586.3600			

- **dt2Meteo**: Transforma un **data.table** o **data.frame** en un objeto de clase **Meteo**.

```

1 data(helios)
2 names(helios) <- c('Dates', 'G0d', 'TempMax', 'TempMin')
3 helios_meteo <- dt2Meteo(file = helios, lat = 40, type = 'bd')
4 show(helios_meteo)

```

Object of class Meteo

Source of meteorological information: bd-data.frame  
Latitude of source: 40 degrees

Meteorological Data:

Dates	G0d	TempMin	TempMax
Min. :2009-01-01 00:00:00.00	Min. : 325.6	Min. : -37.500	Min. : 1.41
1st Qu.:2009-04-08 12:00:00.00	1st Qu.: 2523.2	1st Qu.: 1.950	1st Qu.:14.41
Median :2009-07-07 00:00:00.00	Median : 4745.7	Median : 7.910	Median :23.16
Mean :2009-07-04 21:29:54.93	Mean : 4812.0	Mean : 5.323	Mean :22.59
3rd Qu.:2009-10-03 12:00:00.00	3rd Qu.: 7139.5	3rd Qu.: 15.105	3rd Qu.:31.06
Max. :2009-12-31 00:00:00.00	Max. :11253.9	Max. : 24.800	Max. :38.04

Ta

Min. : -23.049
1st Qu.: 7.008
Median : 12.055
Mean : 10.944
3rd Qu.: 19.472
Max. : 28.619

- **zoo2Meteo**: Transforma un objeto de clase **zoo**<sup>4</sup> en un objeto de clase **Meteo**.

```

1 library(zoo)
2 bd_zoo <- read.csv.zoo('data/aranjuez.csv')
3 BD_zoo <- zoo2Meteo(file = bd_zoo, lat = 40)
4 show(BD_zoo)

```

Object of class Meteo

Source of meteorological information: bd-zoo-bd\_zoo  
Latitude of source: 40 degrees

Meteorological Data:

TempAvg	TempMax	TempMin	HumidAvg	HumidMax	WindAvg
Min. : -5.309	Min. : -2.362	Min. : -12.980	Min. : 19.89	Min. : 35.88	Min. : 0.251
1st Qu.: 7.692	1st Qu.:14.530	1st Qu.: 1.515	1st Qu.: 47.04	1st Qu.: 81.60	1st Qu.:0.667
Median :13.810	Median :21.670	Median : 7.170	Median : 62.58	Median : 90.90	Median :0.920
Mean :14.405	Mean :22.531	Mean : 6.888	Mean : 62.16	Mean : 87.22	Mean :1.174
3rd Qu.:21.615	3rd Qu.:30.875	3rd Qu.: 12.590	3rd Qu.: 77.38	3rd Qu.: 94.90	3rd Qu.:1.431
Max. :30.680	Max. :41.910	Max. : 22.710	Max. :100.00	Max. :100.00	Max. :8.260
		NA's :4		NA's :13	NA's :8

WindMax	Rain	Radiation	ET
Min. : 0.000	Min. : 0.000	Min. : 0.277	Min. : 0.000
1st Qu.: 3.783	1st Qu.: 0.000	1st Qu.: 9.370	1st Qu.:1.168
Median : 5.027	Median : 0.000	Median :16.660	Median :2.758
Mean : 5.208	Mean : 1.094	Mean :16.742	Mean :3.091
3rd Qu.: 6.537	3rd Qu.: 0.200	3rd Qu.:24.650	3rd Qu.:4.926
Max. :10.000	Max. :49.730	Max. :32.740	Max. :8.564
NA's :128	NA's :4	NA's :13	NA's :18

<sup>4</sup>Pese a que este proyecto trate de “desligarse” del paquete **zoo**, sigue siendo un paquete muy extendido. Por lo que es interesante tener una función así para que los usuarios tengan una mayor flexibilidad.

- **readSIAR**: Esta función es capaz de extraer información de la red SIAR y transformarlo en un objeto de clase **Meteo**.

```

1 library(httr2)
2 library(jsonlite)
3 bd_SIAR <- readSIAR(Lat = 40.40596822621351, Lon = -3.70038308516172,
4                     ## Ubicación de la Escuela Técnica Superior
5                     ## de Ingeniería y Diseño Industrial (ETSIDI)
6                     inicio = '2023-09-01', final = '2024-08-01',
7                     tipo = 'Mensuales', n_est = 3)
8 show(bd_SIAR)

```

Object of class **Meteo**

Source of meteorological information: prom-https://servicio.mapama.gob.es

-Estaciones: Center: Finca experimental(M01), Arganda(M02), San Martín de la Vega(M05)

Latitude of source: 40.4 degrees

Meteorological Data:

Dates	G0d	Ta	TempMin	TempMax
Min.: 2023-09-18 00:00:00	Min.: 1860	Min.: 5.318	Min.: -4.6513	Min.: 15.34
1st Qu.: 2023-12-06 18:00:00	1st Qu.: 2744	1st Qu.: 9.857	1st Qu.: -2.1466	1st Qu.: 21.12
Median : 2024-02-29 00:00:00	Median : 4052	Median : 14.890	Median : 0.3663	Median : 31.01
Mean : 2024-03-01 04:00:00	Mean : 4502	Mean : 15.307	Mean : 2.4225	Mean : 29.41
3rd Qu.: 2024-05-21 12:00:00	3rd Qu.: 6549	3rd Qu.: 20.047	3rd Qu.: 7.1506	3rd Qu.: 35.47
Max.: 2024-08-18 00:00:00	Max.: 7608	Max.: 27.069	Max.: 12.6082	Max.: 40.70

Esta función tiene dos argumentos importantes:

- **tipo**: La API SIAR<sup>5</sup> permite tener 4 tipos de registros: **Mensuales**, **Semanales**, **Diarios** y **Horarios**.
- **n\_est**: Con este argumento, la función es capaz de localizar el número seleccionado de estaciones más proximas a la ubicación dada, y obtener los datos individuales de cada una de ellas. Una vez obtenidos estos datos realiza una interpolación de distancia inversa ponderada (IDW) y entrega un solo resultado. Es importante añadir que la API SIAR tiene una limitación a la solicitud de registros que se le hace cada minuto, por lo que esta función cuenta con un comprobante para impedir que el usuario exceda este límite.

### 4.3. Radiación en el plano horizontal

Una vez se ha calculado la geometría solar (sección 4.1) y se han procesado los datos meteorológicos (sección 4.2), es necesario calcular la radiación en el plano horizontal. Para ello, **solar2** cuenta con la función **calcG0** la cual mediante las funciones **fCompD** y **fCompI** procesan los objetos de clase **Sol** y clase **Meteo** para dar un objeto de tipo **G0**.

Como se puede ver en la figura 4.4, **calcG0** funciona gracias a las siguientes funciones:

- **fCompD**: La cual calcula todas las componentes de la irradiación diaria en una superficie horizontal mediante regresiones entre los parámetros del índice de claridad y la fracción difusa. Para ello se pueden usar varias correlaciones dependiendo del tipo de datos:

<sup>5</sup>La API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) que se usa para la función **readSIAR** está proporcionada por la propia red SIAR [Min23].



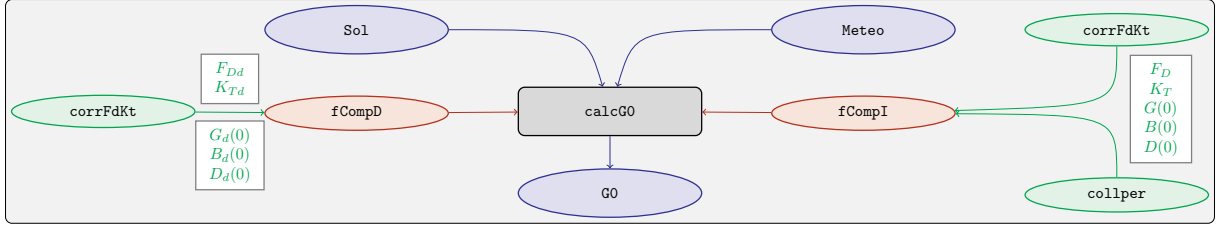


FIGURA 4.4: Cálculo de la radiación incidente en el plano horizontal mediante la función **calcG0**, la cual procesa un objeto clase **Sol** y otro clase **Meteo** mediante las funciones **fCompD** y **fCompI** resultando en un objeto clase **GO**. :

- Mensuales:

```

1 lat <- 37.2
2 BTd <- fBTd(mode = 'prom')
3 sold <- fSold(lat, BTd)
4 G0d <- c
   (2.766,3.491,4.494,5.912,6.989,7.742,7.919,7.027,5.369,3.562,2.814,2.179)
   * 1000
5 compD_page <- fCompD(sol = sold, G0d = G0d, corr = "Page")
6 compD_page

```

Key: <Dates>					
Dates	Fd	Kt	G0d	D0d	B0d
<POS>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1: 2024-01-17	0.3404548	0.5836683	2766	941.698	1824.302
2: 2024-02-14	0.3572461	0.5688088	3491	1247.146	2243.854
3: 2024-03-15	0.3719989	0.5557532	4494	1671.763	2822.237
4: 2024-04-15	0.3266485	0.5958862	5912	1931.146	3980.854
5: 2024-05-15	0.2895069	0.6287549	6989	2023.364	4965.636
6: 2024-06-10	0.2441221	0.6689185	7742	1889.994	5852.006
7: 2024-07-18	0.2050844	0.7034651	7919	1624.064	6294.936
8: 2024-08-18	0.2202349	0.6900576	7027	1547.591	5479.409
9: 2024-09-18	0.2869638	0.6310055	5369	1540.708	3828.292
10: 2024-10-19	0.3858825	0.5434669	3562	1374.513	2187.487
11: 2024-11-18	0.3578392	0.5682839	2814	1006.959	1807.041
12: 2024-12-13	0.4253038	0.5085807	2179	926.737	1252.263

```

1 compD_lj <- fCompD(sol = sold, G0d = G0d, corr = "LJ")
2 compD_lj

```

Key: <Dates>					
Dates	Fd	Kt	G0d	D0d	B0d
<POS>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1: 2024-01-17	0.3058193	0.5836683	2766	845.8961	1920.104
2: 2024-02-14	0.3169470	0.5688088	3491	1106.4621	2384.538
3: 2024-03-15	0.3268047	0.5557532	4494	1468.6603	3025.340
4: 2024-04-15	0.2967018	0.5958862	5912	1754.1011	4157.899
5: 2024-05-15	0.2720419	0.6287549	6989	1901.3006	5087.699
6: 2024-06-10	0.2408700	0.6689185	7742	1864.8154	5877.185
7: 2024-07-18	0.2152460	0.7034651	7919	1704.5331	6214.467
8: 2024-08-18	0.2236251	0.6900576	7027	1571.4138	5455.586
9: 2024-09-18	0.2703347	0.6310055	5369	1451.4268	3917.573
10: 2024-10-19	0.3361895	0.5434669	3562	1197.5071	2364.493
11: 2024-11-18	0.3173415	0.5682839	2814	892.9990	1921.001
12: 2024-12-13	0.3637158	0.5085807	2179	792.5367	1386.463

#### 4. DESARROLLO DEL CÓDIGO

- Diarios:

```
1 G0d <- readSIAR(Lat = 40.40596822621351, Lon = -3.70038308516172,  
2               inicio = '2024-07-15', final = '2024-08-01',  
3               tipo = 'Diarios', n_est = 3)  
4 sol <- calcSol(lat, BTd = indexD(G0d))  
5 compD_cpr <- fCompD(sol = sol, G0d = G0d, corr = "CPR")  
6 compD_cpr
```

```
Key: <Dates>  
      Dates      Fd      Kt      G0d      D0d      B0d  
      <POS<      <num>      <num>      <num>      <num>      <num>  
1: 2024-07-15 0.2833125 0.6798139 7697.945 2180.924 5517.021  
2: 2024-07-16 0.2597185 0.7000272 7911.858 2054.856 5857.002  
3: 2024-07-17 0.2815044 0.6812283 7684.293 2163.163 5521.131  
4: 2024-07-18 0.6627754 0.4674993 5262.702 3487.989 1774.713  
5: 2024-07-19 0.2595844 0.7001561 7865.166 2041.675 5823.491  
6: 2024-07-20 0.2594075 0.7003266 7849.961 2036.339 5813.622  
7: 2024-07-21 0.2315068 0.7365959 8237.938 1907.138 6330.799  
8: 2024-07-22 0.2269337 0.7493438 8361.056 1897.406 6463.650  
9: 2024-07-23 0.2451723 0.7156288 7965.753 1952.982 6012.771  
10: 2024-07-24 0.2620008 0.6978638 7748.845 2030.204 5718.641  
11: 2024-07-25 0.2746548 0.6867564 7606.140 2089.063 5517.077  
12: 2024-07-26 0.3320728 0.6462270 7138.548 2370.518 4768.030  
13: 2024-07-27 0.3186769 0.6547900 7213.697 2298.839 4914.858  
14: 2024-07-28 0.2767163 0.6850625 7526.355 2082.665 5443.689  
15: 2024-07-29 0.6566999 0.4709412 5159.260 3388.086 1771.174  
16: 2024-07-30 0.3185533 0.6548709 7153.359 2278.726 4874.633  
17: 2024-07-31 0.2503814 0.7096003 7728.034 1934.956 5793.078  
18: 2024-08-01 0.2428514 0.7185406 7801.435 1894.589 5906.846
```

```
1 compD_ekdd <- fCompD(sol = sol, G0d = G0d, corr = 'EKDd')  
2 compD_ekdd
```

```
Key: <Dates>  
      Dates      Fd      Kt      G0d      D0d      B0d  
      <POS<      <num>      <num>      <num>      <num>      <num>  
1: 2024-07-15      1 0.6798139 7697.945 7697.945      0  
2: 2024-07-16      1 0.7000272 7911.858 7911.858      0  
3: 2024-07-17      1 0.6812283 7684.293 7684.293      0  
4: 2024-07-18      1 0.4674993 5262.702 5262.702      0  
5: 2024-07-19      1 0.7001561 7865.166 7865.166      0  
6: 2024-07-20      1 0.7003266 7849.961 7849.961      0  
7: 2024-07-21      1 0.7365959 8237.938 8237.938      0  
8: 2024-07-22      1 0.7493438 8361.056 8361.056      0  
9: 2024-07-23      1 0.7156288 7965.753 7965.753      0  
10: 2024-07-24      1 0.6978638 7748.845 7748.845      0  
11: 2024-07-25      1 0.6867564 7606.140 7606.140      0  
12: 2024-07-26      1 0.6462270 7138.548 7138.548      0  
13: 2024-07-27      1 0.6547900 7213.697 7213.697      0  
14: 2024-07-28      1 0.6850625 7526.355 7526.355      0  
15: 2024-07-29      1 0.4709412 5159.260 5159.260      0  
16: 2024-07-30      1 0.6548709 7153.359 7153.359      0  
17: 2024-07-31      1 0.7096003 7728.034 7728.034      0  
18: 2024-08-01      1 0.7185406 7801.435 7801.435      0
```

```
1 compD_climedd <- fCompD(sol = sol, G0d = G0d, corr = 'CLIMEDd')  
2 compD_climedd
```

```
Key: <Dates>  
      Dates      Fd      Kt      G0d      D0d      B0d  
      <POS<      <num>      <num>      <num>      <num>      <num>
```

```

1: 2024-07-15 0.2724591 0.6798139 7697.945 2097.375 5600.570
2: 2024-07-16 0.2455880 0.7000272 7911.858 1943.057 5968.801
3: 2024-07-17 0.2705287 0.6812283 7684.293 2078.822 5605.472
4: 2024-07-18 0.6086148 0.4674993 5262.702 3202.958 2059.744
5: 2024-07-19 0.2454217 0.7001561 7865.166 1930.282 5934.884
6: 2024-07-20 0.2452020 0.7003266 7849.961 1924.826 5925.135
7: 2024-07-21 0.2013208 0.7365959 8237.938 1658.468 6579.470
8: 2024-07-22 0.1873678 0.7493438 8361.056 1566.592 6794.463
9: 2024-07-23 0.2259736 0.7156288 7965.753 1800.050 6165.703
10: 2024-07-24 0.2483878 0.6978638 7748.845 1924.718 5824.126
11: 2024-07-25 0.2630540 0.6867564 7606.140 2000.826 5605.314
12: 2024-07-26 0.3202837 0.6462270 7138.548 2286.361 4852.187
13: 2024-07-27 0.3077503 0.6547900 7213.697 2220.018 4993.679
14: 2024-07-28 0.2653324 0.6850625 7526.355 1996.986 5529.369
15: 2024-07-29 0.6029930 0.4709412 5159.260 3110.998 2048.263
16: 2024-07-30 0.3076331 0.6548709 7153.359 2200.610 4952.749
17: 2024-07-31 0.2334298 0.7096003 7728.034 1803.954 5924.080
18: 2024-08-01 0.2224291 0.7185406 7801.435 1735.266 6066.168

```

También, se puede aportar una función de correlación propia.

```

1 f_corrd <- function(sol, G0d){
2   ## Función CLIMEDd
3   Kt <- Ktd(sol, G0d)
4   Fd=(Kt<=0.13)*(0.952)+
5     (Kt>0.13 & Kt<=0.8)*(0.868+1.335*Kt-5.782*Kt^2+3.721*Kt^3)+
6     (Kt>0.8)*0.141
7   return(data.table(Fd, Kt))
8 }
9 compD_user <- fCompD(sol = sol, G0d = G0d, corr = 'user', f = f_corrd)
10 compD_user

```

```

Key: <Dates>
      Dates      Fd      Kt      G0d      D0d      B0d
  <POS<  <num>  <num>  <num>  <num>  <num>
1: 2024-07-15 0.2724591 0.6798139 7697.945 2097.375 5600.570
2: 2024-07-16 0.2455880 0.7000272 7911.858 1943.057 5968.801
3: 2024-07-17 0.2705287 0.6812283 7684.293 2078.822 5605.472
4: 2024-07-18 0.6086148 0.4674993 5262.702 3202.958 2059.744
5: 2024-07-19 0.2454217 0.7001561 7865.166 1930.282 5934.884
6: 2024-07-20 0.2452020 0.7003266 7849.961 1924.826 5925.135
7: 2024-07-21 0.2013208 0.7365959 8237.938 1658.468 6579.470
8: 2024-07-22 0.1873678 0.7493438 8361.056 1566.592 6794.463
9: 2024-07-23 0.2259736 0.7156288 7965.753 1800.050 6165.703
10: 2024-07-24 0.2483878 0.6978638 7748.845 1924.718 5824.126
11: 2024-07-25 0.2630540 0.6867564 7606.140 2000.826 5605.314
12: 2024-07-26 0.3202837 0.6462270 7138.548 2286.361 4852.187
13: 2024-07-27 0.3077503 0.6547900 7213.697 2220.018 4993.679
14: 2024-07-28 0.2653324 0.6850625 7526.355 1996.986 5529.369
15: 2024-07-29 0.6029930 0.4709412 5159.260 3110.998 2048.263
16: 2024-07-30 0.3076331 0.6548709 7153.359 2200.610 4952.749
17: 2024-07-31 0.2334298 0.7096003 7728.034 1803.954 5924.080
18: 2024-08-01 0.2224291 0.7185406 7801.435 1735.266 6066.168

```

Por último, si **G0d** ya contiene todos los componentes, se puede especifica que no haga ninguna correlación.

```

1 compD_none <- fCompD(sol = sol, G0d = compD_user, corr = 'none')
2 compD_none

```

```

Key: <Dates>
      Dates      Fd      Kt      G0d      D0d      B0d
  <POS<  <num>  <num>  <num>  <num>  <num>
1: 2024-07-15 0.2724591 0.6798139 7697.945 2097.375 5600.570

```

```

2: 2024-07-16 0.2455880 0.7000272 7911.858 1943.057 5968.801
3: 2024-07-17 0.2705287 0.6812283 7684.293 2078.822 5605.472
4: 2024-07-18 0.6086148 0.4674993 5262.702 3202.958 2059.744
5: 2024-07-19 0.2454217 0.7001561 7865.166 1930.282 5934.884
6: 2024-07-20 0.2452020 0.7003266 7849.961 1924.826 5925.135
7: 2024-07-21 0.2013208 0.7365959 8237.938 1658.468 6579.470
8: 2024-07-22 0.1873678 0.7493438 8361.056 1566.592 6794.463
9: 2024-07-23 0.2259736 0.7156288 7965.753 1800.050 6165.703
10: 2024-07-24 0.2483878 0.6978638 7748.845 1924.718 5824.126
11: 2024-07-25 0.2630540 0.6867564 7606.140 2000.826 5605.314
12: 2024-07-26 0.3202837 0.6462270 7138.548 2286.361 4852.187
13: 2024-07-27 0.3077503 0.6547900 7213.697 2220.018 4993.679
14: 2024-07-28 0.2653324 0.6850625 7526.355 1996.986 5529.369
15: 2024-07-29 0.6029930 0.4709412 5159.260 3110.998 2048.263
16: 2024-07-30 0.3076331 0.6548709 7153.359 2200.610 4952.749
17: 2024-07-31 0.2334298 0.7096003 7728.034 1803.954 5924.080
18: 2024-08-01 0.2224291 0.7185406 7801.435 1735.266 6066.168

```

- **fCompI**: calcula, en base a los valores de irradiación diaria, todas las componentes de irradiancia. Se vale de dos procedimientos en base al tipo de argumentos que toma:
  - **compD**: Si recibe un **data.table** resultado de **fCompD**, calcula las relaciones entre las componentes de irradiancia e irradiación de las componentes de difusa y global, obteniendo con ellas un perfil de irradiancias [3.2] (las irradiancias global y difusa salen de estas relaciones, mientras que la directa surge por diferencia entre las dos).

```

1 sol <- calcSol(lat = 37.2, BTd = fBTd(mode = 'prom'),
2               sample = 'hour', keep.night = FALSE)
3 G0d <- c(2.766,3.491,4.494,5.912,6.989,7.742,7.919,
4          7.027,5.369,3.562,2.814,2.179) * 1000
5 compD <- fCompD(sol = sol, G0d = G0d, corr = 'CPR')
6 compI <- fCompI(sol = sol, compD = compD)
7 show(compI)

```

```

Key: <Dates>
      Dates      Fd      Kt      G0      D0      B0
   <POS<   <num>   <num>   <num>   <num>   <num>
1: 2024-01-17 08:00:00 0.5656199 0.4583592 84.06042 47.54625 36.40399
2: 2024-01-17 09:00:00 0.4912826 0.5277148 215.49558 105.86922 109.51548
3: 2024-01-17 10:00:00 0.4453619 0.5821268 340.45500 151.62569 188.82159
4: 2024-01-17 11:00:00 0.4195854 0.6178887 433.04376 181.69885 251.45464
5: 2024-01-17 12:00:00 0.4098508 0.6325646 473.44106 194.04019 279.57020
---
141: 2024-12-13 12:00:00 0.5437347 0.5488870 382.71443 208.09513 174.85828
142: 2024-12-13 13:00:00 0.5556284 0.5371376 352.10710 195.64071 156.62669
143: 2024-12-13 14:00:00 0.5893861 0.5063725 276.60890 163.02945 113.57257
144: 2024-12-13 15:00:00 0.6506594 0.4586869 172.87432 112.48231 60.23704
145: 2024-12-13 16:00:00 0.7511394 0.3973283 63.15968 47.44173 15.57107

```

- **G0I**: Este argumento recibe datos de irradiancia, para después, poder aplicar las correcciones indicadas en el argumento **corr**.

```

1 G0I <- compI$G0
2 compI_ekdh <- fCompI(sol = sol, G0I = G0I, corr = 'EKDh')
3 show(compI_ekdh)

```

```

Key: <Dates>
      Dates      Fd      Kt      G0      D0      B0
   <POS<   <num>   <num>   <num>   <num>   <num>
1: 2024-01-17 08:00:00 0.7417600 0.4583592 84.06042 62.35265 21.70776

```

```

2: 2024-01-17 09:00:00 0.6000150 0.5277148 215.49558 129.30057 86.19500
3: 2024-01-17 10:00:00 0.4791716 0.5821268 340.45500 163.13636 177.31865
4: 2024-01-17 11:00:00 0.4004462 0.6178887 433.04376 173.41074 259.63302
5: 2024-01-17 12:00:00 0.3692679 0.6325646 473.44106 174.82659 298.61447
---
141: 2024-12-13 12:00:00 0.5533972 0.5488870 382.71443 211.79307 170.92135
142: 2024-12-13 13:00:00 0.5793829 0.5371376 352.10710 204.00484 148.10226
143: 2024-12-13 14:00:00 0.6457949 0.5063725 276.60890 178.63262 97.97628
144: 2024-12-13 15:00:00 0.7411461 0.4586869 172.87432 128.12512 44.74920
145: 2024-12-13 16:00:00 0.8439123 0.3973283 63.15968 53.30123 9.85845

```

```

1 compI_brl <- fCompI(sol = sol, GOI = GOI, corr = 'BRL')
2 show(compI_brl)

```

```

Key: <Dates>
      Dates      Fd      Kt      GO      DO      BO
      <POS<      <num>      <num>      <num>      <num>      <num>
1: 2024-01-17 08:00:00 0.6689300 0.4583592 84.06042 56.23053 27.82988
2: 2024-01-17 09:00:00 0.5775367 0.5277148 215.49558 124.45660 91.03897
3: 2024-01-17 10:00:00 0.4826595 0.5821268 340.45500 164.32384 176.13116
4: 2024-01-17 11:00:00 0.4204896 0.6178887 433.04376 182.09040 250.95337
5: 2024-01-17 12:00:00 0.3948666 0.6325646 473.44106 186.94604 286.49502
---
141: 2024-12-13 12:00:00 0.5872522 0.5488870 382.71443 224.74989 157.96454
142: 2024-12-13 13:00:00 0.6048894 0.5371376 352.10710 212.98583 139.12126
143: 2024-12-13 14:00:00 0.6521416 0.5063725 276.60890 180.38818 96.22073
144: 2024-12-13 15:00:00 0.7207149 0.4586869 172.87432 124.59311 48.28121
145: 2024-12-13 16:00:00 0.7818945 0.3973283 63.15968 49.38421 13.77547

```

```

1 compI_climedh <- fCompI(sol = sol, GOI = GOI, corr = 'CLIMEDh')
2 show(compI_climedh)

```

```

Key: <Dates>
      Dates      Fd      Kt      GO      DO      BO
      <POS<      <num>      <num>      <num>      <num>      <num>
1: 2024-01-17 08:00:00 0.7093252 0.4583592 84.06042 59.62617 24.43424
2: 2024-01-17 09:00:00 0.5818534 0.5277148 215.49558 125.38683 90.10875
3: 2024-01-17 10:00:00 0.4782729 0.5821268 340.45500 162.83039 177.62462
4: 2024-01-17 11:00:00 0.4110389 0.6178887 433.04376 177.99784 255.04592
5: 2024-01-17 12:00:00 0.3840268 0.6325646 473.44106 181.81406 291.62701
---
141: 2024-12-13 12:00:00 0.5416063 0.5488870 382.71443 207.28055 175.43387
142: 2024-12-13 13:00:00 0.5639749 0.5371376 352.10710 198.57956 153.52754
143: 2024-12-13 14:00:00 0.6220088 0.5063725 276.60890 172.05317 104.55573
144: 2024-12-13 15:00:00 0.7087489 0.4586869 172.87432 122.52448 50.34984
145: 2024-12-13 16:00:00 0.8099691 0.3973283 63.15968 51.15739 12.00229

```

Como con **fCompD**, se puede añadir una función correctora propia.

```

1 f_corri <- function(sol, GOi){
2   ## Función CLIMEDh
3   Kt <- Kti(sol, GOi)
4   Fd=(Kt<=0.21)*(0.995-0.081*Kt)+
5     (Kt>0.21 & Kt<=0.76)*(0.724+2.738*Kt-8.32*Kt^2+4.967*Kt^3)+
6     (Kt>0.76)*0.180
7   return(data.table(Fd, Kt))
8 }
9 compI_user <- fCompI(sol = sol, GOI = GOI, corr = 'user', f = f_corri)
10 show(compI_user)

```

Key: <Dates>						
	Dates	Fd	Kt	G0	D0	B0
	<POS<	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1:	2024-01-17 08:00:00	0.7093252	0.4583592	84.06042	59.62617	24.43424
2:	2024-01-17 09:00:00	0.5818534	0.5277148	215.49558	125.38683	90.10875
3:	2024-01-17 10:00:00	0.4782729	0.5821268	340.45500	162.83039	177.62462
4:	2024-01-17 11:00:00	0.4110389	0.6178887	433.04376	177.99784	255.04592
5:	2024-01-17 12:00:00	0.3840268	0.6325646	473.44106	181.81406	291.62701
---						
141:	2024-12-13 12:00:00	0.5416063	0.5488870	382.71443	207.28055	175.43387
142:	2024-12-13 13:00:00	0.5639749	0.5371376	352.10710	198.57956	153.52754
143:	2024-12-13 14:00:00	0.6220088	0.5063725	276.60890	172.05317	104.55573
144:	2024-12-13 15:00:00	0.7087489	0.4586869	172.87432	122.52448	50.34984
145:	2024-12-13 16:00:00	0.8099691	0.3973283	63.15968	51.15739	12.00229

Y además, se puede no añadir correlación.

```
1 GOI <- compI_user
2 compI_none <- fCompI(sol = sol, GOI = GOI, corr = 'none')
3 show(compI_none)
```

Key: <Dates>						
	Dates	Fd	Kt	G0	D0	B0
	<POS<	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1:	2024-01-17 08:00:00	0.7093252	0.4583592	84.06042	59.62617	24.43424
2:	2024-01-17 09:00:00	0.5818534	0.5277148	215.49558	125.38683	90.10875
3:	2024-01-17 10:00:00	0.4782729	0.5821268	340.45500	162.83039	177.62462
4:	2024-01-17 11:00:00	0.4110389	0.6178887	433.04376	177.99784	255.04592
5:	2024-01-17 12:00:00	0.3840268	0.6325646	473.44106	181.81406	291.62701
---						
141:	2024-12-13 12:00:00	0.5416063	0.5488870	382.71443	207.28055	175.43387
142:	2024-12-13 13:00:00	0.5639749	0.5371376	352.10710	198.57956	153.52754
143:	2024-12-13 14:00:00	0.6220088	0.5063725	276.60890	172.05317	104.55573
144:	2024-12-13 15:00:00	0.7087489	0.4586869	172.87432	122.52448	50.34984
145:	2024-12-13 16:00:00	0.8099691	0.3973283	63.15968	51.15739	12.00229

Por último, esta función incluye un argumento extra, **filterG0** que cuando su valor es **TRUE**, elimina todos aquellos valores de irradiancia que son mayores que la irradiancia extra-atmosférica (ya que es incoherente que la irradiancia terrestre sea mayor que la extra-terrestre)

Estas dos funciones, como se muestra en la figura 4.4, convergen en la función constructora **calcG0**, dando como resultado un objeto de clase **G0**. Este objeto muestra la media mensual de la irradiación diaria y la irradiación anual. Aparte, incluye los resultados de **fCompD** y **fCompI** y los objetos **Sol** y **Meteo** de los que parte.

Como argumento más importante está **modeRad**, el cual selecciona el tipo de datos que introduce el usuario en el argumento **dataRad**. Estos son:

- Medias mensuales.

```
1 G0dm <- c(2.766, 3.491, 4.494, 5.912, 6.989, 7.742, 7.919,
2         7.027, 5.369, 3.562, 2.814, 2.179) * 1000
3 Ta <- c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2,
4        28.4, 29.9, 24.3, 18.2, 17.2, 15.2)
5 prom <- data.table(G0dm, Ta)
6 g0_prom <- calcG0(lat, modeRad = 'prom', dataRad = prom)
7 show(g0_prom)
```

```
Object of class  G0

Source of meteorological information: prom-

Latitude of source:  37.2 degrees
Latitude for calculations:  37.2 degrees

Monthly avarages:
      Dates      G0d      D0d      B0d
      <char> <num>      <num>      <num>
1: Jan. 2024 2.766 0.941698 1.824302
2: Feb. 2024 3.491 1.247146 2.243854
3: Mar. 2024 4.494 1.671763 2.822237
4: Apr. 2024 5.912 1.931146 3.980854
5: May. 2024 6.989 2.023364 4.965636
6: Jun. 2024 7.742 1.889994 5.852006
7: Jul. 2024 7.919 1.624064 6.294936
8: Aug. 2024 7.027 1.547591 5.479409
9: Sep. 2024 5.369 1.540708 3.828292
10: Oct. 2024 3.562 1.374513 2.187487
11: Nov. 2024 2.814 1.006959 1.807041
12: Dec. 2024 2.179 0.926737 1.252263

Yearly values:
      Dates      G0d      D0d      B0d
      <int>      <num>      <num>      <num>
1: 2024 1839.365 540.6331 1298.732
```

- Generación de secuencias diarias mediante matrices de transición de Markov.

```
1 g0_aguiar <- calcG0(lat, modeRad = 'aguiar', dataRad = prom)
2 show(g0_aguiar)
```

```
Object of class  G0

Source of meteorological information: bd-aguiar

Latitude of source:  37.2 degrees
Latitude for calculations:  37.2 degrees

Monthly avarages:
      Dates      G0d      D0d      B0d
      <char> <num>      <num>      <num>
1: Jan. 2024 2.766 1.074389 1.691611
2: Feb. 2024 3.491 1.481393 2.009607
3: Mar. 2024 4.494 1.943261 2.550739
4: Apr. 2024 5.912 2.350714 3.561286
5: May. 2024 6.989 2.475692 4.513308
6: Jun. 2024 7.742 2.491763 5.250237
7: Jul. 2024 7.919 2.274205 5.644795
8: Aug. 2024 7.027 2.014195 5.012805
9: Sep. 2024 5.369 1.809217 3.559783
10: Oct. 2024 3.562 1.625923 1.936077
11: Nov. 2024 2.814 1.232074 1.581926
12: Dec. 2024 2.179 1.084729 1.094271

Yearly values:
Key: <Dates>
      Dates      G0d      D0d      B0d
      <int>      <num>      <num>      <num>
1: 2024 1839.365 666.7377 1172.627
```

- Diarios.

```
1 bd <- as.data.tableD(g0_aguiar)
2 g0_bd <- calcG0(lat, modeRad = 'bd', dataRad = bd)
```

```
3 show(g0_bd)
```

```
Object of class  G0

Source of meteorological information: bd-data.table

Latitude of source:  37.2 degrees
Latitude for calculations:  37.2 degrees

Monthly avarages:
      Dates   G0d      D0d      B0d
      <char> <num>    <num>    <num>
1: Jan. 2024 2.766 1.074389 1.691611
2: Feb. 2024 3.491 1.481393 2.009607
3: Mar. 2024 4.494 1.943261 2.550739
4: Apr. 2024 5.912 2.350714 3.561286
5: May. 2024 6.989 2.475692 4.513308
6: Jun. 2024 7.742 2.491763 5.250237
7: Jul. 2024 7.919 2.274205 5.644795
8: Aug. 2024 7.027 2.014195 5.012805
9: Sep. 2024 5.369 1.809217 3.559783
10: Oct. 2024 3.562 1.625923 1.936077
11: Nov. 2024 2.814 1.232074 1.581926
12: Dec. 2024 2.179 1.084729 1.094271

Yearly values:
Key: <Dates>
      Dates   G0d      D0d      B0d
      <int>    <num>    <num>    <num>
1:  2024 1839.365 666.7377 1172.627
```

#### ■ Intradiarios

```
1 bdI <- as.data.tableI(g0_aguiar)
2 g0_bdI <- calcG0(lat, modeRad = 'bdI', dataRad = bdI)
3 show(g0_bdI)
```

```
Object of class  G0

Source of meteorological information: bdI-data.table

Latitude of source:  37.2 degrees
Latitude for calculations:  37.2 degrees

Monthly avarages:
      Dates   G0d      D0d      B0d
      <char> <num>    <num>    <num>
1: Jan. 2024 2.766 1.043772 1.722228
2: Feb. 2024 3.491 1.540259 1.950741
3: Mar. 2024 4.494 1.988388 2.505612
4: Apr. 2024 5.912 2.355717 3.556283
5: May. 2024 6.989 2.310988 4.678012
6: Jun. 2024 7.742 2.018162 5.723838
7: Jul. 2024 7.919 1.999583 5.919417
8: Aug. 2024 7.027 1.982788 5.044212
9: Sep. 2024 5.369 1.654032 3.714968
10: Oct. 2024 3.562 1.600744 1.961256
11: Nov. 2024 2.814 1.248700 1.565300
12: Dec. 2024 2.179 1.116547 1.062453

Yearly values:
Key: <Dates>
      Dates   G0d      D0d      B0d
      <int>    <num>    <num>    <num>
1:  2024 1839.365 636.293 1203.072
```



## 4.4. Radiación efectiva en el plano del generador

Teniendo la radiación incidente en plano horizontal (sección 4.3), se puede calcular la radiación efectiva incidente en el plano del generador. Para ello, **solar2** cuenta con la función **calcGef** la cual mediante las funciones **fInclin** y **calcShd** procesa un objeto de clase **G0** para obtener un objeto **Gef**.

Como se puede ver en la figura 4.5, **calcGef** funciona gracias a las siguientes funciones:

- **fTheta**: la cual, partiendo del ángulo de inclinación ( $\beta$ ) y la orientación ( $\alpha$ ), calcula el ángulo de inclinación en cada instante ( $\beta$ ), el ángulo azimutal ( $\psi_s$ ) y el coseno del ángulo de incidencia de la radiación solar en la superficie ( $\cos(\theta_s)$ ). Como principal argumento tiene **modeTrk**, el cual determina el sistema de seguimiento que tiene el sistema:

- **fixed**: para sistemas estáticos.

```
1 BTd <- fBTd(mode = 'prom')[6]
2 sol <- calcSol(lat, BTd = BTd, keep.night = FALSE)
3 beta <- lat - 10
4 alpha <- 0
5 angGen_fixed <- fTheta(sol = sol, beta = beta, alpha = alpha,
6                       modeTrk = 'fixed')
7 show(angGen_fixed)
```

	Dates <POS>	Beta <num>	Alpha <num>	cosTheta <num>
1:	2024-06-10 05:00:00	0.4747296	0	0.00000000
2:	2024-06-10 06:00:00	0.4747296	0	0.06990810
3:	2024-06-10 07:00:00	0.4747296	0	0.30432148
4:	2024-06-10 08:00:00	0.4747296	0	0.52263672
5:	2024-06-10 09:00:00	0.4747296	0	0.70998013
6:	2024-06-10 10:00:00	0.4747296	0	0.85358815
7:	2024-06-10 11:00:00	0.4747296	0	0.94367686
8:	2024-06-10 12:00:00	0.4747296	0	0.97410861
9:	2024-06-10 13:00:00	0.4747296	0	0.94281011
10:	2024-06-10 14:00:00	0.4747296	0	0.85191372
11:	2024-06-10 15:00:00	0.4747296	0	0.70761218

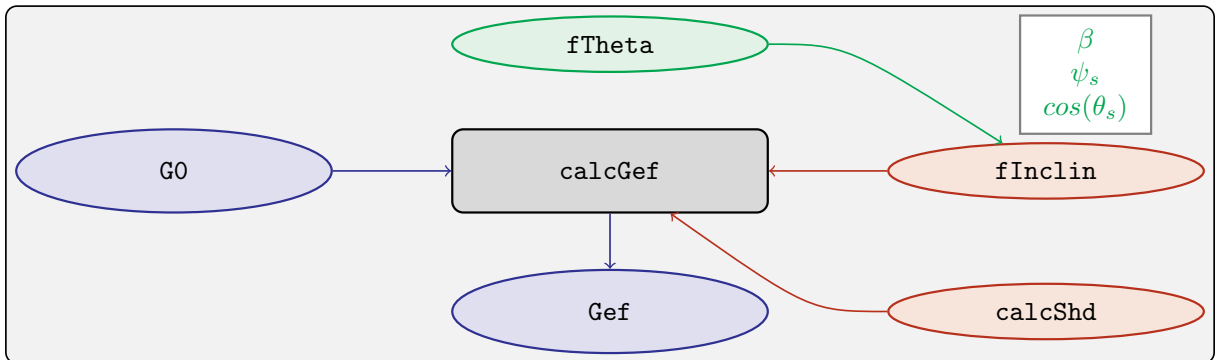


FIGURA 4.5: Cálculo de la radiación efectiva incidente en el plano del generador mediante la función **calcGef**, la cual emplea la función **fInclin** para el computo de las componentes efectivas, la función **fTheta** que provee a la función anterior los ángulos necesarios para su computo y la función **calcShd** que reprocesa el objeto de clase **Gef** resultante, añadiéndole el efecto de las sombras producidas entre módulos.

```
12: 2024-06-10 16:00:00 0.4747296 0 0.51973665
13: 2024-06-10 17:00:00 0.4747296 0 0.30108697
14: 2024-06-10 18:00:00 0.4747296 0 0.06655958
15: 2024-06-10 19:00:00 0.4747296 0 0.00000000
```

- **two**: para sistemas de seguimiento de doble eje.

```
1 angGen_two <- fTheta(sol = sol, beta = beta, alpha = alpha,
2                       modeTrk = 'two')
3 show(angGen_two)
```

	Dates <POS>	Beta <num>	Alpha <num>	cosTheta <num>
1:	2024-06-10 05:00:00	1.5220852	-2.043678875	1
2:	2024-06-10 06:00:00	1.3300857	-1.896688029	1
3:	2024-06-10 07:00:00	1.1285281	-1.756655282	1
4:	2024-06-10 08:00:00	0.9215732	-1.612213267	1
5:	2024-06-10 09:00:00	0.7134716	-1.445120762	1
6:	2024-06-10 10:00:00	0.5110180	-1.215351693	1
7:	2024-06-10 11:00:00	0.3328578	-0.809087856	1
8:	2024-06-10 12:00:00	0.2466893	0.006963841	1
9:	2024-06-10 13:00:00	0.3349967	0.817155564	1
10:	2024-06-10 14:00:00	0.5137803	1.219398208	1
11:	2024-06-10 15:00:00	0.7163931	1.447776194	1
12:	2024-06-10 16:00:00	0.9245147	1.614353339	1
13:	2024-06-10 17:00:00	1.1314208	1.758631827	1
14:	2024-06-10 18:00:00	1.3328735	1.898691776	1
15:	2024-06-10 19:00:00	1.5247042	2.045849315	1

- **horiz**: para sistemas de seguimiento horizontal Norte-Sur.

```
1 angGen_horiz <- fTheta(sol = sol, beta = beta, alpha = alpha,
2                       modeTrk = 'horiz')
3 show(angGen_horiz)
```

	Dates <POS>	Beta <num>	Alpha <num>	cosTheta <num>
1:	2024-06-10 05:00:00	1.516091993	-1.570796	0.8905353
2:	2024-06-10 06:00:00	1.317263961	-1.570796	0.9504350
3:	2024-06-10 07:00:00	1.121771495	-1.570796	0.9859551
4:	2024-06-10 08:00:00	0.921160041	-1.570796	0.9994560
5:	2024-06-10 09:00:00	0.709555740	-1.570796	0.9966296
6:	2024-06-10 10:00:00	0.483954771	-1.570796	0.9854098
7:	2024-06-10 11:00:00	0.245151627	-1.570796	0.9742418
8:	2024-06-10 12:00:00	0.001753607	1.570796	0.9697277
9:	2024-06-10 13:00:00	0.248597042	1.570796	0.9743648
10:	2024-06-10 14:00:00	0.487239436	1.570796	0.9855868
11:	2024-06-10 15:00:00	0.712638107	1.570796	0.9967482
12:	2024-06-10 16:00:00	0.924058412	1.570796	0.9993956
13:	2024-06-10 17:00:00	1.124550569	1.570796	0.9856166
14:	2024-06-10 18:00:00	1.320024608	1.570796	0.9497600
15:	2024-06-10 19:00:00	1.518974473	1.570796	0.8895182

También, tiene un argumento **BT** que indica cuando se usa la técnica de backtracking para un sistema horizontal Norte-Sur. Para funcionar, necesita de los argumentos **struct**, el cual presenta una lista con la altura de los módulos, y **dist**, el cual presenta un **data.frame** (o **data.table**) con la distancia que separa los módulos en la dirección Este-Oeste.

```

1 struct <- list(L = 1)
2 distances <- data.table(Lew = 2)
3 angGen_BT <- fTheta(sol = sol, beta = beta, alpha = alpha,
4                     modeTrk = 'horiz', BT = TRUE,
5                     struct = struct, dist = distances)
6 show(angGen_BT)

```

	Dates <POS>	Beta <num>	Alpha <num>	cosTheta <num>
1:	2024-06-10 05:00:00	0.054868903	-1.570796	0.09738369
2:	2024-06-10 06:00:00	0.271972628	-1.570796	0.47678565
3:	2024-06-10 07:00:00	0.602487004	-1.570796	0.85598103
4:	2024-06-10 08:00:00	0.921160041	-1.570796	0.99945597
5:	2024-06-10 09:00:00	0.709555740	-1.570796	0.99662956
6:	2024-06-10 10:00:00	0.483954771	-1.570796	0.98540983
7:	2024-06-10 11:00:00	0.245151627	-1.570796	0.97424175
8:	2024-06-10 12:00:00	0.001753607	1.570796	0.96972767
9:	2024-06-10 13:00:00	0.248597042	1.570796	0.97436477
10:	2024-06-10 14:00:00	0.487239436	1.570796	0.98558683
11:	2024-06-10 15:00:00	0.712638107	1.570796	0.99674816
12:	2024-06-10 16:00:00	0.924058412	1.570796	0.99939563
13:	2024-06-10 17:00:00	0.595256963	1.570796	0.85074877
14:	2024-06-10 18:00:00	0.268563625	1.570796	0.47136897
15:	2024-06-10 19:00:00	0.051961679	1.570796	0.09215170

- **fInclin**: la cual, partiendo del resultado de **fTheta** y de un objeto de clase **GO**, calcula la irradiancia solar incidente en una superficie inclinada junto con los efectos del ángulo de incidencia y la suciedad para obtener la irradiancia efectiva. Como argumentos principales están:

- **iS**: permite seleccionar entre 4 valores del 1 al 4 correspondientes al grado de suciedad del módulo. Siendo 1 limpio y 4 alto y basandose en los valores de la tabla 3.2 calcula la irradiancia efectiva. Por defecto tiene valor 2 (grado de suciedad bajo).

```

1 compI <- calcGO(lat, dataRad = prom, keep.night = FALSE)
2 sol <- calcSol(lat, BTi = indexI(compI))
3 angGen <- fTheta(sol = sol, beta = beta, alpha = alpha)
4 inclin_limpio <- fInclin(compI = compI, angGen = angGen, iS = 1)
5 show(inclin_limpio)

```

	Dates <POS>	Bo <num>	Bn <num>	G <num>	D <num>	Di <num>	Dc <num>	B <num>	R <num>
1:	2024-01-17 08:00:00	514.5612	365.8727	186.4590	52.34286	25.82073	26.52212	133.18653	0.9295706
2:	2024-01-17 09:00:00	792.6980	464.2106	366.6704	103.96230	52.12242	51.83988	260.32510	2.3830282
3:	2024-01-17 10:00:00	1010.9063	541.3602	536.6247	145.69981	68.60264	77.09717	387.15997	3.7648749
4:	2024-01-17 11:00:00	1154.3223	592.0663	662.0048	173.72247	77.44190	96.28057	483.49354	4.7887550
5:	2024-01-17 12:00:00	1213.1770	612.8750	716.5974	185.35767	80.61172	104.74595	526.00427	5.2354830
---									
141:	2024-12-13 12:00:00	1181.1554	470.2512	578.4583	180.82966	95.85462	84.97504	393.39650	4.2321949
142:	2024-12-13 13:00:00	1129.5610	453.5904	536.8668	170.08970	91.70559	78.38411	362.88341	3.8937280
143:	2024-12-13 14:00:00	994.4636	409.9651	434.0673	142.25355	79.88147	62.37208	288.75488	3.0588416
144:	2024-12-13 15:00:00	785.0640	342.3463	292.1950	99.92831	58.81096	41.11735	190.35496	1.9117069
145:	2024-12-13 16:00:00	515.6229	255.3390	140.8937	46.94651	26.80445	20.14206	93.24874	0.6984426
	FTb <num>	FTd <num>	FTr <num>	Dief <num>	Dcef <num>	Gef <num>	Def <num>	Bef <num>	Ref <num>
1:	0.115032290	0.05043622	0.2503398	24.51843	23.47122	166.5523	47.98966	117.86578	0.6968621
2:	0.034235799	0.05043622	0.2503398	49.49356	50.06510	352.7578	99.55866	251.41266	1.7864615
3:	0.012139104	0.05043622	0.2503398	65.14258	76.16128	526.5864	141.30386	382.46020	2.8223770
4:	0.005426675	0.05043622	0.2503398	73.53602	95.75809	653.7538	169.29411	480.86978	3.5899392
5:	0.003640433	0.05043622	0.2503398	76.54597	104.36463	708.9248	180.91060	524.08939	3.9248333
---									

#### 4. DESARROLLO DEL CÓDIGO

```
141: 0.004516349 0.05043622 0.2503398 91.02007 84.59127 570.4038 175.61134 391.61978 3.1727082
142: 0.006269898 0.05043622 0.2503398 87.08031 77.89265 528.5001 164.97296 360.60816 2.9189730
143: 0.013120704 0.05043622 0.2503398 75.85255 61.55372 424.6656 137.40626 284.96622 2.2930919
144: 0.035287438 0.05043622 0.2503398 55.84476 39.66642 280.5821 95.51118 183.63782 1.4331306
145: 0.114223038 0.05043622 0.2503398 25.45254 17.84137 126.4151 43.29391 82.59758 0.5235947
```

```
1 inclin_sucio <- fInclin(compI = compI, angGen = angGen, iS = 4)
2 show(inclin_sucio)
```

	Dates <POSc>	Bo <num>	Bn <num>	G <num>	D <num>	Di <num>	Dc <num>	B <num>	R <num>
1:	2024-01-17 08:00:00	514.5612	365.8727	186.4590	52.34286	25.82073	26.52212	133.18653	0.9295706
2:	2024-01-17 09:00:00	792.6980	464.2106	366.6704	103.96230	52.12242	51.83988	260.32510	2.3830282
3:	2024-01-17 10:00:00	1010.9063	541.3602	536.6247	145.69981	68.60264	77.09717	387.15997	3.7648749
4:	2024-01-17 11:00:00	1154.3223	592.0663	662.0048	173.72247	77.44190	96.28057	483.49354	4.7887550
5:	2024-01-17 12:00:00	1213.1770	612.8750	716.5974	185.35767	80.61172	104.74595	526.00427	5.2354830
---									
141:	2024-12-13 12:00:00	1181.1554	470.2512	578.4583	180.82966	95.85462	84.97504	393.39650	4.2321949
142:	2024-12-13 13:00:00	1129.5610	453.5904	536.8668	170.08970	91.70559	78.38411	362.88341	3.8937280
143:	2024-12-13 14:00:00	994.4636	409.9651	434.0673	142.25355	79.88147	62.37208	288.75488	3.0588416
144:	2024-12-13 15:00:00	785.0640	342.3463	292.1950	99.92831	58.81096	41.11735	190.35496	1.9117069
145:	2024-12-13 16:00:00	515.6229	255.3390	140.8937	46.94651	26.80445	20.14206	93.24874	0.6984426
---									
	FTb <num>	FTd <num>	FTr <num>	Dief <num>	Dcef <num>	Gef <num>	Def <num>	Bef <num>	Ref <num>
1:	0.24100175	0.09714708	0.3918962	21.44734	18.51982	133.4885	39.96716	93.00127	0.5200533
2:	0.10321543	0.09714708	0.3918962	43.29416	42.77007	302.1765	86.06424	214.77909	1.3331982
3:	0.04727214	0.09714708	0.3918962	56.98305	67.57641	466.0152	124.55946	339.34944	2.1062799
4:	0.02455379	0.09714708	0.3918962	64.32515	86.40320	587.2996	150.72835	433.89218	2.6790952
5:	0.01743586	0.09714708	0.3918962	66.95809	94.68605	640.0594	161.64413	475.48630	2.9290196
---									
141:	0.02100686	0.09714708	0.3918962	79.61921	76.53478	512.8436	156.15400	354.32187	2.3677246
142:	0.02771140	0.09714708	0.3918962	76.17293	70.11502	473.0675	146.28795	324.60121	2.1783674
143:	0.05023795	0.09714708	0.3918962	66.35152	54.49955	374.8709	120.85106	252.30856	1.7112857
144:	0.10550059	0.09714708	0.3918962	48.84983	33.83709	240.4070	82.68692	156.65061	1.0695149
145:	0.23984890	0.09714708	0.3918962	22.26444	14.08613	101.9538	36.35057	65.21248	0.3907476

- **alb** Correspondiente al coeficiente de reflexión del terreno para la irradiancia de albedo. Por defecto tiene un valor de 0,2 (valor aceptable para un terreno normal).

```
1 inclin_alb0 <- fInclin(compI = compI, angGen = angGen, alb = 0)
2 show(inclin_alb0)
```

	Dates <POSc>	Bo <num>	Bn <num>	G <num>	D <num>	Di <num>	Dc <num>	B <num>	R <num>
1:	2024-01-17 08:00:00	514.5612	365.8727	185.5294	52.34286	25.82073	26.52212	133.18653	0
2:	2024-01-17 09:00:00	792.6980	464.2106	364.2874	103.96230	52.12242	51.83988	260.32510	0
3:	2024-01-17 10:00:00	1010.9063	541.3602	532.8598	145.69981	68.60264	77.09717	387.15997	0
4:	2024-01-17 11:00:00	1154.3223	592.0663	657.2160	173.72247	77.44190	96.28057	483.49354	0
5:	2024-01-17 12:00:00	1213.1770	612.8750	711.3619	185.35767	80.61172	104.74595	526.00427	0
---									
141:	2024-12-13 12:00:00	1181.1554	470.2512	574.2262	180.82966	95.85462	84.97504	393.39650	0
142:	2024-12-13 13:00:00	1129.5610	453.5904	532.9731	170.08970	91.70559	78.38411	362.88341	0
143:	2024-12-13 14:00:00	994.4636	409.9651	431.0084	142.25355	79.88147	62.37208	288.75488	0
144:	2024-12-13 15:00:00	785.0640	342.3463	290.2833	99.92831	58.81096	41.11735	190.35496	0
145:	2024-12-13 16:00:00	515.6229	255.3390	140.1953	46.94651	26.80445	20.14206	93.24874	0
---									
	FTb <num>	FTd <num>	FTr <num>	Dief <num>	Dcef <num>	Gef <num>	Def <num>	Bef <num>	Ref <num>
1:	0.156321477	0.06473603	0.2994808	23.66622	21.92862	155.7141	45.59484	110.11928	0
2:	0.054197292	0.06473603	0.2994808	47.77325	48.04970	337.1148	95.82295	241.29186	0
3:	0.021399057	0.06473603	0.2994808	62.87835	73.93841	508.1144	136.81676	371.29761	0
4:	0.010185772	0.06473603	0.2994808	70.98005	93.39388	633.3713	164.37393	468.99741	0
5:	0.006996517	0.06473603	0.2994808	73.88537	101.93283	687.6958	175.81821	511.87759	0
---									
141:	0.008575046	0.06473603	0.2994808	87.85638	82.56145	552.6405	170.41783	382.22264	0

```

142: 0.011653979 0.06473603 0.2994808 84.05356 75.92121 511.4560 159.97477 351.48128 0
143: 0.022965930 0.06473603 0.2994808 73.21605 59.72086 409.4178 132.93691 276.48089 0
144: 0.055666181 0.06473603 0.2994808 53.90370 38.05193 268.1191 91.95563 176.16345 0
145: 0.155368802 0.06473603 0.2994808 24.56786 16.67236 118.4258 41.24021 77.18558 0

```

```

1 inclin_alb1 <- fInclin(compI = compI, angGen = angGen, alb = 1)
2 show(inclin_alb1)

```

	Dates <POSc>	Bo <num>	Bn <num>	G <num>	D <num>	Di <num>	Dc <num>	B <num>	R <num>
1:	2024-01-17 08:00:00	514.5612	365.8727	190.1772	52.34286	25.82073	26.52212	133.18653	4.647853
2:	2024-01-17 09:00:00	792.6980	464.2106	376.2025	103.96230	52.12242	51.83988	260.32510	11.915141
3:	2024-01-17 10:00:00	1010.9063	541.3602	551.6842	145.69981	68.60264	77.09717	387.15997	18.824375
4:	2024-01-17 11:00:00	1154.3223	592.0663	681.1598	173.72247	77.44190	96.28057	483.49354	23.943775
5:	2024-01-17 12:00:00	1213.1770	612.8750	737.5394	185.35767	80.61172	104.74595	526.00427	26.177415
---									
141:	2024-12-13 12:00:00	1181.1554	470.2512	595.3871	180.82966	95.85462	84.97504	393.39650	21.160975
142:	2024-12-13 13:00:00	1129.5610	453.5904	552.4417	170.08970	91.70559	78.38411	362.88341	19.468640
143:	2024-12-13 14:00:00	994.4636	409.9651	446.3026	142.25355	79.88147	62.37208	288.75488	15.294208
144:	2024-12-13 15:00:00	785.0640	342.3463	299.8418	99.92831	58.81096	41.11735	190.35496	9.558535
145:	2024-12-13 16:00:00	515.6229	255.3390	143.6875	46.94651	26.80445	20.14206	93.24874	3.492213
	FTb <num>	FTd <num>	FTr <num>	Dief <num>	Dcef <num>	Gef <num>	Def <num>	Bef <num>	Ref <num>
1:	0.156321477	0.06473603	0.2994808	23.66622	21.92862	158.9049	45.59484	110.11928	3.190792
2:	0.054197292	0.06473603	0.2994808	47.77325	48.04970	345.2947	95.82295	241.29186	8.179849
3:	0.021399057	0.06473603	0.2994808	62.87835	73.93841	521.0375	136.81676	371.29761	12.923098
4:	0.010185772	0.06473603	0.2994808	70.98005	93.39388	649.8089	164.37393	468.99741	16.437612
5:	0.006996517	0.06473603	0.2994808	73.88537	101.93283	705.6668	175.81821	511.87759	17.971025
---									
141:	0.008575046	0.06473603	0.2994808	87.85638	82.56145	567.1677	170.41783	382.22264	14.527195
142:	0.011653979	0.06473603	0.2994808	84.05356	75.92121	524.8214	159.97477	351.48128	13.365392
143:	0.022965930	0.06473603	0.2994808	73.21605	59.72086	419.9174	132.93691	276.48089	10.499608
144:	0.055666181	0.06473603	0.2994808	53.90370	38.05193	274.6811	91.95563	176.16345	6.562018
145:	0.155368802	0.06473603	0.2994808	24.56786	16.67236	120.8232	41.24021	77.18558	2.397435

Además, cuenta con dos argumentos adicionales, **horizBright**, el cual, cuando su valor es **TRUE** (el que tiene por defecto), realiza una corrección de la radiación difusa [RBD90], y **HCPV**, es el acrónimo de **High Concentration PV system**<sup>6</sup> (sistema fotovoltaico de alta concentración) que cuando su valor es **TRUE** (por defecto está puesto en **FALSE**), anula los valores de radiación difusa y de albedo.

```

1 inclin_horizBright <- fInclin(compI = compI, angGen = angGen,
2                               horizBright = FALSE)
3 show(inclin_horizBright)

```

	Dates <POSc>	Bo <num>	Bn <num>	G <num>	D <num>	Di <num>	Dc <num>	B <num>	R <num>
1:	2024-01-17 08:00:00	514.5612	365.8727	186.2091	52.09303	25.57090	26.52212	133.18653	0.9295706
2:	2024-01-17 09:00:00	792.6980	464.2106	366.1413	103.43314	51.59325	51.83988	260.32510	2.3830282
3:	2024-01-17 10:00:00	1010.9063	541.3602	535.9087	144.98390	67.88673	77.09717	387.15997	3.7648749
4:	2024-01-17 11:00:00	1154.3223	592.0663	661.1846	172.90227	76.62170	96.28057	483.49354	4.7887550
5:	2024-01-17 12:00:00	1213.1770	612.8750	715.7390	184.49921	79.75326	104.74595	526.00427	5.2354830
---									
141:	2024-12-13 12:00:00	1181.1554	470.2512	577.4973	179.86860	94.89356	84.97504	393.39650	4.2321949
142:	2024-12-13 13:00:00	1129.5610	453.5904	535.9539	169.17679	90.79268	78.38411	362.88341	3.8937280
143:	2024-12-13 14:00:00	994.4636	409.9651	433.2885	141.47476	79.10268	62.37208	288.75488	3.0588416
144:	2024-12-13 15:00:00	785.0640	342.3463	291.6442	99.37758	58.26023	41.11735	190.35496	1.9117069
145:	2024-12-13 16:00:00	515.6229	255.3390	140.6606	46.71344	26.57138	20.14206	93.24874	0.6984426
	FTb	FTd	FTr	Dief	Dcef	Gef	Def	Bef	Ref

<sup>6</sup>la tecnología de concentración fotovoltaica funciona gracias a unos dispositivos ópticos que permiten concentrar la radiación solar sobre una célula fotovoltaica de tamaño reducido pero con una eficiencia muy superior a las células tradicionales. Con ello se consigue emplear menor cantidad de semiconductores reduciendo los costes.

#### 4. DESARROLLO DEL CÓDIGO

	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1:	0.156321477	0.06473603	0.2994808	23.43723	21.92862	156.1233	45.36586	110.11928
2:	0.054197292	0.06473603	0.2994808	47.28824	48.04970	338.2658	95.33794	241.29186
3:	0.021399057	0.06473603	0.2994808	62.22217	73.93841	510.0428	136.16059	371.29761
4:	0.010185772	0.06473603	0.2994808	70.22829	93.39388	635.9071	163.62217	468.99741
5:	0.006996517	0.06473603	0.2994808	73.09855	101.93283	690.5032	175.03138	511.87759
---								
141:	0.008575046	0.06473603	0.2994808	86.97552	82.56145	554.6650	169.53697	382.22264
142:	0.011653979	0.06473603	0.2994808	83.21682	75.92121	513.2924	159.13803	351.48128
143:	0.022965930	0.06473603	0.2994808	72.50225	59.72086	410.8039	132.22311	276.48089
144:	0.055666181	0.06473603	0.2994808	53.39892	38.05193	268.9267	91.45086	176.16345
145:	0.155368802	0.06473603	0.2994808	24.35423	16.67236	118.6917	41.02659	77.18558

```

1 inclin_HCPV <- fInclin(compI = compI, angGen = angGen,
2                       HCPV = TRUE)
3 show(inclin_HCPV)

```

	Dates	Bo	Bn	G	D	Di	Dc	B	R
	<POSc>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1:	2024-01-17 08:00:00	514.5612	365.8727	186.4590	52.34286	25.82073	26.52212	133.18653	0.9295706
2:	2024-01-17 09:00:00	792.6980	464.2106	366.6704	103.96230	52.12242	51.83988	260.32510	2.3830282
3:	2024-01-17 10:00:00	1010.9063	541.3602	536.6247	145.69981	68.60264	77.09717	387.15997	3.7648749
4:	2024-01-17 11:00:00	1154.3223	592.0663	662.0048	173.72247	77.44190	96.28057	483.49354	4.7887550
5:	2024-01-17 12:00:00	1213.1770	612.8750	716.5974	185.35767	80.61172	104.74595	526.00427	5.2354830
---									
141:	2024-12-13 12:00:00	1181.1554	470.2512	578.4583	180.82966	95.85462	84.97504	393.39650	4.2321949
142:	2024-12-13 13:00:00	1129.5610	453.5904	536.8668	170.08970	91.70559	78.38411	362.88341	3.8937280
143:	2024-12-13 14:00:00	994.4636	409.9651	434.0673	142.25355	79.88147	62.37208	288.75488	3.0588416
144:	2024-12-13 15:00:00	785.0640	342.3463	292.1950	99.92831	58.81096	41.11735	190.35496	1.9117069
145:	2024-12-13 16:00:00	515.6229	255.3390	140.8937	46.94651	26.80445	20.14206	93.24874	0.6984426

	FTb	FTd	FTr	Dief	Dcef	Gef	Def	Bef	Ref
	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1:	0.156321477	0.06473603	0.2994808	0	0	110.11928	0	110.11928	0
2:	0.054197292	0.06473603	0.2994808	0	0	241.29186	0	241.29186	0
3:	0.021399057	0.06473603	0.2994808	0	0	371.29761	0	371.29761	0
4:	0.010185772	0.06473603	0.2994808	0	0	468.99741	0	468.99741	0
5:	0.006996517	0.06473603	0.2994808	0	0	511.87759	0	511.87759	0
---									
141:	0.008575046	0.06473603	0.2994808	0	0	382.22264	0	382.22264	0
142:	0.011653979	0.06473603	0.2994808	0	0	351.48128	0	351.48128	0
143:	0.022965930	0.06473603	0.2994808	0	0	276.48089	0	276.48089	0
144:	0.055666181	0.06473603	0.2994808	0	0	176.16345	0	176.16345	0
145:	0.155368802	0.06473603	0.2994808	0	0	77.18558	0	77.18558	0

Finalmente, esta función le otorga estos datos a la función **calcGef** para que produzca un objeto de clase **Gef** como resultado. Esta función tiene como argumentos principales los mismos que los que tiene **calcGO** 4.3, es decir, **modeRad** y **dataRad**. Y además, como es lógico, con todos los argumentos mencionados con anterioridad en **fTheta** y **fInclin**.

```

1 gef_prom <- calcGef(lat = lat, modeTrk = 'two', modeRad = 'prom',
2                   dataRad = prom,
3                   beta = lat-10, alpha = 0,
4                   iS = 2, alb = 0.2,
5                   horizBright = TRUE, HCPV = FALSE)
6 show(gef_prom)

```

Object of class Gef

Source of meteorological information: prom-

Latitude of source: 37.2 degrees

Latitude for calculations: 37.2 degrees

Monthly avarages:

	Dates <char>	Bod <num>	Bnd <num>	Gd <num>	Dd <num>	Bd <num>	Gefd <num>	Defd <num>	Befd <num>
1: Jan. 2024	14.13536	4.924221	6.522313	1.440413	4.924221	6.348801	1.384087	4.825736	
2: Feb. 2024	15.42754	5.034287	6.875052	1.672079	5.034287	6.680139	1.599929	4.933601	
3: Mar. 2024	16.58107	5.163713	7.329138	1.998110	5.163713	7.104641	1.902356	5.060439	
4: Apr. 2024	17.64047	6.408617	8.843422	2.265896	6.408617	8.578222	2.158071	6.280444	
5: May. 2024	18.70771	7.617499	10.178196	2.394606	7.617499	9.885240	2.284334	7.465149	
6: Jun. 2024	19.87238	9.102430	11.606533	2.329653	9.102430	11.293417	2.230338	8.920381	
7: Jul. 2024	18.51695	10.037233	11.801533	2.029150	9.589205	11.495648	1.948530	9.397421	
8: Aug. 2024	17.34098	8.640959	10.777404	1.947410	8.640959	10.493150	1.869393	8.468140	
9: Sep. 2024	16.25295	6.698488	8.831006	1.948075	6.698488	8.584604	1.864962	6.564518	
10: Oct. 2024	15.16994	4.546024	6.418653	1.711039	4.546024	6.226290	1.631551	4.455104	
11: Nov. 2024	14.00493	4.638289	6.247341	1.452953	4.638289	6.076159	1.393353	4.545523	
12: Dec. 2024	12.70717	3.439788	4.825181	1.254616	3.439788	4.685547	1.198824	3.370992	

Yearly values:

	Dates <int>	Bod <num>	Bnd <num>	Gd <num>	Dd <num>	Bd <num>	Gefd <num>	Defd <num>	Befd <num>
1: 2024	5988.455	2326.882	3058.651	684.4232	2312.993	2973.115	654.591	2266.733	

Mode of tracking: two

Inclination limit: 90

Sin embargo, como argumento importante está **modeShd**, el cual permite incluir el efecto de las sombras entre módulos al objeto **Gef** mediante el uso de la función **calcShd**. Esta opción añade las variables **Gef0**, **Def0** y **Bef0** las cuales son las componentes de radiación efectiva previas a aplicar el efecto de las sombras con el fin de poder comparar.

```

1 struct <- list(W=23.11, L=9.8, Nrow=2, Ncol=8)
2 distances <- data.table(Lew=40, Lns=30, H=0)
3 gef_shd <- calcShd(radEf = gef_prom, modeShd = 'prom',
4                   struct = struct, distances = distances)
5 show(gef_shd)

```

Object of class Gef

Source of meteorological information: prom-

Latitude of source: 37.2 degrees

Latitude for calculations: 37.2 degrees

Monthly avarages:

	Dates <char>	Gef0d <num>	Def0d <num>	Bef0d <num>	Gd <num>	Dd <num>	Bd <num>	Gefd <num>	Defd <num>	Befd <num>
1: Jan. 2024	6.348801	1.384087	4.825736	6.522313	1.440413	4.924221	6.104126	1.343455	4.621693	
2: Feb. 2024	6.680139	1.599929	4.933601	6.875052	1.672079	5.034287	6.406274	1.553670	4.705996	
3: Mar. 2024	7.104641	1.902356	5.060439	7.329138	1.998110	5.163713	6.788630	1.848127	4.798657	
4: Apr. 2024	8.578222	2.158071	6.280444	8.843422	2.265896	6.408617	8.295340	2.112064	6.043569	
5: May. 2024	9.885240	2.284334	7.465149	10.178196	2.394606	7.617499	9.688308	2.253942	7.298609	
6: Jun. 2024	11.293417	2.230338	8.920381	11.606533	2.329653	9.102430	11.115054	2.205314	8.767042	
7: Jul. 2024	11.495648	1.948530	9.397421	11.801533	2.029150	9.589205	11.308971	1.924962	9.234312	
8: Aug. 2024	10.493150	1.869393	8.468140	10.777404	1.947410	8.640959	10.196758	1.830334	8.210807	
9: Sep. 2024	8.584604	1.864962	6.564518	8.831006	1.948075	6.698488	8.228309	1.810198	6.262986	
10: Oct. 2024	6.226290	1.631551	4.455104	6.418653	1.711039	4.546024	6.018374	1.595528	4.283212	
11: Nov. 2024	6.076159	1.393353	4.545523	6.247341	1.452953	4.638289	5.875732	1.359514	4.378935	
12: Dec. 2024	4.685547	1.198824	3.370992	4.825181	1.254616	3.439788	4.575893	1.179346	3.280817	

Yearly values:

	Dates <int>	Gef0d <num>	Def0d <num>	Bef0d <num>	Gd <num>	Dd <num>	Bd <num>	Gefd <num>	Defd <num>	Befd <num>
1: 2024	2973.115	654.591	2266.733	3058.651	684.4232	2312.993	2886.328	640.9157	2193.621	



```
Mode of tracking: two
Inclination limit: 90
```

```
1 gef_shd2 <- calcGef(lat = lat, modeTrk = 'two', dataRad = prom,
2                   modeShd = 'prom', struct = struct, distances = distances)
3 show(gef_shd2)
```

Object of class Gef

Source of meteorological information: prom-

Latitude of source: 37.2 degrees

Latitude for calculations: 37.2 degrees

Monthly avarages:

	Dates	Gef0d	Def0d	Bef0d	Gd	Dd	Bd	Gefd	Defd	Befd
	<char>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1: Jan. 2024	6.348801	1.384087	4.825736	6.522313	1.440413	4.924221	6.104126	1.343455	4.621693	
2: Feb. 2024	6.680139	1.599929	4.933601	6.875052	1.672079	5.034287	6.406274	1.553670	4.705996	
3: Mar. 2024	7.104641	1.902356	5.060439	7.329138	1.998110	5.163713	6.788630	1.848127	4.798657	
4: Apr. 2024	8.578222	2.158071	6.280444	8.843422	2.265896	6.408617	8.295340	2.112064	6.043569	
5: May. 2024	9.885240	2.284334	7.465149	10.178196	2.394606	7.617499	9.688308	2.253942	7.298609	
6: Jun. 2024	11.293417	2.230338	8.920381	11.606533	2.329653	9.102430	11.115054	2.205314	8.767042	
7: Jul. 2024	11.495648	1.948530	9.397421	11.801533	2.029150	9.589205	11.308971	1.924962	9.234312	
8: Aug. 2024	10.493150	1.869393	8.468140	10.777404	1.947410	8.640959	10.196758	1.830334	8.210807	
9: Sep. 2024	8.584604	1.864962	6.564518	8.831006	1.948075	6.698488	8.228309	1.810198	6.262986	
10: Oct. 2024	6.226290	1.631551	4.455104	6.418653	1.711039	4.546024	6.018374	1.595528	4.283212	
11: Nov. 2024	6.076159	1.393353	4.545523	6.247341	1.452953	4.638289	5.875732	1.359514	4.378935	
12: Dec. 2024	4.685547	1.198824	3.370992	4.825181	1.254616	3.439788	4.575893	1.179346	3.280817	

Yearly values:

	Dates	Gef0d	Def0d	Bef0d	Gd	Dd	Bd	Gefd	Defd	Befd
	<int>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1: 2024	2973.115	654.591	2266.733	3058.651	684.4232	2312.993	2886.328	640.9157	2193.621	

```
-----
Mode of tracking: two
Inclination limit: 90
```

El argumento **modeShd** puede ser de distintas maneras:

- **area**: el efecto de las sombras se calcula como una reducción proporcional de las irradiancias difusa circunsolar y directa.

```
1 gef_shdarea <- calcGef(lat, modeTrk = 'two', dataRad = prom,
2                   modeShd = 'area',
3                   struct = struct, distances = distances)
4 show(gef_shdarea)
```

Object of class Gef

Source of meteorological information: prom-

Latitude of source: 37.2 degrees

Latitude for calculations: 37.2 degrees

Monthly avarages:

	Dates	Gef0d	Def0d	Bef0d	Gd	Dd	Bd	Gefd	Defd	Befd
	<char>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>



```

1: Jan. 2024 6.348801 1.384087 4.825736 6.522313 1.440413 4.924221 5.877879 1.305883 4.433019
2: Feb. 2024 6.680139 1.599929 4.933601 6.875052 1.672079 5.034287 6.291348 1.534257 4.610483
3: Mar. 2024 7.104641 1.902356 5.060439 7.329138 1.998110 5.163713 6.743478 1.840379 4.761253
4: Apr. 2024 8.578222 2.158071 6.280444 8.843422 2.265896 6.408617 8.254928 2.105491 6.009730
5: May. 2024 9.885240 2.284334 7.465149 10.178196 2.394606 7.617499 9.660175 2.249601 7.274817
6: Jun. 2024 11.293417 2.230338 8.920381 11.606533 2.329653 9.102430 11.089573 2.201739 8.745137
7: Jul. 2024 11.495648 1.948530 9.397421 11.801533 2.029150 9.589205 11.282303 1.921596 9.211011
8: Aug. 2024 10.493150 1.869393 8.468140 10.777404 1.947410 8.640959 10.154416 1.824754 8.174045
9: Sep. 2024 8.584604 1.864962 6.564518 8.831006 1.948075 6.698488 8.177410 1.802375 6.219910
10: Oct. 2024 6.226290 1.631551 4.455104 6.418653 1.711039 4.546024 5.950189 1.583714 4.226840
11: Nov. 2024 6.076159 1.393353 4.545523 6.247341 1.452953 4.638289 5.705306 1.330740 4.237284
12: Dec. 2024 4.685547 1.198824 3.370992 4.825181 1.254616 3.439788 4.440179 1.155239 3.169210

```

Yearly values:

	Dates	Gef0d	Def0d	Bef0d	Gd	Dd	Bd	Gefd	Defd	Befd
	<int>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1:	2024	2973.115	654.591	2266.733	3058.651	684.4232	2312.993	2856.633	636.0199	2168.822

```

-----
Mode of tracking: two
Inclination limit: 90

```

- **prom**: cuando **modeTrk** es **two**, se puede calcular el efecto de las sombras de un seguidor promedio.

```

1 gef_shdprom <- calcGef(lat, modeTrk = 'two', dataRad = prom,
2                       modeShd = c('area', 'prom'),
3                       struct = struct, distances = distances)
4 show(gef_shdprom)

```

Object of class Gef

Source of meteorological information: prom-

Latitude of source: 37.2 degrees

Latitude for calculations: 37.2 degrees

Monthly avarages:

	Dates	Gef0d	Def0d	Bef0d	Gd	Dd	Bd	Gefd	Defd	Befd
	<char>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1: Jan. 2024	6.348801	1.384087	4.825736	6.522313	1.440413	4.924221	6.104126	1.343455	4.621693	
2: Feb. 2024	6.680139	1.599929	4.933601	6.875052	1.672079	5.034287	6.406274	1.553670	4.705996	
3: Mar. 2024	7.104641	1.902356	5.060439	7.329138	1.998110	5.163713	6.788630	1.848127	4.798657	
4: Apr. 2024	8.578222	2.158071	6.280444	8.843422	2.265896	6.408617	8.295340	2.112064	6.043569	
5: May. 2024	9.885240	2.284334	7.465149	10.178196	2.394606	7.617499	9.688308	2.253942	7.298609	
6: Jun. 2024	11.293417	2.230338	8.920381	11.606533	2.329653	9.102430	11.115054	2.205314	8.767042	
7: Jul. 2024	11.495648	1.948530	9.397421	11.801533	2.029150	9.589205	11.308971	1.924962	9.234312	
8: Aug. 2024	10.493150	1.869393	8.468140	10.777404	1.947410	8.640959	10.196758	1.830334	8.210807	
9: Sep. 2024	8.584604	1.864962	6.564518	8.831006	1.948075	6.698488	8.228309	1.810198	6.262986	
10: Oct. 2024	6.226290	1.631551	4.455104	6.418653	1.711039	4.546024	6.018374	1.595528	4.283212	
11: Nov. 2024	6.076159	1.393353	4.545523	6.247341	1.452953	4.638289	5.875732	1.359514	4.378935	
12: Dec. 2024	4.685547	1.198824	3.370992	4.825181	1.254616	3.439788	4.575893	1.179346	3.280817	

Yearly values:

	Dates	Gef0d	Def0d	Bef0d	Gd	Dd	Bd	Gefd	Defd	Befd
	<int>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1:	2024	2973.115	654.591	2266.733	3058.651	684.4232	2312.993	2886.328	640.9157	2193.621

```

-----
Mode of tracking: two
Inclination limit: 90

```

- **bt**: cuando **modeTrk** es **horiz**, se puede calcular el efecto del *backtracking* en las sombras.

```

1 gef_shdhoriz <- calcGef(lat, modeTrk = 'horiz', dataRad = prom,
2                       modeShd = 'area',
3                       struct = struct, distances = distances)
4 show(gef_shdhoriz)

```

Object of class Gef

Source of meteorological information: prom-

Latitude of source: 37.2 degrees

Latitude for calculations: 37.2 degrees

Monthly avarages:

	Dates	Gef0d	Def0d	Bef0d	Gd	Dd	Bd	Gefd	Defd	Befd
	<char>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1: Jan. 2024	4.274445	1.0909303	3.118987	4.528022	1.166334	3.285391	3.826940	1.0166151	2.745797	
2: Feb. 2024	5.173537	1.3974587	3.699745	5.414413	1.484046	3.839622	4.709780	1.3191237	3.314324	
3: Mar. 2024	6.270377	1.8008592	4.379272	6.512568	1.906181	4.498391	5.856407	1.7298195	4.036342	
4: Apr. 2024	8.160354	2.1103041	5.938446	8.429640	2.222836	6.072611	7.744288	2.0426359	5.590049	
5: May. 2024	9.639011	2.2544315	7.260788	9.932830	2.366831	7.416258	9.158384	2.1802588	6.854334	
6: Jun. 2024	11.005388	2.1942042	8.675874	11.320680	2.294944	8.861907	10.355140	2.1029750	8.116855	
7: Jul. 2024	11.220872	1.9183453	9.163290	11.527430	2.000253	9.358648	10.747413	1.8585724	8.749603	
8: Aug. 2024	10.066277	1.8239013	8.112148	10.352216	1.904515	8.290847	9.601132	1.7626031	7.708301	
9: Sep. 2024	7.732062	1.7621525	5.864625	7.991813	1.852070	6.013507	7.317424	1.6984219	5.513717	
10: Oct. 2024	5.023316	1.4757157	3.471271	5.250215	1.568278	3.591050	4.691499	1.4182254	3.196944	
11: Nov. 2024	4.211801	1.1318865	3.014748	4.452659	1.209397	3.166130	3.846165	1.0701542	2.710845	
12: Dec. 2024	3.024846	0.9640813	2.008270	3.237139	1.039367	2.135901	2.849995	0.9330218	1.864479	

Yearly values:

	Dates	Gef0d	Def0d	Bef0d	Gd	Dd	Bd	Gefd	Defd	Befd
	<int>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1: 2024	2618.414	607.6589	1975.038	2714.415	640.9193	2030.645	2463.159	583.5528	1843.889	

Mode of tracking: horiz

Inclination limit: 90

```

1 gef_shdbt <- calcGef(lat, modeTrk = 'horiz', dataRad = prom,
2                       modeShd = c('area', 'bt'),
3                       struct = struct, distances = distances)
4 show(gef_shdbt)

```

Object of class Gef

Source of meteorological information: prom-

Latitude of source: 37.2 degrees

Latitude for calculations: 37.2 degrees

Monthly avarages:

	Dates	Bod	Bnd	Gd	Dd	Bd	Gefd	Defd	Befd
	<char>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1: Jan. 2024	8.071623	4.924221	4.069604	1.101792	2.902196	3.802336	1.0232875	2.724604	
2: Feb. 2024	10.170791	5.034287	4.943127	1.417056	3.445443	4.680459	1.3258434	3.287780	
3: Mar. 2024	12.816149	5.163713	6.094523	1.850253	4.148386	5.841685	1.7419635	4.020914	
4: Apr. 2024	15.326568	6.408617	8.007438	2.166491	5.716983	7.711198	2.0485357	5.560571	
5: May. 2024	16.624320	7.617499	9.439815	2.303156	7.000336	9.132906	2.1878882	6.833933	
6: Jun. 2024	17.408383	9.102430	10.652929	2.206022	8.288629	10.286974	2.0977541	8.059004	
7: Jul. 2024	16.861601	10.037233	11.038213	1.944739	8.935057	10.701158	1.8585291	8.712900	
8: Aug. 2024	15.551202	8.640959	9.872463	1.850828	7.878525	9.562356	1.7662720	7.678732	
9: Sep. 2024	13.422796	6.698488	7.568105	1.795358	5.655421	7.285297	1.7012821	5.487114	
10: Oct. 2024	10.764846	4.546024	4.915408	1.521915	3.310678	4.666904	1.4246602	3.173452	
11: Nov. 2024	8.434950	4.638289	4.079866	1.156410	2.854293	3.813241	1.0737415	2.681776	
12: Dec. 2024	7.370928	3.439788	3.062505	1.023011	1.987550	2.836653	0.9441838	1.849321	

```

Yearly values:
  Dates      Bod      Bnd      Gd      Dd      Bd      Gefd      Defd      Befd
  <int>      <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>
1: 2024 4662.615 2326.882 2555.869 620.2896 1896.422 2451.499 585.4392 1833.809
-----
Mode of tracking: horiz
Inclination limit: 90

```

## 4.5. Producción eléctrica de un SFCR

Con la radiación efectiva, se puede estimar la producción eléctrica que va a tener un sistema fotovoltaico conectado a red. Esta estimación, se puede calcular mediante la función **prodGCPV** la cual mediante la función **fProd** procesa un objeto de clase **Gef** y obtiene un objeto **ProdGCPV**.

Como se puede ver en la figura 4.6, **prodGCPV** funciona gracias a la siguiente función:

- **fProd**: simula el comportamiento de un sistema fotovoltaico conectado a red bajo diferentes condiciones de temperatura e irradiancia. Tiene los siguientes argumentos:
  - **inclin**: puede ser tanto un objeto de clase **Gef** como un **data.frame** (o **data.table**). Sin embargo, si es un **data.frame**, debe contener como mínimo una columna para **Gef** y otra para **Ta**
  - **module**: una lista de valores numéricos con la información sobre el módulo fotovoltaico:
    - **Vocn**: tensión de circuito abierto en STC ( $V_{oc}^*$ )(condiciones estandar de méddida). Por defecto, tiene un valor de 57,2V.
    - **Iscn**: corriente de cortocircuito en STC ( $I_{sc}^*$ ). Por defecto, tiene un valor de 4,7A.
    - **Vmn**: tensión en el punto de máxima potencia en STC ( $I_{MPP}^*$ ). Por defecto, tiene un valor de 46,08V.
    - **Imn**: corriente de cortocircuito en STC ( $I_{MPP}^*$ ). Por defecto, tiene un valor de 4,35A).
    - **Ncs**: número de células en serie dentro del módulo. Por defecto, tiene un valor de 96.
    - **Ncp**: número de células en paralelo dentro del módulo. Por defecto, tiene un valor de 1.

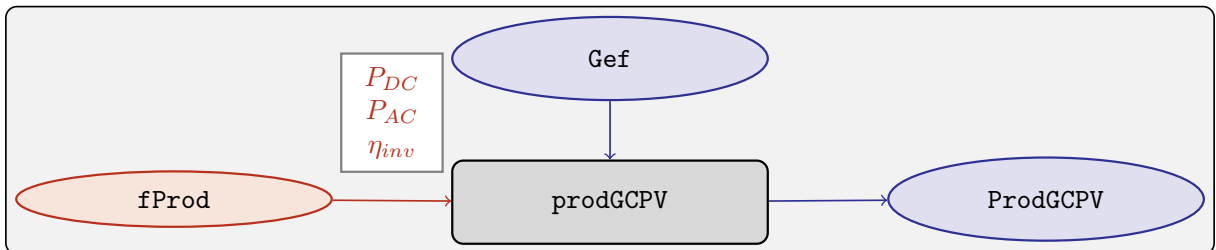


FIGURA 4.6: Estimación de la producción eléctrica de un SFCR mediante la función **prodGCPV**, la cual emplea la función **fProd** para el compute de la potencia a la entrada ( $P_{DC}$ ), a la salida ( $P_{AC}$ ) y el rendimiento ( $\eta_{inv}$ ) del inversor.

- **CoefVT**: coeficiente de disminución de la tensión de cada célula con la temperatura ( $dV_{oc}/dT_c$ ). Por defecto, tiene un valor de  $-0,0023V/^{\circ}C$ .
- **TONC**: temperatura de operación nominal de célula ( $TONC$ ). Por defecto, tiene un valor de  $47^{\circ}C$ .
- **generator**: lista de valores numéricos con la información sobre el generador:
  - **Nms**: número de módulos en serie. Por defecto, tiene un valor de 12.
  - **Nmp**: número de módulos en paralelo. Por defecto, tiene un valor de 11.
- **inverter**: lista de valores numéricos con la información del inversor DC/AC.
  - **Ki**: coeficientes de la curva de eficiencia del inversor. Se puede presentar en un vector de 3 valores (por defecto, **c(0.01, 0.025, 0.05)**) o una matriz de 9 valores (si tiene dependencia del voltage).
  - **Pinv**: potencia nominal del inversor. Por defecto, tiene un valor de  $25000W$ .
  - **Vmin**: mínima tensión del rango MPP del inversor. Por defecto, tiene un valor de  $420V$ .
  - **Vmax**: máxima tensión del rango MPP del inversor. Por defecto, tiene un valor de  $750V$ .
  - **Gumb**: irradiancia umbral de funcionamiento del inversor. Por defecto, tiene un valor de  $20W/m^2$ .
- **effSys**: una lista de valores numéricos con la información sobre las pérdidas del sistema.
  - **ModQual**: tolerancia media del set de módulos (%). Por defecto, tiene un valor de 3.
  - **ModDisp**: pérdidas por dispersión en los módulos (%). Por defecto, tiene un valor de 2.
  - **OhmDC**: pérdidas por efecto Joule en el cableado de DC (%). Por defecto, tiene un valor de 1.5.
  - **OhmAC**: pérdidas por efecto Joule en el cableado de AC (%). Por defecto, tiene un valor de 1.5.
  - **MPP**: error promedio del algoritmo de búsqueda del MPP del inversor (%). Por defecto, tiene un valor de 1.
  - **TrafoMT**: pérdidas por el transformador MT (%). Por defecto, tiene un valor de 1.
  - **Disp**: pérdidas por las paradas del sistema (%). Por defecto, tiene un valor de 0.5.

```
1 inclin <- calcGef(lat, dataRad = prom, keep.night = FALSE)
2 module <- list(Vocn=57.6, Iscn=4.7, Vmn=46.08, Imn=4.35,
3               Ncs=96, Ncp=1, CoefVT=0.0023, TONC=47)
4 generator <- list(Nms=12, Nmp=11)
5 inverter <- list(Ki=c(0.01, 0.025, 0.05), Pinv=25000,
6                 Vmin=420, Vmax=750, Gumb=20)
7 effSys <- list(ModQual=3, ModDisp=2, OhmDC=1.5, OhmAC=1.5,
8               MPP=1, TrafoMT=1, Disp=0.5)
9 prod <- fProd(inclin = inclin, module = module,
10              generator = generator, inverter = inverter,
11              effSys = effSys)
12 show(prod)
```

	Dates <POSc>	Tc <num>	Voc <num>	Isc <num>	Vmpp <num>	Impp <num>	Vdc <num>	Idc <num>	Pac <num>
1:	2024-01-17 08:00:00	15.27689	716.9624	8.083413	607.4640	7.620135	607.4640	7.620135	3796.209
2:	2024-01-17 09:00:00	21.43284	700.6516	17.513415	583.9663	16.433741	583.9663	16.433741	8053.912
3:	2024-01-17 10:00:00	27.23609	685.2753	26.403138	562.0190	24.658263	562.0190	24.658263	11650.920
4:	2024-01-17 11:00:00	31.48724	674.0114	32.915263	546.0746	30.625265	546.0746	30.625265	14041.629
5:	2024-01-17 12:00:00	33.33104	669.1261	35.739693	539.1958	33.196772	539.1958	33.196772	15016.481
---									
141:	2024-12-13 12:00:00	33.94967	667.4869	28.721724	542.4718	26.706186	542.4718	26.706186	12177.570
142:	2024-12-13 13:00:00	32.55186	671.1906	26.580476	547.6944	24.746716	547.6944	24.746716	11395.331
143:	2024-12-13 14:00:00	29.08872	680.3665	21.275466	560.6878	19.868077	560.6878	19.868077	9362.088
144:	2024-12-13 15:00:00	24.29331	693.0724	13.929608	578.8034	13.059814	578.8034	13.059814	6316.091
145:	2024-12-13 16:00:00	19.21305	706.5331	6.147403	598.1441	5.786102	598.1441	5.786102	2784.663
---									
	Pdc <num>	EffI <num>							
1:	4290.940	0.9118076							
2:	8895.974	0.9330800							
3:	12846.437	0.9347232							
4:	15502.477	0.9335163							
5:	16592.492	0.9327431							
---									
141:	13429.451	0.9345615							
142:	12563.918	0.9347755							
143:	10326.335	0.9343983							
144:	7007.083	0.9290019							
145:	3208.198	0.8945754							

Esta función brinda estos datos a la función **prodGCPV** para que produzca un objeto de clase **ProdGCPV** como resultado. Esta función tiene como argumentos principales los mismo que **calcGef**, ya que parte de un objeto tipo **Gef**, y los argumentos de la función **fProd**.

```
1 prodFixed <- prodGCPV(lat, modeTrk = 'fixed', dataRad = prom)
2 show(prodFixed)
```

```
Avisos:
1: In iv(vocn, iscn, vmn, imn, module$TONC, module$CoefVT, Ta, Gef, :
  Minimum MPP voltage of the inverter has been reached
2: In iv(vocn, iscn, vmn, imn, module$TONC, module$CoefVT, Ta, Gef, :
  Maximum MPP voltage of the inverter has been reached
Object of class  ProdGCPV
```

```
Source of meteorological information: prom-
```

```
Latitude of source: 37.2 degrees
Latitude for calculations: 37.2 degrees
```

```
Monthly avarages:
```

	Dates <char>	Eac <num>	Edc <num>	Yf <num>
1:	Jan. 2024	1279.0575	8847.1280	0.7843363
2:	Feb. 2024	1336.2237	9534.3988	0.8193914
3:	Mar. 2024	1501.8962	10787.4853	0.9209841
4:	Apr. 2024	1617.2294	12291.1666	0.9917081
5:	May. 2024	1670.0349	13000.3672	1.0240892
6:	Jun. 2024	1736.8935	12967.6713	1.0650879
7:	Jul. 2024	1252.6160	7003.9010	0.7681220
8:	Aug. 2024	337.0509	803.7692	0.2066844
9:	Sep. 2024	1422.1577	9693.6980	0.8720874
10:	Oct. 2024	1308.7969	9163.0111	0.8025729
11:	Nov. 2024	1265.5096	8657.4023	0.7760285
12:	Dec. 2024	1036.5903	6634.0963	0.6356519

```
Yearly values:
```

	Dates <int>	Eac <num>	Edc <num>	Yf <num>
--	----------------	--------------	--------------	-------------

```
1: 2024 479971.5 3328228 294.3254
```

```
-----
Mode of tracking: fixed
Inclination: 27.2
Orientation: 0
-----
```

```
Generator:
Modules in series: 22
Modules in parallel: 130
Nominal power (kWp): 1630.8
```

```
1 prod2x <- prodGCPV(lat, modeTrk = 'two', dataRad = prom)
2 show(prod2x)
```

Avisos:

```
1: In iv(vocn, iscn, vmn, imn, module$TONC, module$CoefVT, Ta, Gef, :
Minimum MPP voltage of the inverter has been reached
2: In iv(vocn, iscn, vmn, imn, module$TONC, module$CoefVT, Ta, Gef, :
Maximum MPP voltage of the inverter has been reached
Object of class ProdGCPV
```

Source of meteorological information: prom-

Latitude of source: 37.2 degrees  
Latitude for calculations: 37.2 degrees

Monthly avarages:

	Dates	Eac	Edc	Yf
	<char>	<num>	<num>	<num>
1: Jan. 2024	1829.1421	13993.996	1.1216560	
2: Feb. 2024	1960.5763	14724.330	1.2022533	
3: Mar. 2024	2107.0772	15660.016	1.2920897	
4: Apr. 2024	2427.6546	18908.076	1.4886724	
5: May. 2024	2706.0114	21661.810	1.6593647	
6: Jun. 2024	2862.9464	22598.516	1.7555995	
7: Jul. 2024	1899.9978	11153.533	1.1651057	
8: Aug. 2024	495.2908	1191.801	0.3037194	
9: Sep. 2024	2028.5846	14444.922	1.2439570	
10: Oct. 2024	1887.0955	13723.573	1.1571938	
11: Nov. 2024	1786.6758	13393.040	1.0956151	
12: Dec. 2024	1480.9283	10327.859	0.9081263	

Yearly values:

	Dates	Eac	Edc	Yf
	<int>	<num>	<num>	<num>
1: 2024	714604.4	5226432	438.2056	

```
-----
Mode of tracking: two
Inclination limit: 90
-----
```

```
Generator:
Modules in series: 22
Modules in parallel: 130
Nominal power (kWp): 1630.8
```

```
1 prodHoriz <- prodGCPV(lat, modeTrk = 'horiz', dataRad = prom)
2 show(prodHoriz)
```

Avisos:

```
1: In iv(vocn, iscn, vmn, imn, module$TONC, module$CoefVT, Ta, Gef, :
Minimum MPP voltage of the inverter has been reached
2: In iv(vocn, iscn, vmn, imn, module$TONC, module$CoefVT, Ta, Gef, :
Maximum MPP voltage of the inverter has been reached
```

```

Object of class ProdGCPV

Source of meteorological information: prom-

Latitude of source: 37.2 degrees
Latitude for calculations: 37.2 degrees

Monthly avarages:
      Dates      Eac      Edc      Yf
      <char>    <num>    <num>    <num>
1: Jan. 2024 1486.0581  9421.710 0.9112720
2: Feb. 2024 1718.2118 11403.484 1.0536319
3: Mar. 2024 1978.3998 13821.135 1.2131830
4: Apr. 2024 2367.7852 17987.013 1.4519596
5: May. 2024 2670.3265 21145.726 1.6374823
6: Jun. 2024 2822.0712 22058.200 1.7305343
7: Jul. 2024 1888.3205 11035.200 1.1579450
8: Aug. 2024 493.7619  1186.029 0.3027818
9: Sep. 2024 1934.8317 13172.970 1.1864663
10: Oct. 2024 1689.4313 11072.369 1.0359833
11: Nov. 2024 1473.9336  9283.631 0.9038371
12: Dec. 2024 1172.8019  6667.352 0.7191788

Yearly values:
      Dates      Eac      Edc      Yf
      <int>    <num>    <num>    <num>
1: 2024 660538.9 4510591 405.0519
-----
Mode of tracking: horiz
Inclination limit: 90
-----
Generator:
  Modules in series: 22
  Modules in parallel: 130
  Nominal power (kWp): 1630.8

```

## 4.6. Producción eléctrica de un SFB

De igual forma que en el apartado anterior, se puede estimar la producción eléctrica de un sistema fotovoltaico de bombeo.

Como se puede ver en la figura 4.7, **prodPVPS** funciona gracias a la siguiente función:

- **fPump**: calcula el rendimiento de las diferentes partes de una bomba centrífuga alimentada por un convertidor de frecuencia siguiendo las leyes de afinidad. Tiene solo dos argumentos:

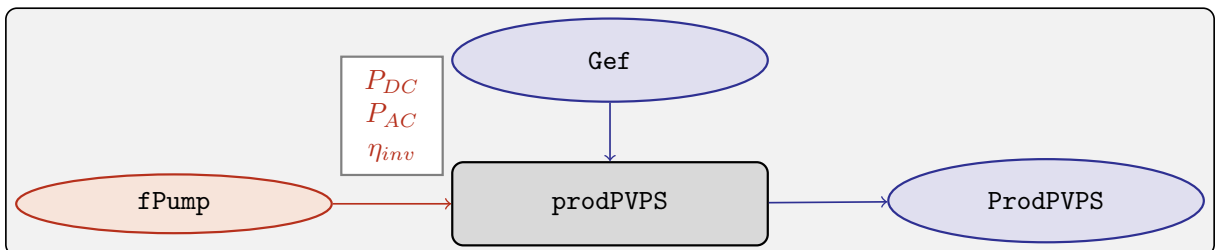


FIGURA 4.7: Estimación de la producción eléctrica de un SFB mediante la función **prodPVPS**, la cual emplea la función **fPump** para el computo del rendimiento de las diferentes parte de una bomba centrífuga alimentada por un convertidor de frecuencia.

- **pump**: lista que contiene los parametros de la bomba que va a ser simulada. Puede ser una fila de **pumpCoef**:

```
1 CoefSP8A44 <- pumpCoef[Qn == 8 & stages == 44]
2 show(CoefSP8A44)
```

	Qn	stages	Qmax	Pmn	a	b	c	g	h	i	j	k	l
	<int>	<int>	<num>	<int>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1:	8	44	12	7500	0.1043011	-0.101288	-0.726	-0.24	0.42	0.64	-0.0058	0.095	0.2013

- **H**: el salto manometrico total.

```
1 fSP8A44 <- fPump(pump = CoefSP8A44, H = 40)
```

Obtiene como resultado los siguientes valores y funciones:

- **lim**: rango de valores de la potencia eléctrica de salida.

```
1 show(fSP8A44$lim)
```

```
[1] 190.100 4084.218
```

- **fQ**: función que relaciona el caudal con la potencia eléctrica.

```
1 show(fSP8A44$fQ)
```

```
function (x, deriv = 0L)
{
  deriv <- as.integer(deriv)
  if (deriv < 0L || deriv > 3L)
    stop("'deriv' must be between 0 and 3")
  if (deriv > 0L) {
    z0 <- double(z$n)
    z[c("y", "b", "c")] <- switch(deriv, list(y = z$b, b = 2 *
      z$c, c = 3 * z$d), list(y = 2 * z$c, b = 6 * z$d,
      c = z0), list(y = 6 * z$d, b = z0, c = z0))
    z[["d"]] <- z0
  }
  res <- .splinefun(x, z)
  if (deriv > 0 && z$method == 2 && any(ind <- x <= z$x[1L]))
    res[ind] <- ifelse(deriv == 1, z$y[1L], 0)
  res
}
<bytecode: 0x000001be3f886da0>
<environment: 0x000001be43072178>
```

- **fPb**: función que relaciona la potencia del eje de la bomba con la potencia eléctrica del motor.

```
1 show(fSP8A44$fPb)
```

```
function (x, deriv = 0L)
{
  deriv <- as.integer(deriv)
  if (deriv < 0L || deriv > 3L)
    stop("'deriv' must be between 0 and 3")
  if (deriv > 0L) {
    z0 <- double(z$n)
    z[c("y", "b", "c")] <- switch(deriv, list(y = z$b, b = 2 *
      z$c, c = 3 * z$d), list(y = 2 * z$c, b = 6 * z$d,
      c = z0), list(y = 6 * z$d, b = z0, c = z0))
    z[["d"]] <- z0
  }
}
```



```

    res <- .splinefun(x, z)
    if (deriv > 0 && z$method == 2 && any(ind <- x <= z$x[1L]))
      res[ind] <- ifelse(deriv == 1, z$y[1L], 0)
    res
  }
<bytecode: 0x000001be3f886da0>
<environment: 0x000001be452a3878>

```

- **fPh**: función que relaciona la potencia hidráulica con la potencia eléctrica del motor.

```
1 show(fSP8A44$fPh)
```

```

function (x, deriv = 0L)
{
  deriv <- as.integer(deriv)
  if (deriv < 0L || deriv > 3L)
    stop("'deriv' must be between 0 and 3")
  if (deriv > 0L) {
    z0 <- double(z$n)
    z[c("y", "b", "c")] <- switch(deriv, list(y = z$b, b = 2 *
      z$c, c = 3 * z$d), list(y = 2 * z$c, b = 6 * z$d,
      c = z0), list(y = 6 * z$d, b = z0, c = z0))
    z[["d"]] <- z0
  }
  res <- .splinefun(x, z)
  if (deriv > 0 && z$method == 2 && any(ind <- x <= z$x[1L]))
    res[ind] <- ifelse(deriv == 1, z$y[1L], 0)
  res
}
<bytecode: 0x000001be3f886da0>
<environment: 0x000001be46f30c70>

```

- **fFreq**: función que relaciona la frecuencia con la potencia eléctrica del motor.

```
1 show(fSP8A44$fFreq)
```

```

function (x, deriv = 0L)
{
  deriv <- as.integer(deriv)
  if (deriv < 0L || deriv > 3L)
    stop("'deriv' must be between 0 and 3")
  if (deriv > 0L) {
    z0 <- double(z$n)
    z[c("y", "b", "c")] <- switch(deriv, list(y = z$b, b = 2 *
      z$c, c = 3 * z$d), list(y = 2 * z$c, b = 6 * z$d,
      c = z0), list(y = 6 * z$d, b = z0, c = z0))
    z[["d"]] <- z0
  }
  res <- .splinefun(x, z)
  if (deriv > 0 && z$method == 2 && any(ind <- x <= z$x[1L]))
    res[ind] <- ifelse(deriv == 1, z$y[1L], 0)
  res
}
<bytecode: 0x000001be3f886da0>
<environment: 0x000001be44d16538>

```

Se pueden realizar operaciones con este objeto:

```

1 SP8A44 = with(fSP8A44,{
2   Pac = seq(lim[1],lim[2],l=10)
3   Pb = fPb(Pac)
4   etam = Pb/Pac
5   Ph = fPh(Pac)
6   etab = Ph/Pb
7   f = fFreq(Pac)
8   Q = fQ(Pac)

```

```

9   result = data.table(Q,Pac,Pb,Ph,etam,etab,f)})
10  show(SP8A44)

```

	Q <num>	Pac <num>	Pb <num>	Ph <num>	etam <num>	etab <num>	f <num>
1:	0.3133325	190.1000	124.8346	34.15325	0.6566786	0.2735880	20.47033
2:	2.0718468	622.7798	429.6728	225.83130	0.6899274	0.5255890	22.33036
3:	4.0764128	1055.4595	752.8970	444.32900	0.7133358	0.5901591	25.51459
4:	5.6406747	1488.1393	1087.3665	614.83354	0.7306887	0.5654336	28.73213
5:	6.9474993	1920.8190	1429.7984	757.27743	0.7443692	0.5296393	31.78514
6:	8.1028841	2353.4988	1778.0156	883.21437	0.7554776	0.4967416	34.69527
7:	9.1607296	2786.1786	2130.4683	998.51953	0.7646560	0.4686855	37.49608
8:	10.1514390	3218.8583	2486.0213	1106.50685	0.7723301	0.4450915	40.21428
9:	11.0937480	3651.5381	2843.8295	1209.21854	0.7788032	0.4252078	42.86977
10:	12.0000000	4084.2179	3203.2578	1308.00000	0.7843014	0.4083343	45.47737

Esta función entrega todos estos resultados a **prodPVPS** la cual calcula los resultados en base a la potencia del generador a simular, y devuelve un objeto de clase **ProdPVPS**.

```

1  prodsfb <- prodPVPS(lat, modeTrk = 'fixed', dataRad = prom,
2                        pump = CoefSP8A44, H = 40, Pg = SP8A44$Pac[10])
3  show(prodsfb)

```

```

Object of class  ProdPVPS

Source of meteorological information: prom-

Latitude of source:  37.2 degrees
Latitude for calculations:  37.2 degrees

Monthly avarages:
      Dates      Eac      Qd      Yf
      <char>    <num>    <num>    <num>
1: Jan. 2024  14.07129  50.46621  3.445284
2: Feb. 2024  15.43701  54.71213  3.779675
3: Mar. 2024  17.00102  59.68995  4.162613
4: Apr. 2024  19.39135  67.24260  4.747874
5: May. 2024  20.65046  71.34195  5.056160
6: Jun. 2024  21.63947  74.27359  5.298315
7: Jul. 2024  22.62915  76.77927  5.540633
8: Aug. 2024  22.17136  75.07166  5.428546
9: Sep. 2024  19.61622  67.34348  4.802932
10: Oct. 2024  14.92078  53.24853  3.653277
11: Nov. 2024  13.75298  49.50040  3.367348
12: Dec. 2024  11.21349  40.90244  2.745567

Yearly values:
      Dates      Eac      Qd      Yf
      <int>    <num>    <num>    <num>
1: 2024  6482.059  22589.95  1587.099
-----

Mode of tracking:  fixed
  Inclination:    27.2
  Orientation:    0
-----

Pump:
  Qn: 8
  Stages: 44
Height (m): 40
Generator (Wp): 4084.218

```

## 4.7. Optimización de distancias

Por último, el paquete **solar2** contiene una función que permite calcular un conjunto de combinaciones de distancias entre los elementos de un sistema fotovoltaico conectado a red, con el fin de que el usuario posteriormente pueda optar cual es la opción mas rentable en base a los precios del cableado y de la ocupación del terreno.

Esta función es **optimShd**, la cual en base a una resolución (determinada por el argumento **res**, el cual, indica el incremento de la secuencia de distancias) obtiene la producción de cada combinación y la plasma en un objeto de clase **Shade**.

```

1 struct2x <- list(W = 23.11, L = 9.8, Nrow = 2, Ncol = 3)
2 dist2x <- list(Lew = c(30, 45), Lns = c(20, 40))
3 ShdM2x <- optimShd(lat, dataRad = prom, modeTrk = 'two',
4                   modeShd = c('area', 'prom'),
5                   distances = dist2x, struct = struct2x,
6                   res = 5,
7                   prog = FALSE) #Se quita la barra de progreso
8 show(ShdM2x)

```

```

Hubo 42 avisos (use warnings() para verlos)
Object of class  Shade

```

```
Source of meteorological information: prom-
```

```
Latitude of source: 37.2 degrees
Latitude for calculations: 37.2 degrees
```

```
Monthly avarages:
Dimensions of structure:
$W
[1] 23.11
```

```
$L
[1] 9.8
```

```
$Nrow
[1] 2
```

```
$Ncol
[1] 3
```

```
Shade calculation mode:
[1] "area" "prom"
Productivity without shadows:
Object of class  ProdGCPV

```

```
Source of meteorological information: prom-
```

```
Latitude of source: 37.2 degrees
Latitude for calculations: 37.2 degrees
```

```
Monthly avarages:
      Dates      Eac      Edc      Yf
   <char>   <num>   <num>   <num>
1: Jan. 2024 1829.1421 13993.996 1.1216560
2: Feb. 2024 1960.5763 14724.330 1.2022533
3: Mar. 2024 2107.0772 15660.016 1.2920897
4: Apr. 2024 2427.6546 18908.076 1.4886724
5: May. 2024 2706.0114 21661.810 1.6593647
6: Jun. 2024 2862.9464 22598.516 1.7555995
7: Jul. 2024 1899.9978 11153.533 1.1651057
8: Aug. 2024 495.2908 1191.801 0.3037194
9: Sep. 2024 2028.5846 14444.922 1.2439570
10: Oct. 2024 1887.0955 13723.573 1.1571938
11: Nov. 2024 1786.6758 13393.040 1.0956151

```

```
12: Dec. 2024 1480.9283 10327.859 0.9081263
```

```
Yearly values:
```

```
  Dates      Eac      Edc      Yf
  <int>    <num>    <num>    <num>
1:  2024 714604.4 5226432 438.2056
```

```
-----
```

```
Mode of tracking: two
Inclination limit: 90
```

```
-----
```

```
Generator:
```

```
  Modules in series: 22
  Modules in parallel: 130
  Nominal power (kWp): 1630.8
```

```
Summary of results:
```

Lew		Lns		H		FS		GRR		Yf	
Min.	:30.00	Min.	:20	Min.	:0	Min.	:0.01803	Min.	:2.649	Min.	:403.6
1st Qu.	:33.75	1st Qu.	:25	1st Qu.	:0	1st Qu.	:0.02941	1st Qu.	:3.946	1st Qu.	:417.5
Median	:37.50	Median	:30	Median	:0	Median	:0.03592	Median	:4.802	Median	:422.5
Mean	:37.50	Mean	:30	Mean	:0	Mean	:0.04016	Mean	:4.967	Mean	:420.6
3rd Qu.	:41.25	3rd Qu.	:35	3rd Qu.	:0	3rd Qu.	:0.04734	3rd Qu.	:6.016	3rd Qu.	:425.3
Max.	:45.00	Max.	:40	Max.	:0	Max.	:0.07901	Max.	:7.948	Max.	:430.3

```
1 structHoriz = list(L = 4.83)
2 distHoriz = list(Lew = structHoriz$L * c(2,5))
3 Shd12HorizBT <- optimShd(lat = lat, dataRad = prom,
4                           modeTrk = 'horiz',
5                           betaLim = 60,
6                           distances = distHoriz, res = 2,
7                           struct = structHoriz,
8                           modeShd = 'bt',
9                           prog = FALSE) #Se quita la barra de progreso
10 show(Shd12HorizBT)
```

```
Hubo 18 avisos (use warnings() para verlos)
Object of class  Shade
```

```
Source of meteorological information: prom-
```

```
Latitude of source: 37.2 degrees
Latitude for calculations: 37.2 degrees
```

```
Monthly avarages:
```

```
Dimensions of structure:
```

```
$L
[1] 4.83
```

```
Shade calculation mode:
```

```
[1] "bt"
```

```
Productivity without shadows:
```

```
Object of class  ProdGCPV
```

```
Source of meteorological information: prom-
```

```
Latitude of source: 37.2 degrees
Latitude for calculations: 37.2 degrees
```

```
Monthly avarages:
```

	Dates	Eac	Edc	Yf
	<char>	<num>	<num>	<num>
1:	Jan. 2024	1467.0951	9227.242	0.8996436
2:	Feb. 2024	1698.8599	11206.579	1.0417651
3:	Mar. 2024	1960.8211	13645.419	1.2024034
4:	Apr. 2024	2350.9136	17798.028	1.4416137
5:	May. 2024	2650.0309	20916.387	1.6250367

```

6: Jun. 2024 2797.2342 21773.741 1.7153039
7: Jul. 2024 1877.7800 10935.231 1.1514815
8: Aug. 2024 492.8438 1182.679 0.3022188
9: Sep. 2024 1919.4779 13011.737 1.1770512
10: Oct. 2024 1674.5720 10926.355 1.0268714
11: Nov. 2024 1457.8275 9120.134 0.8939606
12: Dec. 2024 1164.1709 6587.071 0.7138862

```

Yearly values:

```

      Dates      Eac      Edc      Yf
    <int>    <num>    <num>    <num>
1: 2024 654937.3 4452132 401.6169
-----

```

Mode of tracking: horiz  
Inclination limit: 60  
-----

Generator:

```

  Modules in series: 22
  Modules in parallel: 130
  Nominal power (kWp): 1630.8

```

Summary of results:

Lew	H	FS	GRR	Yf
Min. : 9.66	Min. :0	Min. :0.07667	Min. :2.000	Min. :332.0
1st Qu.:13.16	1st Qu.:0	1st Qu.:0.08522	1st Qu.:2.725	1st Qu.:349.5
Median :16.66	Median :0	Median :0.11015	Median :3.449	Median :357.4
Mean :16.66	Mean :0	Mean :0.11304	Mean :3.449	Mean :356.2
3rd Qu.:20.16	3rd Qu.:0	3rd Qu.:0.12973	3rd Qu.:4.174	3rd Qu.:367.4
Max. :23.66	Max. :0	Max. :0.17333	Max. :4.899	Max. :370.8

```

1 structFixed = list(L = 5)
2 distFixed = list(D = structFixed$L*c(1,3))
3 Shd12Fixed <- optimShd(lat = lat, dataRad = prom,
4                       modeTrk = 'fixed',
5                       distances = distFixed, res = 2,
6                       struct = structFixed,
7                       modeShd = 'area',
8                       prog = FALSE) #Se quita la barra de progreso
9 show(Shd12Fixed)

```

Hubo 14 avisos (use warnings() para verlos)  
Object of class Shade

Source of meteorological information: prom-

Latitude of source: 37.2 degrees  
Latitude for calculations: 37.2 degrees

Monthly avarages:  
Dimensions of structure:  
\$L  
[1] 5

Shade calculation mode:  
[1] "area"  
Productivity without shadows:  
Object of class ProdGCPV

Source of meteorological information: prom-

Latitude of source: 37.2 degrees  
Latitude for calculations: 37.2 degrees

Monthly avarages:

Dates	Eac	Edc	Yf
<char>	<num>	<num>	<num>

```
1: Jan. 2024 1279.0575 8847.1280 0.7843363
2: Feb. 2024 1336.2237 9534.3988 0.8193914
3: Mar. 2024 1501.8962 10787.4853 0.9209841
4: Apr. 2024 1617.2294 12291.1666 0.9917081
5: May. 2024 1670.0349 13000.3672 1.0240892
6: Jun. 2024 1736.8935 12967.6713 1.0650879
7: Jul. 2024 1252.6160 7003.9010 0.7681220
8: Aug. 2024 337.0509 803.7692 0.2066844
9: Sep. 2024 1422.1577 9693.6980 0.8720874
10: Oct. 2024 1308.7969 9163.0111 0.8025729
11: Nov. 2024 1265.5096 8657.4023 0.7760285
12: Dec. 2024 1036.5903 6634.0963 0.6356519
```

```
Yearly values:
  Dates      Eac      Edc      Yf
<int>    <num>    <num>    <num>
1: 2024 479971.5 3328228 294.3254
```

```
-----
Mode of tracking: fixed
Inclination: 27.2
Orientation: 0
-----
```

```
Generator:
  Modules in series: 22
  Modules in parallel: 130
  Nominal power (kWp): 1630.8
```

```
Summary of results:
      D      H      FS      GRR      Yf
Min.   : 5.0   Min.   :0   Min.   :0.000e+00   Min.   :1.0   Min.   :262.2
1st Qu.: 7.5   1st Qu.:0   1st Qu.:3.188e-05   1st Qu.:1.5   1st Qu.:286.3
Median :10.0   Median :0   Median :4.113e-03   Median :2.0   Median :293.1
Mean   :10.0   Mean   :0   Mean   :2.514e-02   Mean   :2.0   Mean   :286.9
3rd Qu.:12.5   3rd Qu.:0   3rd Qu.:2.711e-02   3rd Qu.:2.5   3rd Qu.:294.3
Max.   :15.0   Max.   :0   Max.   :1.092e-01   Max.   :3.0   Max.   :294.3
```

4.8. Métodos de visualización

Una vez creados todos los objetos, para mejorar la visualización de los mismos, `solar2` cuenta con una serie de métodos que ayudan a la comprensión de los datos obtenidos.

4.8.1. Datos meteorológicos

La clase `Meteo` cuenta con un método para `xyplot`.

```
1 lat <- 37.2
2 G0dm = c(2.766,3.491,4.494,5.912,6.989,7.742,
3         7.919,7.027,5.369,3.562,2.814,2.179) * 1000;
4 Ta = c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2,
5        28.4, 29.9, 24.3, 18.2, 17.2, 15.2)
6 BD <- readG0dm(G0dm = G0dm, Ta = Ta, lat = lat)
7 show(BD)
```

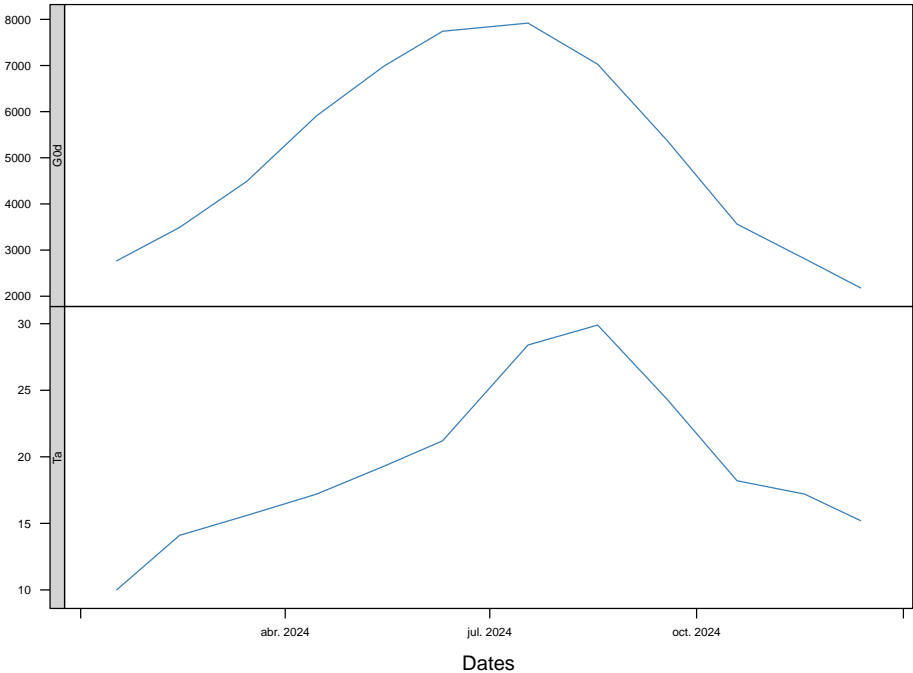
```
Object of class Meteo

Source of meteorological information: prom-
Latitude of source: 37.2 degrees

Meteorological Data:
  Dates      G0d      Ta
Min.   :2024-01-17   Min.   :2179   Min.   :10.00
1st Qu.:2024-04-07   1st Qu.:3322   1st Qu.:15.50
Median :2024-06-29   Median :4932   Median :17.70
```

Mean	:2024-07-01	Mean	:5022	Mean	:19.22
3rd Qu.	:2024-09-25	3rd Qu.	:6998	3rd Qu.	:21.98
Max.	:2024-12-13	Max.	:7919	Max.	:29.90

```
1 xyplot(BD)
```



4.8.2. Radiación en el plano horizontal

La clase **G0** cuenta con un método para **xyplot**.

```
1 g0 <- calcG0(lat, dataRad = BD)
2 show(g0)
```

```
Object of class  G0

Source of meteorological information: prom-

Latitude of source:  37.2 degrees
Latitude for calculations:  37.2 degrees

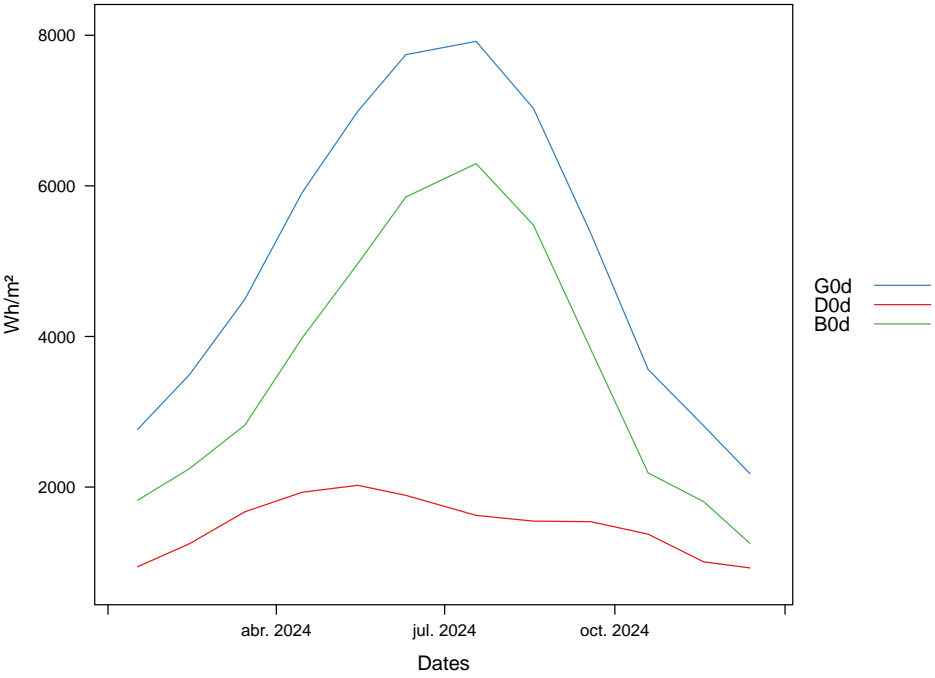
Monthly avarages:
      Dates  G0d      D0d      B0d
    <char> <num>    <num>    <num>
1: Jan. 2024 2.766 0.941698 1.824302
2: Feb. 2024 3.491 1.247146 2.243854
3: Mar. 2024 4.494 1.671763 2.822237
4: Apr. 2024 5.912 1.931146 3.980854
5: May. 2024 6.989 2.023364 4.965636
6: Jun. 2024 7.742 1.889994 5.852006
7: Jul. 2024 7.919 1.624064 6.294936
8: Aug. 2024 7.027 1.547591 5.479409
9: Sep. 2024 5.369 1.540708 3.828292
10: Oct. 2024 3.562 1.374513 2.187487
11: Nov. 2024 2.814 1.006959 1.807041
```

4. DESARROLLO DEL CÓDIGO

```
12: Dec. 2024 2.179 0.926737 1.252263

Yearly values:
  Dates      G0d      D0d      B0d
  <int>    <num>    <num>    <num>
1: 2024 1839.365 540.6331 1298.732
```

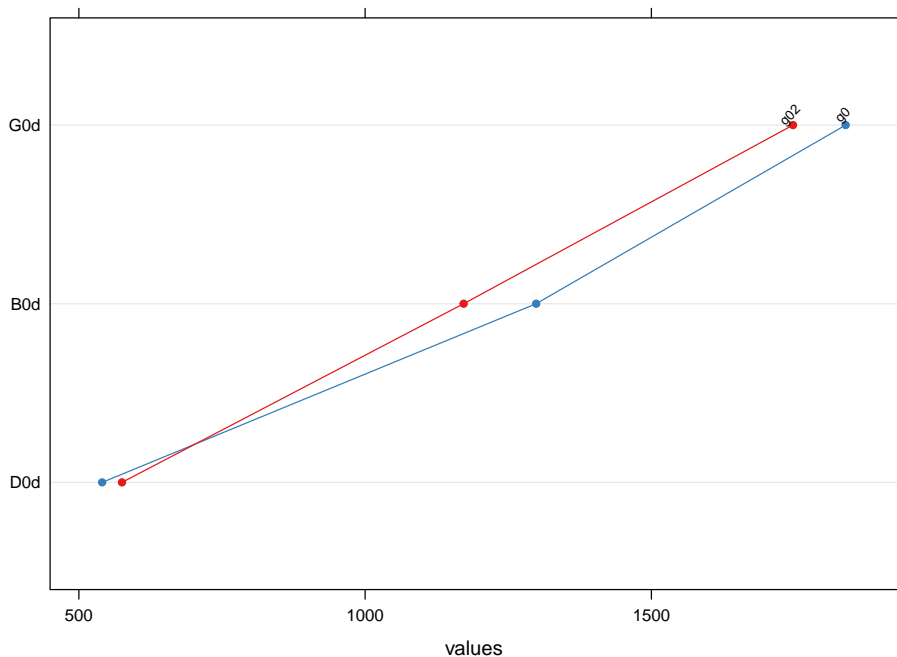
```
1 xyplot(g0)
```



Y con un método para **compare**.

```
1 g02 <- calcG0(lat, dataRad = list(G0dm = G0dm*0.95, Ta = Ta))
2 compare(g0, g02)
```





4.8.3. Radiación efectiva en el plano del generador

La clase **Gef** cuenta con un método para **xypplot**.

```
1 gef <- calcGef(lat, dataRad = BD)
2 show(gef)
```

```
Object of class Gef

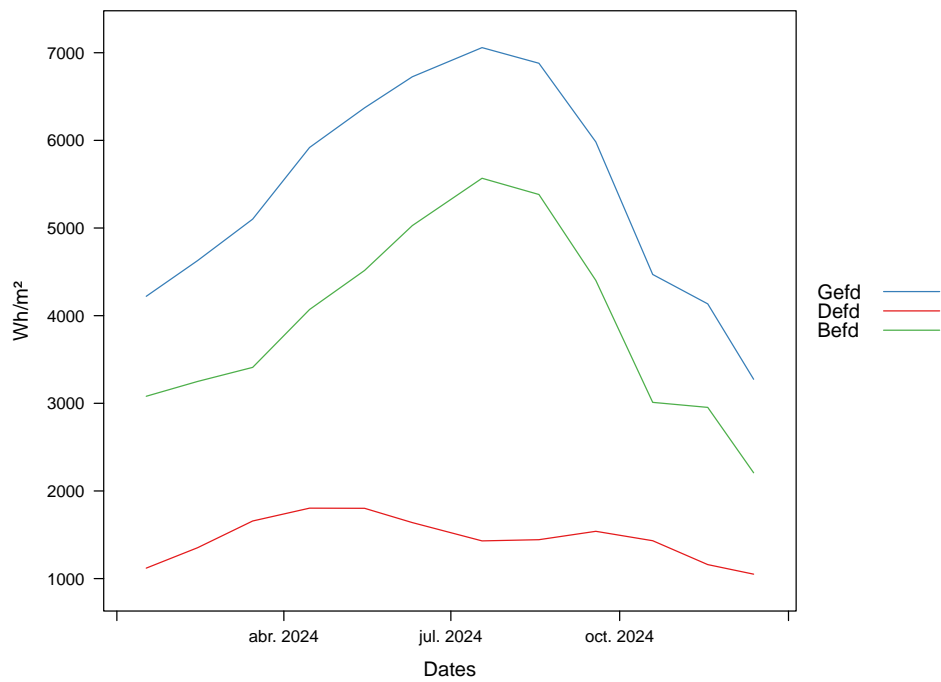
Source of meteorological information: prom-

Latitude of source: 37.2 degrees
Latitude for calculations: 37.2 degrees

Monthly avarages:
  Dates      Bod      Bnd      Gd      Dd      Bd      Gefd      Defd      Befd
  <char>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>
1: Jan. 2024 8.724907 4.924221 4.489744 1.200992 3.258164 4.220907 1.119517 3.080392
2: Feb. 2024 9.592013 5.034287 4.919206 1.451954 3.428647 4.628492 1.352529 3.249460
3: Mar. 2024 10.281308 5.163713 5.413543 1.779951 3.583896 5.101556 1.657369 3.410070
4: Apr. 2024 10.527227 6.408617 6.282631 1.936897 4.280357 5.918787 1.803811 4.070094
5: May. 2024 10.431853 7.617499 6.784202 1.937331 4.769584 6.371295 1.802060 4.516177
6: Jun. 2024 10.291163 9.102430 7.173475 1.762326 5.325535 6.725684 1.639192 5.027718
7: Jul. 2024 10.305302 10.037233 7.511733 1.533887 5.890275 7.058263 1.430322 5.567823
8: Aug. 2024 10.394682 8.640959 7.295543 1.545089 5.672747 6.879777 1.443952 5.382478
9: Sep. 2024 10.233884 6.698488 6.335591 1.647975 4.628244 5.982520 1.539552 4.402209
10: Oct. 2024 9.659077 4.546024 4.746760 1.538325 3.169044 4.470026 1.432213 3.010771
11: Nov. 2024 8.798687 4.638289 4.393712 1.244217 3.118376 4.134590 1.159756 2.953471
12: Dec. 2024 8.176298 3.439788 3.478125 1.128381 2.325648 3.274677 1.050626 2.207509

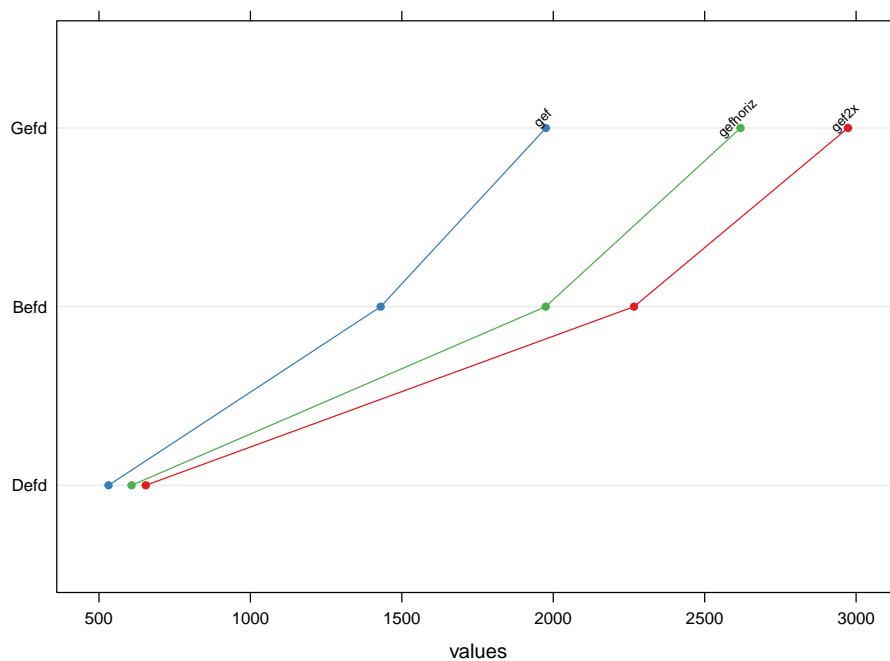
Yearly values:
  Dates      Bod      Bnd      Gd      Dd      Bd      Gefd      Defd      Befd
  <int>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>
1: 2024 3580.873 2326.882 2099.528 570.4317 1508.756 1975.745 531.5105 1430.271
-----
Mode of tracking: fixed
Inclination: 27.2
Orientation: 0
```

```
1 xyplot(gef)
```



Y con un método para **compare**.

```
1 gef2x <- calcGef(lat, modeTrk = 'two', dataRad = BD)
2 gefhoriz <- calcGef(lat, modeTrk = 'horiz', dataRad = BD)
3 compare(gef, gef2x, gefhoriz)
```



#### 4.8.4. Producción eléctrica de un SFCR

La clase **ProdGCPV** cuenta con un método para **xyplot**.

```
1 prodFixed <- prodGCPV(lat, modeTrk = 'fixed', dataRad = BD)
2 show(prodFixed)
```

```
Avisos:
1: In iv(vocn, iscn, vmn, imn, module$TONC, module$CoefVT, Ta, Gef, :
  Minimum MPP voltage of the inverter has been reached
2: In iv(vocn, iscn, vmn, imn, module$TONC, module$CoefVT, Ta, Gef, :
  Maximum MPP voltage of the inverter has been reached
Object of class  ProdGCPV
```

```
Source of meteorological information: prom-
```

```
Latitude of source: 37.2 degrees
```

```
Latitude for calculations: 37.2 degrees
```

```
Monthly avarages:
```

	Dates	Eac	Edc	Yf
	<char>	<num>	<num>	<num>
1: Jan. 2024	1279.0575	8847.1280	0.7843363	
2: Feb. 2024	1336.2237	9534.3988	0.8193914	
3: Mar. 2024	1501.8962	10787.4853	0.9209841	
4: Apr. 2024	1617.2294	12291.1666	0.9917081	
5: May. 2024	1670.0349	13000.3672	1.0240892	
6: Jun. 2024	1736.8935	12967.6713	1.0650879	
7: Jul. 2024	1252.6160	7003.9010	0.7681220	
8: Aug. 2024	337.0509	803.7692	0.2066844	
9: Sep. 2024	1422.1577	9693.6980	0.8720874	
10: Oct. 2024	1308.7969	9163.0111	0.8025729	
11: Nov. 2024	1265.5096	8657.4023	0.7760285	
12: Dec. 2024	1036.5903	6634.0963	0.6356519	

```
Yearly values:
```

	Dates	Eac	Edc	Yf
	<int>	<num>	<num>	<num>
1: 2024	479971.5	3328228	294.3254	

```
Mode of tracking: fixed
```

```
Inclination: 27.2
```

```
Orientation: 0
```

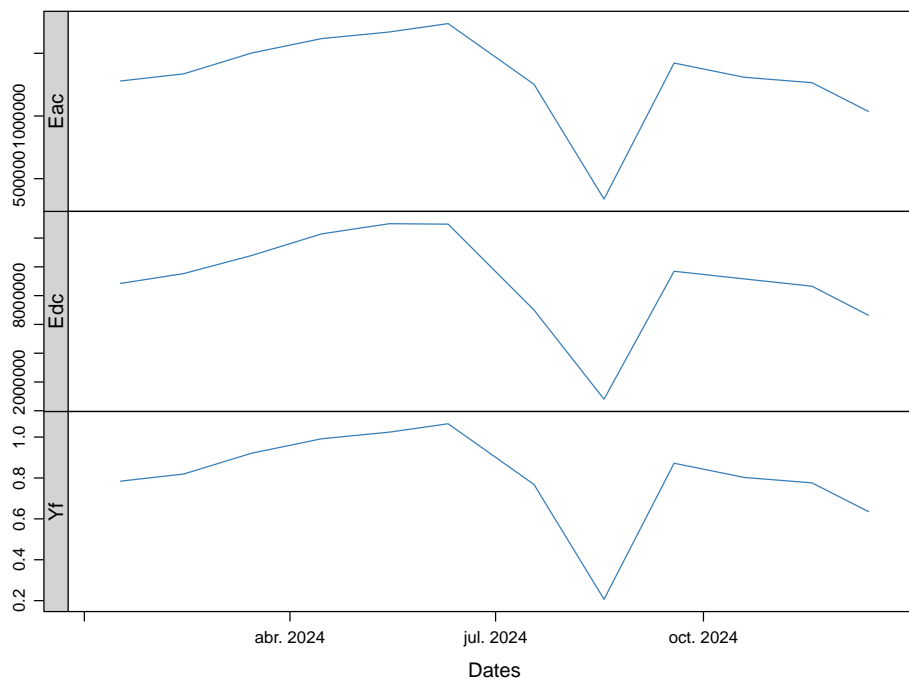
```
Generator:
```

```
Modules in series: 22
```

```
Modules in parallel: 130
```

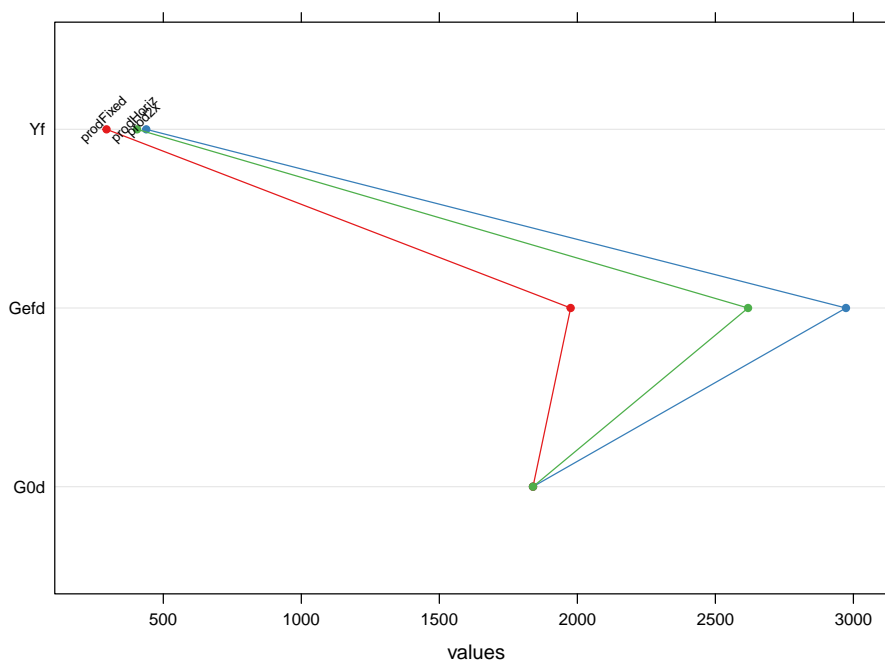
```
Nominal power (kWp): 1630.8
```

```
1 xyplot(prodFixed)
```



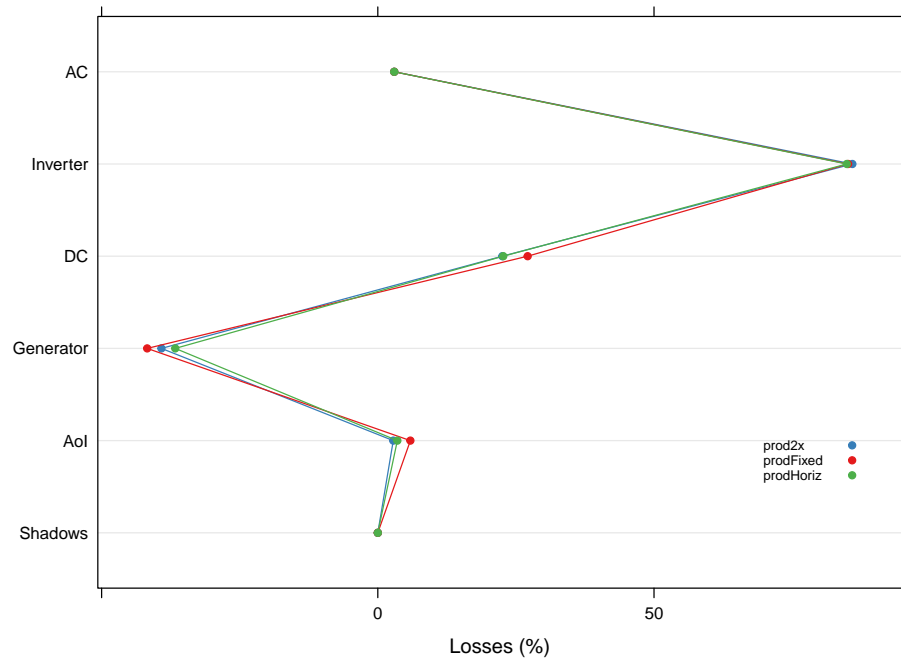
Un método para **compare**.

```
1 prod2x <- prodGCPV(lat, modeTrk = 'two', dataRad = BD)
2 prodHoriz <- prodGCPV(lat, modeTrk = 'horiz', dataRad = BD)
3 compare(prodFixed, prod2x, prodHoriz)
```



Y un método para **compareLosses**.

```
1 compareLosses(prodFixed, prod2x, prodHoriz)
```



4.8.5. Producción electrica de un SFB

La clase **ProdPVPS** cuenta con un método para **xyplot**.

```
1 pump <- prodPVPS(lat, dataRad = BD, pump = CoefSP8A44, H = 40, Pg = 5000)
2 show(pump)
```

```
Object of class ProdPVPS

Source of meteorological information: prom-

Latitude of source: 37.2 degrees
Latitude for calculations: 37.2 degrees

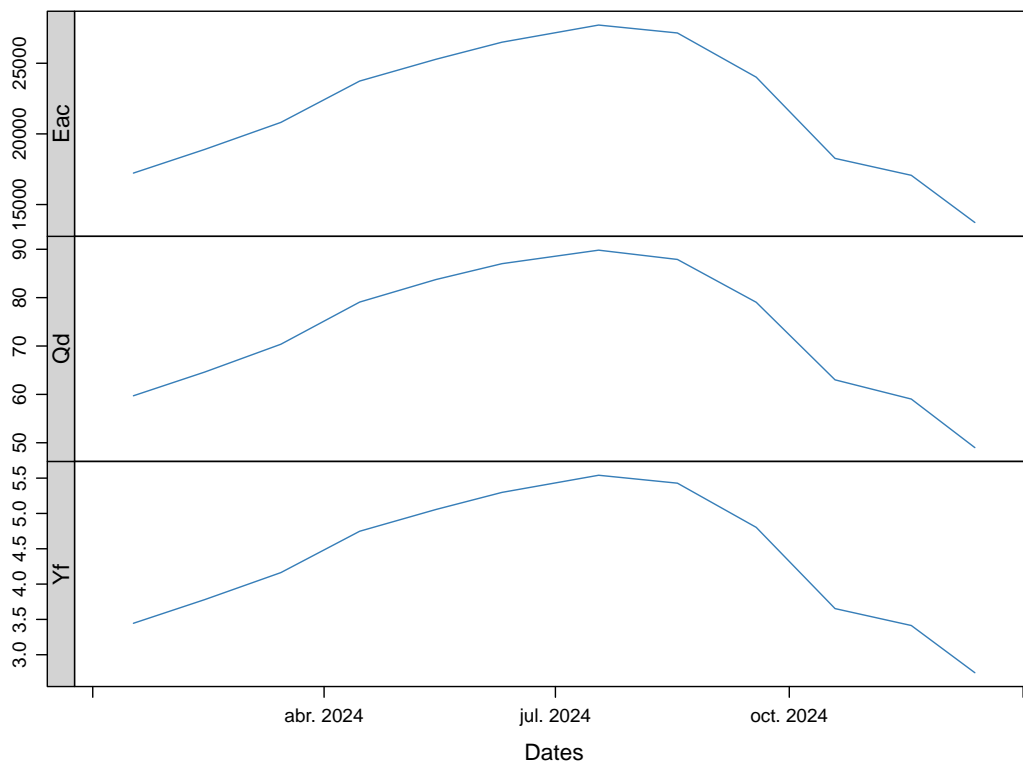
Monthly avarages:
  Dates      Eac      Qd      Yf
  <char>    <num>    <num>    <num>
1: Jan. 2024 17.22642 59.71506 3.445284
2: Feb. 2024 18.89837 64.60949 3.779675
3: Mar. 2024 20.81307 70.36542 4.162613
4: Apr. 2024 23.73937 79.08382 4.747874
5: May. 2024 25.28080 83.74003 5.056160
6: Jun. 2024 26.49158 87.02474 5.298315
7: Jul. 2024 27.70317 89.81648 5.540633
8: Aug. 2024 27.14273 87.89528 5.428546
9: Sep. 2024 24.01466 79.04010 4.802932
10: Oct. 2024 18.26638 63.00860 3.653277
11: Nov. 2024 17.06794 59.03182 3.413588
12: Dec. 2024 13.72784 48.99686 2.745567

Yearly values:
  Dates      Eac      Qd      Yf
  <int>    <num>    <num>    <num>
1: 2024 7942.432 26608.76 1588.486
```

```
-----
Mode of tracking: fixed
Inclination: 27.2
Orientation: 0
-----
```

```
Pump:
  Qn: 8
  Stages: 44
  Height (m): 40
  Generator (Wp): 5000
```

```
1 xyplot(pump)
```



### 4.8.6. Optimización de distancias

La clase **Shade** cuenta con un método para **shadeplot**.

```
1 struct2x = list(W = 23.11, L = 9.8, Nrow = 2, Ncol = 3)
2 dist2x = list(Lew = c(30, 45), Lns = c(20, 40))
3 ShdM2x <- optimShd(lat = lat, dataRad = prom, modeTrk = 'two',
4                   modeShd = c('area', 'prom'),
5                   distances = dist2x, struct = struct2x,
6                   res = 5, prog = FALSE)
7 show(ShdM2x)
```

```
Hubo 42 avisos (use warnings() para verlos)
Object of class Shade

Source of meteorological information: prom-
```

```
Latitude of source: 37.2 degrees
Latitude for calculations: 37.2 degrees

Monthly avarages:
Dimensions of structure:
$W
[1] 23.11

$L
[1] 9.8

$Nrow
[1] 2

$Ncol
[1] 3

Shade calculation mode:
[1] "area" "prom"
Productivity without shadows:
Object of class ProdGCPV

Source of meteorological information: prom-

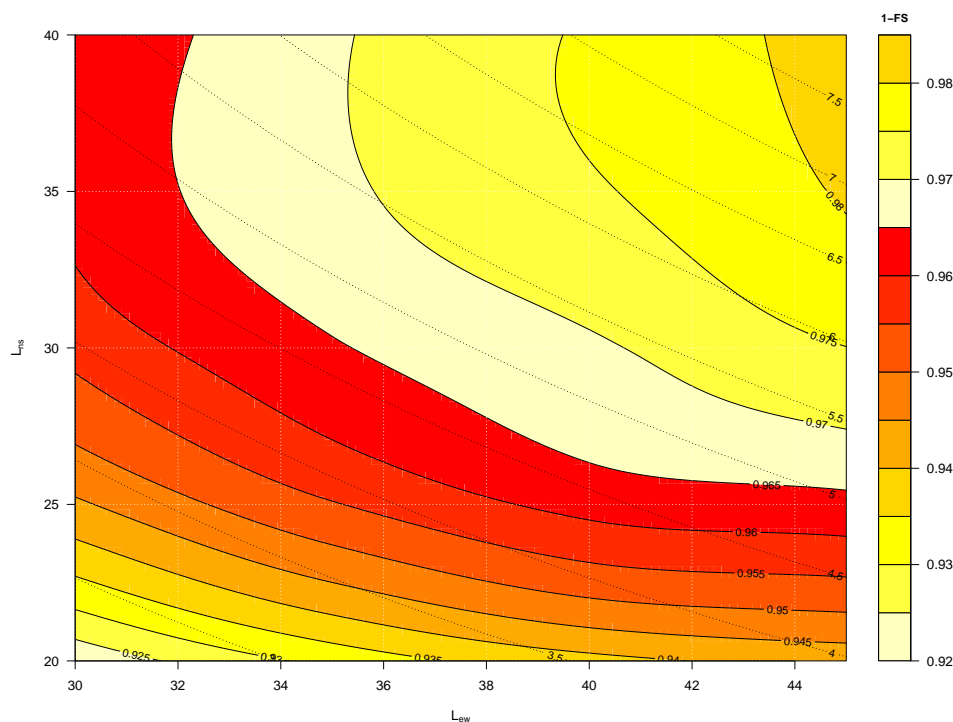
Latitude of source: 37.2 degrees
Latitude for calculations: 37.2 degrees

Monthly avarages:
      Dates      Eac      Edc      Yf
    <char>    <num>    <num>    <num>
1: Jan. 2024 1829.1421 13993.996 1.1216560
2: Feb. 2024 1960.5763 14724.330 1.2022533
3: Mar. 2024 2107.0772 15660.016 1.2920897
4: Apr. 2024 2427.6546 18908.076 1.4886724
5: May. 2024 2706.0114 21661.810 1.6593647
6: Jun. 2024 2862.9464 22598.516 1.7555995
7: Jul. 2024 1899.9978 11153.533 1.1651057
8: Aug. 2024 495.2908 1191.801 0.3037194
9: Sep. 2024 2028.5846 14444.922 1.2439570
10: Oct. 2024 1887.0955 13723.573 1.1571938
11: Nov. 2024 1786.6758 13393.040 1.0956151
12: Dec. 2024 1480.9283 10327.859 0.9081263

Yearly values:
      Dates      Eac      Edc      Yf
    <int>    <num>    <num>    <num>
1: 2024 714604.4 5226432 438.2056
-----
Mode of tracking: two
Inclination limit: 90
-----
Generator:
  Modules in series: 22
  Modules in parallel: 130
  Nominal power (kWp): 1630.8

Summary of results:
      Lew      Lns      H      FS      GRR      Yf
Min. :30.00 Min. :20 Min. :0 Min. :0.01803 Min. :2.649 Min. :403.6
1st Qu.:33.75 1st Qu.:25 1st Qu.:0 1st Qu.:0.02941 1st Qu.:3.946 1st Qu.:417.5
Median :37.50 Median :30 Median :0 Median :0.03592 Median :4.802 Median :422.5
Mean :37.50 Mean :30 Mean :0 Mean :0.04016 Mean :4.967 Mean :420.6
3rd Qu.:41.25 3rd Qu.:35 3rd Qu.:0 3rd Qu.:0.04734 3rd Qu.:6.016 3rd Qu.:425.3
Max. :45.00 Max. :40 Max. :0 Max. :0.07901 Max. :7.948 Max. :430.3
```

```
1 shadeplot(ShdM2x)
```



## 4.9. Aspectos técnicos de la elaboración de un paquete en R

### 4.9.1. Estructura básica del paquete

En la creación de un paquete en R, la estructura de los archivos es clave para asegurar un desarrollo organizado y que R pueda interactuar correctamente con el código y los datos. Los paquetes de R son esencialmente un conjunto de archivos organizados en un directorio específico. El contenido mínimo requerido incluye:

- Un archivo **DESCRIPTION**, que proporciona la información esencial del paquete.
- Un archivo **NAMESPACE**, que controla qué funciones y objetos son visibles fuera del paquete.
- Subdirectoriso como **R/** y **man/**:
  - **R/**: Contiene los archivos de código **.R**, que son las funciones, clases y métodos definidos en el paquete.
  - **man/**: Contiene las páginas de ayuda y documentación para las funciones, métodos y clases del paquete.

La estructura básica de un paquete puede generarse fácilmente utilizando la función `package.skeleton()`, que crea los archivos y carpetas necesarios para empezar a trabajar en el desarrollo.

### 4.9.2. DESCRIPTION

El fichero **DESCRIPTION** es fundamental, ya que incluye la información descriptiva y técnica del paquete, como el nombre, la versión, los autores y las dependencias. Un ejemplo típico de este archivo es el siguiente:



```

Package: pkgname
Version: 0.5-1
Date: 2004-01-01
Title: My First Collection of Functions
Authors@R: c(person("Joe", "Developer", role = c("aut", "cre"),
                  email = "Joe.Developer@some.domain.net"),
             person("Pat", "Developer", role = "aut"),
             person("A.", "User", role = "ctb",
                  email = "A.User@whereever.net"))
Author: Joe Developer and Pat Developer, with contributions from A. User
Maintainer: Joe Developer <Joe.Developer@some.domain.net>
Depends: R (>= 1.8.0), nlme
Suggests: MASS
Description: A short (one paragraph) description of what
             the package does and why it may be useful.
License: GPL (>= 2)
URL: http://www.r-project.org, http://www.another.url

```

Los campos principales de este archivo son:

- **Package:** Nombre del paquete.
- **Version:** Versión del paquete. Generalmente sigue un esquema de numeración semántica (**major.minor-patch**)<sup>7</sup>.
- **Title:** Un título breve pero descriptivo de lo que hace el paquete.
- **Authors@R:** Especifica el o los autores con sus respectivos roles, como “aut” (autor) y “cre” (creador principal).
- **Maintainer:** Persona responsable del mantenimiento del paquete, con su correo electrónico.
- **Depends:** Lista de dependencias, es decir, otros paquetes de los que depende el correcto funcionamiento del paquete.
- **Suggests:** Lista de paquete que no son obligatorios, pero que pueden ser útiles.
- **Description:** Una breve descripción del propósito del paquete.
- **License:** Tipo de licencia bajo la cual se distribuye el paquete (GPL, MIT, etc.).

Este archivo es crucial para que los usuarios y el sistema **R** identifiquen las características y requisitos del paquete

<sup>7</sup>Un esquema de numeración semántica es un sistema de versiones que sigue un patrón específico para asignar números a las versiones de software. Se utiliza para indicar claramente la magnitud de los cambios realizados y su impacto en la compatibilidad. Una versión **major** o mayor se refiere a modificaciones grandes o incompatibles con versiones anteriores, **minor** o menor es una versión que incluye mejoras o nuevas funciones compatibles con versiones anteriores y **patch** o parche es una versión que incluye correcciones menores o mejoras que no afectan a la funcionalidad.

### 4.9.3. NAMESPACE

El archivo **NAMESPACE** es el encargado de gestionar el espacio de nombres del paquete, permitiendo definir qué funciones y objetos serán visibles (exportados) y cuáles se mantendrán internos. Además, es útil para definir qué funciones o métodos de otros paquetes serán importados para su uso dentro del paquete.

R usa un sistema de gestión de **espacio de nombres** que permite al autor del paquete especificar:

- Las **variables** del paquete que se **exportan** (y son, por tanto, accesibles a los usuarios).
- Las **variables** que se **importan** de otros paquetes.
- Las **clases y métodos S3 y S4** que deben registrarse.

El **NAMESPACE** controla la estrategia de búsqueda de variables que utilizan las funciones del paquete:

- En primer lugar, busca entre las creadas localmente (por el código de la carpeta **R/**).
- En segundo lugar, busca entre las variables importadas explícitamente de otros paquetes.
- En tercer lugar, busca en el **NAMESPACE** del paquete **base**.
- Por último, busca siguiendo el camino habitual (usando **search()**).

```
1 search()
```

```
[1] ".GlobalEnv"          "package:jsonlite"    "package:httr2"       "package:zoo"
[5] "package:solar2"      "package:latticeExtra" "package:lattice"     "package:data.table"
[9] "ESSR"                "package:stats"       "package:graphics"    "package:grDevices"
[13] "package:utils"       "package:datasets"    "package:methods"     "Autoloads"
[17] "package:base"
```

### Manejo de variables

- Exportar variables:

```
1 export(f, g)
```

Esto asegura que las variables **f** y **g** sean accesibles desde fuera del paquete.

- Importar **todas** las variables de otro paquete:

```
1 import(pkgExt)
```

- Importar variables **concretas** de otro paquete:

```
1 importFrom(pkgExt, var1, var2)
```

## Manejo de clases y métodos

- Para registrar un **método** para una **clase** determinada:

```
1 S3method(print, myClass)
```

Esto permite definir cómo se imprimen objetos de la clase **myClass**

- Para los paquetes que utilizan clases y métodos **S4**, es necesario agregar una dependencia explícita en el archivo **DESCRIPTION**:

```
1 import("methods")
```

- Para registrar clases **S4**:

```
1 exportClasses(class1, class2)
```

- Para registrar métodos **S4**:

```
1 exportMethods(method1, method2)
```

- Para importar métodos y clases **S4** de otro paquete:

```
1 importClassesFrom(package, ...)
2 importMethodsFrom(package, ...)
```

### 4.9.4. Documentación

La documentación en R sigue un formato específico llamado **Rd** (*R documentation*), que está inspirado en LaTeX. Cada función, método o clase del paquete debe tener una página de documentación asociada, que generalmente se encuentra en el subdirectorio **man/**. Estas páginas incluyen información sobre el uso de la función, argumentos, detalles de la implementación y ejemplos de uso.

```
\name{load}
\alias{load}
\title{Reload Saved Datasets}
\description{
  Reload the datasets written to a file with the function
  \code{save}.
}
\usage{
  load(file, envir = parent.frame())
}
\arguments{
\item{file}{a connection or a character string giving the
  name of the file to load.}
\item{envir}{the environment where the data should be
  loaded.}
}
\seealso{
  \code{\link{save}}.
}
\examples{
  ## save all data
  save(list = ls(), file= "all.RData")

  ## restore the saved values to the current environment
  load("all.RData")

  ## restore the saved values to the workspace
  load("all.RData", .GlobalEnv)
}
\keyword{file}
```

El formato tiene varios componentes:

- **name:** El nombre de la función.
- **alias:** Nombres alternativos o alias de la función.
- **title:** Título breve que describe la función.
- **description:** Una descripción de lo que hace la función.
- **usage:** La sintaxis de la función de lo que hace la función.
- **arguments:** Explicación de los argumentos que recibe la función.
- **seealso:** Enlaces a funciones relacionadas.
- **examples:** Ejemplos de cómo utilizar la función.

Esta estructura de documentación permite a los usuarios comprender rápidamente cómo utilizar las funciones del paquete y verificar su funcionalidad con ejemplos prácticos.

## Ejemplo práctico de aplicación

Una vez explicado como funciona el paquete, se puede realizar una demostración práctica tomando como ejemplo los módulos fotovoltaicos que tiene en su azotea la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial (en adelante la ETSIDI).

Se tomará de base un estudio realizado por profesores de la escuela [Adr+17], en el cual, comparan la producción energética de seis tipos de tecnologías fotovoltaicas.

En este ejemplo se realizará el mismo análisis tomando tres herramientas distintas: **solaR**, para poder tomar como referencia el paquete del que sale para poder apreciar las mejoras del programa, **PVSyst**, ya que es uno de los softwares más usados en el ámbito de la fotovoltaica y puede servir como punto de referencia, y por último **solaR2**.

### 5.1. solaR

Se empieza inicilizando el paquete:

```
1 library(solaR)
```

```
Cargando paquete requerido: zoo
Adjuntando el paquete: 'zoo'
The following objects are masked from 'package:base':
  as.Date, as.Date.numeric
Cargando paquete requerido: lattice
Cargando paquete requerido: latticeExtra
Time Zone set to UTC.
```

En el estudio anterior, se recopilaron datos intradiarios de irradiación los cuales fueron almacenados en archivos.

```
1 enemar13 <- readBDi(file = 'TFG/data/ETSIDI/etsidi/EneMar2013_1.csv',
2                       lat = 40.4, time.col = 'Fecha')
3 show(enemar13)
```

```
Object of class Meteo

Source of meteorological information: bdI-TFG/data/ETSIDI/etsidi/EneMar2013_1.csv
Latitude of source: 40.4 degrees

Meteorological Data:
      Index              GO              Ta
Min.   :2013-01-24 00:15:00.00  Min.   : 0.0  Min.   : -33.80
1st Qu.:2013-02-09 18:00:00.00  1st Qu.: 13.0  1st Qu.:  9.50
Median :2013-02-26 11:15:00.00  Median : 13.0  Median : 12.20
Mean   :2013-02-26 11:19:20.84  Mean   :113.2  Mean   : 11.97
3rd Qu.:2013-03-15 04:30:00.00  3rd Qu.:135.0  3rd Qu.: 14.40
Max.   :2013-03-31 23:45:00.00  Max.   :755.0  Max.   : 64.50
```

Una vez se tienen estos datos, se puede calcular la producción que van a tener los diferentes sistemas fotovoltaicos.

Para ello, se necesitan los parámetros de los diferentes sistemas. En la tabla 5.1 se pueden ver los distintos parámetros de los módulos fotovoltaicos.

Se almacena esta información en listas con la información de cada módulo.

```
1 ## mc-Si
2 module1 <- list(Vocn = 37.1,
3                 Iscn = 8.76,
4                 Vmn = 29.9,
5                 Imn = 8.37,
6                 Ncs = 60,
7                 Ncp = 1,
8                 CoefVT = 0.00338,
9                 TONC = 43.7)
10 ## pc-Si
11 module2 <- list(Vocn = 36.5,
12                 Iscn = 8.15,
13                 Vmn = 29,
14                 Imn = 7.59,
15                 Ncs = 60,
```

TABLA 5.1: *Parámetros técnicos de diferentes tipos de células solares.*

Parámetros Técnicos	mc-Si	pc-Si
Potencia se salida (Wp)	250	220
Voltaje en $P_{max}$ (Vmp)	29.9	29.0
Corriente en $P_{max}$ (Imp)	8.37	7.59
Voltaje en circuito abierto (Voc)	37.1	36.5
Corriente en cortocircuito (Isc)	8.76	8.15
Eficiencia del módulo (%)	15.5	14.4
$\alpha_{Isc}$ (%/K)	0.0043	0.06
$\beta_{Voc}$ (%/K)	-0.338	-0.37
$\gamma_{Pmpp}$ (%/K)	-0.469	-0.45
Temperatura NOC (°C)	43.7	46

```

16     Ncp = 1,
17     CoefVT = 0.0037,
18     TONC = 46)

```

Una vez se tiene la información de cada tipo de módulo, en la tabla 5.2 se pueden ver la información de la agrupación de cada sistema.

De la misma manera, se almacenará esta información en listas.

```

1 ## mc-Si
2 generator1 <- list(Nms = 5, Nmp = 1)
3 ## pc-Si
4 generator2 <- list(Nms = 5, Nmp = 1)

```

Una vez se tienen todos los parámetros del sistema fotovoltaico, se requieren los parámetros del inversor que tienen estos sistemas. Para facilitar el estudio, en el artículo explican que se usa el mismo inversor para todos los sistemas. Los parámetros de este se pueden ver en la tabla 5.3.

Se almacena esta información en otra lista:

```

1 inverter <- list(Pinv = 1200,
2                 Vmin = 100,

```

TABLA 5.2: *Sistemas fotovoltaicos.*

Sistema	Tecnología	Año de Fabricación	Módulos en Serie	Módulos en Paralelo	Potencia del Sistema STC ( $W_{PSTC}$ )	Tamaño ( $m^2$ )
1	mc-Si	2012	5	1	1250	8
2	pc-Si	2009	5	1	1100	8.2

TABLA 5.3: *Características del inversor.*

Inversor	SMA Sunny Boy-1200
Potencia máxima DC	1320 W
Corriente máxima DC	12.6 A
Tensión máxima DC	400 V
Rango de tensión fotovoltaica (mpp)	100-320 V
Potencia máxima DC	1320 W
Potencia nominal de salida	1200 W
Maxima potencia aparente	1200 VA
Corriente máxima AC	6.1 A
Eficiencia	92.1 %

```
3      Vmax = 320)
```

Una vez recopilada toda la información (la información que falta se deja sin añadir para que el propio paquete añada sus valores por defecto), se puede calcular la producción que tuvieron los sistemas:

```
1 prod1 <- prodGCPV(lat = 40.4, modeTrk = 'fixed', modeRad = 'bdI',
2                   dataRad = enemar13,
3                   beta = 30, alfa = -19, iS = 1,
4                   module = module1, generator = generator1,
5                   inverter = inverter)
6 show(prod1)
```

```
Object of class  ProdGCPV

Source of meteorological information: bdI-TFG/data/ETSIDI/etsidi/EneMar2013_1.csv

Latitude of source:  40.4 degrees
Latitude for calculations:  40.4 degrees

Monthly averages:
      Eac      Edc      Yf
ene. 2013 2.288657 2.544214 1.829001
feb. 2013 2.912867 3.246235 2.327844
mar. 2013 2.642931 2.958194 2.112123

Yearly values:
      Eac      Edc      Yf
2013 181.8004 202.9523 145.2875
-----
Mode of tracking:  fixed
  Inclination:    30
  Orientation:   -19
-----
Generator:
  Modules in series:  5
  Modules in parallel: 1
  Nominal power (kWp): 1.3
```

```
1 prod2 <- prodGCPV(lat = 40.4, modeTrk = 'fixed', modeRad = 'bdI',
2                   dataRad = enemar13,
3                   beta = 30, alfa = -19, iS = 1,
4                   module = module2, generator = generator2,
5                   inverter = inverter)
6 show(prod2)
```

```
Object of class  ProdGCPV

Source of meteorological information: bdI-TFG/data/ETSIDI/etsidi/EneMar2013_1.csv

Latitude of source:  40.4 degrees
Latitude for calculations:  40.4 degrees

Monthly averages:
      Eac      Edc      Yf
ene. 2013 1.995563 2.219924 1.813242
feb. 2013 2.546910 2.840829 2.314216
mar. 2013 2.324995 2.608686 2.112576

Yearly values:
```



```

      Eac      Edc      Yf
2013 159.3528 178.1718 144.7938
-----
Mode of tracking: fixed
Inclination: 30
Orientation: -19
-----
Generator:
Modules in series: 5
Modules in parallel: 1
Nominal power (kWp): 1.1

```

## 5.2. PVsyst

Con la herramienta **PVsyst**, se ha generado un año promedio de datos de irradiación en la localización y con estos datos se han obtenido dos informes (uno por cada sistema).

Por comodidad, en este documento se van a extraer solo unas tablas con los resultados principales, sin embargo los informes completos están disponibles en el [github](#) del documento.

En las tablas 5.4 y 5.5 se tienen los resultados de la simulación de los sistemas.

## 5.3. solar2

Con los datos obtenidos en la sección 5.1, hacemos la misma operación pero con el paquete **solar2**.

```
1 library(solar2)
```

```

Cargando paquete requerido: data.table
data.table 1.15.4 using 6 threads (see ?getDTthreads). Latest news: r-datatable.com
Cargando paquete requerido: lattice
Cargando paquete requerido: latticeExtra
Time Zone set to UTC.

```

TABLA 5.4: *Energía media mensual estimada por PVsyst en KWh del sistema 1.*

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
3,7	4,0	5,6	5,3	6,7	6,7	7,9	7,2	6,4	4,8	3,5	3,6	1941,1

TABLA 5.5: *Energía media mensual estimada por PVsyst en KWh del sistema 2.*

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
4,3	4,6	6,4	6,1	7,3	7,3	8,3	7,7	6,9	5,4	4,1	4,4	2213,7

Para ello importamos de la misma manera los datos de radiación.

```
1 enemar13 <- readBDi(file = 'TFG/data/ETSIDI/etsidi/EneMar2013_1.csv',
2                       lat = 40.4, dates.col = 'Fecha')
3 show(enemar13)
```

Object of class Meteo

Source of meteorological information: bdI-TFG/data/ETSIDI/etsidi/EneMar2013\_1.csv  
Latitude of source: 40.4 degrees

Meteorological Data:

Dates	GO	Ta
Min. :2013-01-24 00:15:00.00	Min. : 0.0	Min. : -33.80
1st Qu.:2013-02-09 18:00:00.00	1st Qu.: 13.0	1st Qu.: 9.50
Median :2013-02-26 11:15:00.00	Median : 13.0	Median : 12.20
Mean :2013-02-26 11:19:20.84	Mean :113.2	Mean : 11.97
3rd Qu.:2013-03-15 04:30:00.00	3rd Qu.:135.0	3rd Qu.: 14.40
Max. :2013-03-31 23:45:00.00	Max. :755.0	Max. : 64.50

Con estos datos se procede al cálculo de la producción (los datos de los componentes del sistema son los mismos que los realizados en la sección 5.1).

```
1 prod1 <- prodGCPV(lat = 40.4, modeTrk = 'fixed', modeRad = 'bdI',
2                  dataRad = enemar13,
3                  beta = 30, alfa = -19, iS = 1,
4                  module = module1, generator = generator1,
5                  inverter = inverter)
6 show(prod1)
```

Object of class ProdGCPV

Source of meteorological information: bdI-TFG/data/ETSIDI/etsidi/EneMar2013\_1.csv

Latitude of source: 40.4 degrees  
Latitude for calculations: 40.4 degrees

Monthly avarages:

	Dates	Eac	Edc	Yf
	<char>	<num>	<num>	<num>
1: Jan. 2013	2.288657	2.544214	1.829001	
2: Feb. 2013	2.912867	3.246235	2.327844	
3: Mar. 2013	2.642931	2.958194	2.112123	

Yearly values:

	Dates	Eac	Edc	Yf
	<int>	<num>	<num>	<num>
1: 2013	181.8004	202.9523	145.2875	

Mode of tracking: fixed

Inclination: 30  
Orientation: -19

Generator:

Modules in series: 5  
Modules in parallel: 1  
Nominal power (kWp): 1.3

```
1 prod2 <- prodGCPV(lat = 40.4, modeTrk = 'fixed', modeRad = 'bdI',
2                  dataRad = enemar13,
```

```

3      beta = 30, alfa = -19, iS = 1,
4      module = module2, generator = generator2,
5      inverter = inverter)
6 show(prod2)

```

```

Object of class ProdGCPV

Source of meteorological information: bdI-TFG/data/ETSIDI/etsidi/EneMar2013_1.csv

Latitude of source: 40.4 degrees
Latitude for calculations: 40.4 degrees

Monthly avarages:
      Dates      Eac      Edc      Yf
      <char>    <num>    <num>    <num>
1: Jan. 2013 1.995563 2.219924 1.813242
2: Feb. 2013 2.546910 2.840829 2.314216
3: Mar. 2013 2.324995 2.608686 2.112576

Yearly values:
      Dates      Eac      Edc      Yf
      <int>    <num>    <num>    <num>
1: 2013 159.3528 178.1718 144.7938
-----
Mode of tracking: fixed
  Inclination: 30
  Orientation: -19
-----
Generator:
  Modules in series: 5
  Modules in parallel: 1
  Nominal power (kWp): 1.1

```

## 5.4. Comparación y conclusiones

Como se puede observar en las secciones anteriores, tanto el paquete **solar** como el paquete **solar2** ofrecen los mismos resultados ya que toman las mismas referencias y estudios para realizar los cálculos. Sin embargo, el paquete **solar2**, a parte de la corrección de algunos errores, presenta unas claras ventajas frente a su antecesor. Estas son:

- **Eficiencia:** al estar basado en **data.table**, el paquete gana eficiencia en operaciones complejas. Para mostrar esto vamos a utilizar el paquete **microbenchmark**.

```

1 ## Con el paquete solar
2 library(microbenchmark)
3 prodGCPVcustom <- function(){
4   prod1 <- prodGCPV(lat = 40.4, modeTrk = 'fixed', modeRad = 'bdI',
5                     dataRad = enemar13, beta = 30, alfa = -19,
6                     iS = 1, module = module1,
7                     generator = generator1, inverter = inverter)
8 }
9 microbenchmark(prodGCPVcustom(), times = 50)

```

```

Unit: milliseconds
      expr      min      lq     mean   median      uq     max neval
prodGCPVcustom() 529.5188 543.3399 554.9077 548.5941 558.3901 626.5719     50

```

```

1 ## Con el paquete solaR2
2 library(microbenchmark)
3 prodGCPVcustom <- function(){
4   prod1 <- prodGCPV(lat = 40.4, modeTrk = 'fixed', modeRad = 'bdI',
5                     dataRad = enemar13, beta = 30, alfa = -19,
6                     iS = 1, module = module1,
7                     generator = generator1, inverter = inverter)
8 }
9 microbenchmark(prodGCPVcustom(), times = 50)

```

Unit: milliseconds							
expr	min	lq	mean	median	uq	max	neval
prodGCPVcustom()	333.9282	338.6178	345.8622	341.9009	345.6647	402.8548	50

Aquí se puede ver que la eficiencia mejora. Sin embargo, suponiendo que en vez de un sistema fijo, tuvieramos un sistema de seguimiento de doble eje y quisieramos obtener la mejor combinación de distancias, se podría utilizar la función **optimShd**, la cual al ser una tarea muy exigente se aprecia con más detalle las virtudes del paquete **solaR2** gracias al uso de **data.table**.

```

1 ## Con el paquete solaR
2 struct2x <- list(W = 23.11, L = 9.8, Nrow = 2, Ncol = 3)
3 dist2x <- list(Lew = c(30, 45), Lns = c(20, 40))
4 optimShdcustom <- function(){
5   optim <- optimShd(lat = 40.4, modeTrk = 'two', modeRad = 'bdI',
6                     dataRad = enemar13, beta = 30, alfa = -19,
7                     iS = 1, module = module1,
8                     generator = generator1, inverter = inverter,
9                     modeShd = c('area', 'prom'),
10                     distances = dist2x, struct = struct2x,
11                     res = 5, prog = FALSE)
12 }
13 microbenchmark(optimShdcustom(), times = 20)

```

Unit: seconds							
expr	min	lq	mean	median	uq	max	neval
optimShdcustom()	6.30659	6.387046	6.447254	6.453184	6.48896	6.610802	20

```

1 ## Con el paquete solaR2
2 struct2x <- list(W = 23.11, L = 9.8, Nrow = 2, Ncol = 3)
3 dist2x <- list(Lew = c(30, 45), Lns = c(20, 40))
4 optimShdcustom <- function(){
5   optim <- optimShd(lat = 40.4, modeTrk = 'two', modeRad = 'bdI',
6                     dataRad = enemar13, beta = 30, alfa = -19,
7                     iS = 1, module = module1,
8                     generator = generator1, inverter = inverter,
9                     modeShd = c('area', 'prom'),
10                     distances = dist2x, struct = struct2x,
11                     res = 5, prog = FALSE)
12 }
13 microbenchmark(optimShdcustom(), times = 20)

```

Unit: seconds							
expr	min	lq	mean	median	uq	max	neval
optimShdcustom()	5.121113	5.154294	5.175936	5.171816	5.182229	5.249169	20



## Manual de referencia de solaR2

En este apéndice se incluye el manual de referencia del paquete solaR2. Este manual se genera en base a los archivos de documentación (`.Rd`) propios de un paquete de R, y en el cual se recoge la información de todas las funciones, objetos y set de datos que contiene el paquete.

Se distribuye siguiendo la siguiente nomenclatura:

- **Constructores:** se trata de funciones que devuelven un objeto de una clase propia del paquete. Como identificador, se añade la letra **A** antes del nombre.
- **Clases:** la definición de las clases de los objetos definidos por este paquete. Como identificador, se añade la letra **B** antes del nombre.
- **Utilidades:** funciones que sirven de apoyo a los cálculos de las funciones constructoras. Como identificador, se añade la letra **C** antes del nombre.
- **Métodos:** métodos para los objetos definidos en el paquete. Como identificador, se añade la letra **D** antes del nombre.

# Package ‘solaR2’

September 5, 2024

**Type** Package  
**Title** Radiation and Photovoltaic Systems  
**Version** 0.10  
**Encoding** UTF-8  
**Description** Calculation methods of solar radiation and performance of photovoltaic systems from daily and intradaily irradiation data sources.  
**URL** <https://solarization.github.io/solaR2/>  
**BugReports** <https://github.com/solarization/solaR2/issues>  
**License** GPL-3  
**LazyData** yes  
**Depends** R (>= 4.0.0), data.table, lattice, latticeExtra  
**Imports** RColorBrewer, graphics, grDevices, stats, methods, utils  
**Suggests** zoo, sp, raster, rasterVis, tdr, meteoForecast, httr2, jsonlite, testthat (>= 3.0.0)  
**Config/testthat/edition** 3  
**NeedsCompilation** no  
**Author** Oscar Perpiñán-Lamigueiro [cre, aut]  
(<<https://orcid.org/0000-0002-4134-7196>>),  
Francisco Delgado-López [aut]  
**Maintainer** Oscar Perpiñán-Lamigueiro <[oscar.perpinan@upm.es](mailto:oscar.perpinan@upm.es)>

## Contents

solaR2-package . . . . .	3
A1_calcSol . . . . .	5
A2_calcG0 . . . . .	6
A3_calcGef . . . . .	9
A4_prodGCPV . . . . .	11
A5_prodPVPS . . . . .	15
A6_calcShd . . . . .	17
A7_optimShd . . . . .	18
A8_Meteo2Meteo . . . . .	22
A8_readBD . . . . .	23
A8_readG0dm . . . . .	25



A8_readSIAR . . . . .	26
B1_Meteo-class . . . . .	27
B2_Sol-class . . . . .	28
B3_G0-class . . . . .	29
B4_Gef-class . . . . .	30
B5_ProdGCPV-class . . . . .	32
B6_ProdPVPS-class . . . . .	33
B7_Shade-class . . . . .	34
C_corrFdKt . . . . .	36
C_fBTd . . . . .	38
C_fBTi . . . . .	39
C_fCompD . . . . .	40
C_fCompI . . . . .	41
C_fInclin . . . . .	43
C_fProd . . . . .	45
C_fPump . . . . .	47
C_fSolD . . . . .	48
C_fSolI . . . . .	50
C_fSombra . . . . .	52
C_fTemp . . . . .	54
C_fTheta . . . . .	55
C_HQCurve . . . . .	57
C_local2Solar . . . . .	58
C_NmgPVPS . . . . .	59
C_sample2Diff . . . . .	61
C_solarAngles . . . . .	62
C_utils-angle . . . . .	64
C_utils-time . . . . .	64
D_as.data.tableD-methods . . . . .	65
D_as.data.tableI-methods . . . . .	66
D_as.data.tableM-methods . . . . .	68
D_as.data.tableY-methods . . . . .	69
D_compare-methods . . . . .	70
D_getData-methods . . . . .	71
D_getG0-methods . . . . .	71
D_getLat-methods . . . . .	71
D_indexD-methods . . . . .	72
D_indexI-methods . . . . .	72
D_levelplot-methods . . . . .	73
D_Losses-methods . . . . .	73
D_mergesolaR-methods . . . . .	74
D_shadeplot-methods . . . . .	75
D_window-methods . . . . .	75
D_writeSolar-methods . . . . .	76
D_xyplot-methods . . . . .	78
E_aguiar . . . . .	79
E_helios . . . . .	79
E_prodEx . . . . .	80
E_pumpCoef . . . . .	80
E_SIAR . . . . .	81
E_solaR.theme . . . . .	81

**Description**

The **solaR2** package allows for reproducible research both for photovoltaics (PV) systems performance and solar radiation. It includes a set of classes, methods and functions to calculate the sun geometry and the solar radiation incident on a photovoltaic generator and to simulate the performance of several applications of the photovoltaic energy. This package performs the whole calculation procedure from both daily and intradaily global horizontal irradiation to the final productivity of grid-connected PV systems and water pumping PV systems.

**Details**

**solaRd** is designed using a set of S4 classes whose core is a group of slots with multivariate time series. The classes share a variety of methods to access the information and several visualization methods. In addition, the package provides a tool for the visual statistical analysis of the performance of a large PV plant composed of several systems.

Although **solaRd** is primarily designed for time series associated to a location defined by its latitude/longitude values and the temperature and irradiation conditions, it can be easily combined with spatial packages for space-time analysis.

**Please note that this package needs to set the timezone to UTC. Every ‘data.table’ object created by the package will have an index with this time zone as a synonym of mean solar time..**

You can check it after loading **solaR2** with:

```
Sys.getenv('TZ')
```

If you need to change it, use:

```
Sys.setenv(TZ = 'YourTimeZone')
```

Index of functions and classes:

G0-class	Class "G0": irradiation and irradiance on the horizontal plane.
Gef-class	Class "Gef": irradiation and irradiance on the generator plane.
HQCurve	H-Q curves of a centrifugal pump
Meteo-class	Class "Meteo"
NmgPVPS	Nomogram of a photovoltaic pumping system
ProdGCPV-class	Class "ProdGCPV": performance of a grid connected PV system.
ProdPVPS-class	Class "ProdPVPS": performance of a PV pumping system.
Shade-class	Class "Shade": shadows in a PV system.
Sol-class	Class "Sol": Apparent movement of the Sun from the Earth
aguiar	Markov Transition Matrices for the Aguiar et al. procedure
as.data.tableD	Methods for Function <code>as.data.frameD</code>
as.data.tableI	Methods for Function <code>as.data.frameI</code>
as.data.tableM	Methods for Function <code>as.data.frameM</code>
as.data.tableY	Methods for Function <code>as.data.frameY</code>

calcG0	Irradiation and irradiance on the horizontal plane.
calcGef	Irradiation and irradiance on the generator plane.
calcShd	Shadows on PV systems.
calcSol	Apparent movement of the Sun from the Earth
compare	Compare G0, Gef and ProdGCPV objects
compareLosses	Losses of a GCPV system
corrFdKt	Correlations between the fraction of diffuse irradiation and the clearness index.
d2r	Conversion between angle units.
diff2Hours	Small utilities for difftime objects.
fBTd	Daily time base
fCompD	Components of daily global solar irradiation on a horizontal surface
fCompI	Calculation of solar irradiance on a horizontal surface
fInclin	Solar irradiance on an inclined surface
fProd	Performance of a PV system
fPump	Performance of a centrifugal pump
fSolD	Daily apparent movement of the Sun from the Earth
fSolI	Instantaneous apparent movement of the Sun from the Earth
fSombra	Shadows on PV systems
fTemp	Intradaily evolution of ambient temperature
fTheta	Angle of incidence of solar irradiation on a inclined surface
getData	Methods for function getData
getG0	Methods for function getG0
getLat	Methods for Function getLat
helios	Daily irradiation and ambient temperature from the Helios-IES database
hour	Utilities for time indexes.
indexD	Methods for Function indexD
indexI	Methods for Function indexI
levelplot-methods	Methods for function levelplot.
local2Solar	Local time, mean solar time and UTC time zone.
mergesolaR	Merge solaR objects
optimShd	Shadows calculation for a set of distances between elements of a PV grid connected plant.
prodEx	Productivity of a set of PV systems of a PV plant.
prodGCPV	Performance of a grid connected PV system.
prodPVPS	Performance of a PV pumping system
pumpCoef	Coefficients of centrifugal pumps.
readBD	Daily or intradaily values of global horizontal irradiation and ambient temperature from a local file or a data.frame.
readG0dm	Monthly mean values of global horizontal irradiation.
readSIAR	Meteorological data exported from the SIAR network

*A1\_calcSol*

5

shadeplot	Methods for Function shadeplot
solaR.theme	solaR theme
window	Methods for extracting a time window
writeSolar	Exporter of solaR results
xyplot-methods	Methods for function xyplot in Package 'solaR'

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro and Francisco Delgado López

---

*A1\_calcSol**Apparent movement of the Sun from the Earth*

---

**Description**

Compute the apparent movement of the Sun from the Earth with the functions [fSold](#) and [fSolI](#).

**Usage**

```
calcSol(lat, BTd, sample = 'hour', BTi,  
        EoT = TRUE, keep.night = TRUE,  
        method = 'michalsky')
```

**Arguments**

lat	Latitude (degrees) of the point of the Earth where calculations are needed. It is positive for locations above the Equator.
BTd	Daily time base, a POSIXct object which may be the result of <a href="#">fBTd</a> . It is not considered if BTi is provided.
sample	Increment of the intradaily sequence. It is a character string, containing one of "sec", "min", "hour". This can optionally be preceded by a (positive or negative) integer and a space, or followed by "s". It is used by <a href="#">seq.POSIXt</a> . It is not considered if BTi is provided.
BTi	Intradaily time base, a POSIXct object to be used by <a href="#">fSolI</a> . It may be the result of <a href="#">fBTi</a> .
EoT	logical, if TRUE the Equation of Time is used. Default is TRUE.
keep.night	logical, if TRUE (default) the night is included in the time series.
method	character, method for the sun geometry calculations to be chosen from 'cooper', 'spencer', 'michalsky' and 'strous'. See references for details.

**Value**

A [Sol-class](#) object.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

## References

- Cooper, P.I., Solar Energy, 12, 3 (1969). "The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills"
- Spencer, Search 2 (5), 172, <https://www.mail-archive.com/sundial@uni-koeln.de/msg01050.html>
- Strous: <https://www.aa.quae.nl/en/reken/zonpositie.html>
- Michalsky, J., 1988: The Astronomical Almanac's algorithm for approximate solar position (1950-2050), Solar Energy 40, 227-235
- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

## Examples

```
BTd = fBTd(mode = 'serie')

lat = 37.2
sol = calcSol(lat, BTd[100])
print(as.data.tableD(sol))

library(lattice)
xyplot(as.data.tableI(sol))

solStrous = calcSol(lat, BTd[100], method = 'strous')
print(as.data.tableD(solStrous))

solSpencer = calcSol(lat, BTd[100], method = 'spencer')
print(as.data.tableD(solSpencer))

solCooper = calcSol(lat, BTd[100], method = 'cooper')
print(as.data.tableD(solCooper))
```

---

A2\_calcG0

---

Irradiation and irradiance on the horizontal plane.

---

## Description

This function obtains the global, diffuse and direct irradiation and irradiance on the horizontal plane from the values of *daily* and *intradaily* global irradiation on the horizontal plane. It makes use of the functions [calcSol](#), [fCompD](#), [fCompI](#), [fBTd](#) and [readBDd](#) (or equivalent).

Besides, if information about maximum and minimum temperatures values are available it obtains a series of temperature values with [fTemp](#).

## Usage

```
calcG0(lat, modeRad = 'prom', dataRad,
       sample = 'hour', keep.night = TRUE,
       sunGeometry = 'michalsky',
       corr, f, ...)
```

**Arguments**

lat	numeric, latitude (degrees) of the point of the Earth where calculations are needed. It is positive for locations above the Equator.
modeRad	<p>A character string, describes the kind of source data of the global irradiation and ambient temperature.</p> <p>It can be modeRad = 'prom' for monthly mean calculations. With this option, a set of 12 values inside dataRad must be provided, as defined in <a href="#">readG0dm</a>.</p> <p>modeRad = 'aguiar' uses a set of 12 monthly average values (provided with dataRad) and produces a synthetic daily irradiation time series following the procedure by Aguiar et al. (see reference below).</p> <p>If modeRad = 'bd' the information of <i>daily</i> irradiation is read from a file, a data.table defined by dataRad, a zoo or a Meteo object. (See <a href="#">readBDd</a>, <a href="#">dt2Meteo</a> and <a href="#">zoo2Meteo</a> for details).</p> <p>If modeRad = 'bdI' the information of <i>intradaily</i> irradiation is read from a file, a data.table defined by dataRad, a zoo or a Meteo object. (See <a href="#">readBDi</a>, <a href="#">dt2Meteo</a> and <a href="#">zoo2Meteo</a> for details).</p>
dataRad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• If modeRad = 'prom' or modeRad = 'aguiar', a numeric with 12 values or a named list whose components will be processed with <a href="#">readG0dm</a>.</li> <li>• If modeRad = 'bd' a character (name of the file to be read with <a href="#">readBDd</a>), a data.table (to be processed with <a href="#">dt2Meteo</a>), a zoo (to be processed with <a href="#">zoo2Meteo</a>), a Meteo object, or a list as defined by <a href="#">readBDd</a>, <a href="#">dt2Meteo</a> or <a href="#">zoo2Meteo</a>. The resulting object will include a column named Ta, with information about ambient temperature.</li> <li>• If modeRad = 'bdI' a character (name of the file to be read with <a href="#">readBDi</a>), a data.table (to be processed with <a href="#">dt2Meteo</a>), a zoo (to be processed with <a href="#">zoo2Meteo</a>), a Meteo object, or a list as defined by <a href="#">readBDi</a>, <a href="#">dt2Meteo</a> or <a href="#">zoo2Meteo</a>. The resulting object will include a column named Ta, with information about ambient temperature.</li> </ul>
sample	character, containing one of "sec", "min", "hour". This can optionally be preceded by a (positive or negative) integer and a space, or followed by "s" (used by <a href="#">seq.POSIXt</a> ). It is not used when modeRad = "bdI".
keep.night	logical. When it is TRUE (default) the time series includes the night.
sunGeometry	character, method for the sun geometry calculations. See <a href="#">calcSol</a> , <a href="#">fSolD</a> and <a href="#">fSolI</a> .
corr	<p>A character, the correlation between the fraction of diffuse irradiation and the clearness index to be used.</p> <p>With this version several options are available, as described in <a href="#">corrFdKt</a>. For example, the <a href="#">FdKtPage</a> is selected with corr = 'Page' while the <a href="#">FdKtCPR</a> with corr = 'CPR'.</p> <p>If corr = 'user' the use of a correlation defined by a function f is possible.</p> <p>If corr = 'none' the object defined by dataRad should include information about global, diffuse and direct daily irradiation with columns named G0d, D0d and B0d, respectively (or G0, D0 and B0 if modeRad = 'bdI'). If corr is missing, then it is internally set to CPR when modeRad = 'bd', to Page when modeRad = 'prom' and to BRL when modeRad = 'bdI'.</p>
f	A function defining a correlation between the fraction of diffuse irradiation and the clearness index. It is only necessary when corr = 'user'
...	Additional arguments for <a href="#">fCompD</a> or <a href="#">fCompI</a>

**Value**

A G0 object.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**References**

- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09
- Aguiar, Collares-Pereira and Conde, "Simple procedure for generating sequences of daily radiation values using a library of Markov transition matrices", Solar Energy, Volume 40, Issue 3, 1988, Pages 269–279

**See Also**

[calcSol](#), [fCompD](#), [fCompI](#), [readG0dm](#), [readBDd](#), [readBDi](#), [dt2Meteo](#), [corrFdKt](#).

**Examples**

```
G0dm = c(2.766, 3.491, 4.494, 5.912, 6.989, 7.742, 7.919, 7.027, 5.369, 3.562, 2.814, 2.179)*1000;
Ta = c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2, 28.4, 29.9, 24.3, 18.2, 17.2,
      15.2)

g0 <- calcG0(lat = 37.2, modeRad = 'prom', dataRad = list(G0dm = G0dm, Ta = Ta))
print(g0)
xyplot(g0)

## Aguiar et al.

g0 <- calcG0(lat = 37.2, modeRad = 'aguiar', dataRad = G0dm)
print(g0)
xyplot(g0)

##Now the G0I component of g0 is used as
##the bdi argument to calcG0 in order to
##test the intradaily correlations of fd-kt

BDi = as.data.tableI(g0)
BDi$Ta = 25 ##Information about temperature must be contained in BDi

g02 <- calcG0(lat = 37.2,
              modeRad = 'bdi',
              dataRad = list(lat = 37.2, file = BDi),
              corr = 'none')

print(g02)

g03 <- calcG0(lat = 37.2,
              modeRad = 'bdi',
              dataRad = list(lat = 37.2, file = BDi),
              corr = 'BRL')

print(g03)
```

*A3\_calcGef*

9

```
xyplot(Fd ~ Kt, data = g03, pch = 19, alpha = 0.3)
```

---

*A3\_calcGef**Irradiation and irradiance on the generator plane.*

---

**Description**

This function obtains the global, diffuse and direct irradiation and irradiance on the generator plane from the values of *daily* or *intradaily* global irradiation on the horizontal plane. It makes use of the functions [calcG0](#), [fTheta](#), [fInclin](#). Besides, it can calculate the shadows effect with the [calcShd](#) function.

**Usage**

```
calcGef(lat,  
        modeTrk = 'fixed',  
        modeRad = 'prom',  
        dataRad,  
        sample = 'hour',  
        keep.night = TRUE,  
        sunGeometry = 'michalsky',  
        corr, f,  
        betaLim = 90, beta = abs(lat)-10, alpha = 0,  
        iS = 2, alb = 0.2, horizBright = TRUE, HCPV = FALSE,  
        modeShd = '',  
        struct = list(),  
        distances = data.table(),  
        ...)
```

**Arguments**

lat	numeric, latitude (degrees) of the point of the Earth where calculations are needed. It is positive for locations above the Equator.
modeTrk	character, to be chosen from 'fixed', 'two' or 'horiz'. When modeTrk = 'fixed' the surface is fixed (inclination and azimuth angles are constant). The performance of a two-axis tracker is calculated with modeTrk = 'two', and modeTrk = 'horiz' is the option for an horizontal N-S tracker. Its default value is modeTrk = 'fixed'
modeRad, dataRad	Information about the source data of the global irradiation. See <a href="#">calcG0</a> for details.
sample, keep.night	See <a href="#">calcSol</a> for details.
sunGeometry	character, method for the sun geometry calculations. See <a href="#">calcSol</a> , <a href="#">fSolD</a> and <a href="#">fSolI</a> .
corr, f	See <a href="#">calcG0</a> for details.
beta	numeric, inclination angle of the surface (degrees). It is only needed when modeTrk = 'fixed'.



betaLim	numeric, maximum value of the inclination angle for a tracking surface. Its default value is 90 (no limitation))
alpha	numeric, azimuth angle of the surface (degrees). It is measured from the south ( $\alpha = 0$ ), and it is negative to the east and positive to the west. It is only needed when modeTrk = 'fixed'. Its default value is $\alpha = 0$
iS	integer, degree of dirtiness. Its value must be included in the set (1,2,3,4). iS = 1 corresponds to a clean surface while iS = 4 is the selection for a dirty surface. Its default value is 2.
alb	numeric, albedo reflection coefficient. Its default value is 0.2
modeShd, struct, distances	See <a href="#">calcShd</a> for details.
horizBright	logical, if TRUE, the horizon brightness correction proposed by Reind et al. is used.
HCPV	logical, if TRUE the diffuse and albedo components of the <i>effective</i> irradiance are set to zero. HCPV is the acronym of High Concentration PV system.
...	Additional arguments for <a href="#">calcSol</a> and <a href="#">calcG0</a>

**Value**

A Gef object.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**References**

- Hay, J. E. and McKay, D. C.: Estimating Solar Irradiance on Inclined Surfaces: A Review and Assessment of Methodologies. Int. J. Solar Energy, (3):pp. 203, 1985.
- Martin, N. and Ruiz, J.M.: Calculation of the PV modules angular losses under field conditions by means of an analytical model. Solar Energy Materials & Solar Cells, 70:25–38, 2001.
- D. T. Reindl and W. A. Beckman and J. A. Duffie: Evaluation of hourly tilted surface radiation models, Solar Energy, 45:9-17, 1990.
- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

**See Also**

[calcG0](#), [fTheta](#), [fInclin](#), [calcShd](#).

**Examples**

```
lat <- 37.2

###12 Average days.

G0dm = c(2.766, 3.491, 4.494, 5.912, 6.989, 7.742, 7.919, 7.027, 5.369,
          3.562, 2.814, 2.179)*1000;
Ta = c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2, 28.4, 29.9, 24.3, 18.2, 17.2,
        15.2)
```

```
##Fixed surface, default values of inclination and azimuth.

gef <- calcGef(lat = lat, modeRad = 'prom', dataRad = list(G0dm = G0dm, Ta = Ta))
print(gef)
xyplot(gef)

##Two-axis surface, no limitation angle.

gef2 <- calcGef(lat = lat, modeRad = 'prom',
                dataRad = list(G0dm = G0dm, Ta = Ta),
                modeTrk = 'two')
print(gef2)
xyplot(gef2)

struct = list(W = 23.11, L = 9.8, Nrow = 2, Ncol = 8)
distances = data.table(Lew = 40, Lns = 30, H = 0)

gefShd <- calcGef(lat = lat, modeRad = 'prom',
                  dataRad = list(G0dm = G0dm, Ta = Ta),
                  modeTrk = 'two',
                  modeShd = c('area', 'prom'),
                  struct = struct, distances = distances)
print(gefShd)
```

---

A4\_prodGCPV*Performance of a grid connected PV system.*

---

### Description

Compute every step from solar angles to effective irradiance to calculate the performance of a grid connected PV system.

### Usage

```
prodGCPV(lat,
         modeTrk = 'fixed',
         modeRad = 'prom',
         dataRad,
         sample = 'hour',
         keep.night = TRUE,
         sunGeometry = 'michalsky',
         corr, f,
         betaLim = 90, beta = abs(lat)-10, alpha = 0,
         iS = 2, alb = 0.2, horizBright = TRUE, HCPV = FALSE,
         module = list(),
         generator = list(),
         inverter = list(),
         effSys = list(),
         modeShd = '',
         struct = list(),
         distances = data.table(),
         ...)
```

**Arguments**

lat	numeric, latitude (degrees) of the point of the Earth where calculations are needed. It is positive for locations above the Equator.
modeTrk	A character string, describing the tracking method of the generator. See <a href="#">calcGef</a> for details.
modeRad, dataRad	Information about the source data of the global irradiation. See <a href="#">calcG0</a> for details.
sample, keep.night	See <a href="#">calcSol</a> for details.
sunGeometry	character, method for the sun geometry calculations. See <a href="#">calcSol</a> , <a href="#">fSolD</a> and <a href="#">fSolI</a> .
corr, f	See <a href="#">calcG0</a> for details.
betaLim, beta, alpha, iS, alb, horizBright, HCPV	See <a href="#">calcGef</a> for details.
module	list of numeric values with information about the PV module, Vocn open-circuit voltage of the module at Standard Test Conditions (default value 57.6 volts.) Iscn short circuit current of the module at Standard Test Conditions (default value 4.7 amperes.) Vmn maximum power point voltage of the module at Standard Test Conditions (default value 46.08 amperes.) Imn Maximum power current of the module at Standard Test Conditions (default value 4.35 amperes.) Ncs number of cells in series inside the module (default value 96) Ncp number of cells in parallel inside the module (default value 1) CoefVT coefficient of decrement of voltage of each cell with the temperature (default value 0.0023 volts per celsius degree) TONC nominal operational cell temperature, celsius degree (default value 47).
generator	list of numeric values with information about the generator, Nms number of modules in series (default value 12) Nmp number of modules in parallel (default value 11)
inverter	list of numeric values with information about the DC/AC inverter, Ki vector of three values, coefficients of the efficiency curve of the inverter (default c(0.01, 0.025, 0.05)), or a matrix of nine values (3x3) if there is dependence with the voltage (see references). Pinv nominal inverter power (W) (default value 25000 watts.) Vmin, Vmax minimum and maximum voltages of the MPP range of the inverter (default values 420 and 750 volts) Gumb minimum irradiance for the inverter to start (W/m <sup>2</sup> ) (default value 20 W/m <sup>2</sup> )
effSys	list of numeric values with information about the system losses, ModQual average tolerance of the set of modules (%), default value is 3 ModDisp module parameter dispersion losses (%), default value is 2 OhmDC Joule losses due to the DC wiring (%), default value is 1.5 OhmAC Joule losses due to the AC wiring (%), default value is 1.5

*A4\_prodGCPV*

13

MPP average error of the MPP algorithm of the inverter (%), default value is 1  
TrafoMT losses due to the MT transformer (%), default value is 1  
Disp losses due to stops of the system (%), default value is 0.5  
modeShd, struct, distances  
See [calcShd](#) for details.  
... Additional arguments for [calcG0](#) or [calcGef](#)

**Details**

The calculation of the irradiance on the horizontal plane is carried out with the function [calcG0](#). The transformation to the inclined surface makes use of the [fTheta](#) and [fInclin](#) functions inside the [calcGef](#) function. The shadows are computed with [calcShd](#) while the performance of the PV system is simulated with [fProd](#).

**Value**

A ProdGCPV object.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

**References**

- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, [doi:10.18637/jss.v050.i09](https://doi.org/10.18637/jss.v050.i09)

**See Also**

[fProd](#), [calcGef](#), [calcShd](#), [calcG0](#), [compare](#), [compareLosses](#), [mergesolaR](#)

**Examples**

```
library(lattice)
library(latticeExtra)

lat <- 37.2;

G0dm <- c(2766, 3491, 4494, 5912, 6989, 7742, 7919, 7027, 5369, 3562,
         2814, 2179)

Ta <- c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2, 28.4, 29.9, 24.3, 18.2,
       17.2, 15.2)

prom <- list(G0dm = G0dm, Ta = Ta)

###Comparison of different tracker methods
prodFixed <- prodGCPV(lat = lat, dataRad = prom,
                     keep.night = FALSE)

prod2x <- prodGCPV(lat = lat, dataRad = prom,
                  modeTrk = 'two',
                  keep.night = FALSE)
```

```

prodHoriz <- prodGCPV(lat = lat,dataRad = prom,
                     modeTrk = 'horiz',
                     keep.night = FALSE)

##Comparison of yearly productivities
compare(prodFixed, prod2x, prodHoriz)
compareLosses(prodFixed, prod2x, prodHoriz)

##Comparison of power time series
ComparePac <- data.table(Dates = indexI(prod2x),
                        two = as.data.tableI(prod2x)$Pac,
                        horiz = as.data.tableI(prodHoriz)$Pac,
                        fixed = as.data.tableI(prodFixed)$Pac)

AngSol <- as.data.tableI(as(prodFixed, 'Sol'))

ComparePac <- merge(AngSol, ComparePac, by = 'Dates')

ComparePac[, Month := as.factor(month(Dates))]]

xyplot(two + horiz + fixed ~ AzS|Month, data = ComparePac,
       type = 'l',
       auto.key = list(space = 'right',
                       lines = TRUE,
                       points = FALSE),
       ylab = 'Pac')

###Shadows
#Two-axis trackers
struct2x <- list(W = 23.11, L = 9.8, Nrow = 2, Ncol = 8)
dist2x <- data.table(Lew = 40, Lns = 30, H = 0)
prod2xShd <- prodGCPV(lat = lat, dataRad = prom,
                    modeTrk = 'two',
                    modeShd = 'area',
                    struct = struct2x,
                    distances = dist2x)

print(prod2xShd)

#Horizontal N-S tracker
structHoriz <- list(L = 4.83);
distHoriz <- data.table(Lew = structHoriz$L*4);

#Without Backtracking
prodHorizShd <- prodGCPV(lat = lat, dataRad = prom,
                        sample = '10 min',
                        modeTrk = 'horiz',
                        modeShd = 'area', betaLim = 60,
                        distances = distHoriz,
                        struct = structHoriz)

print(prodHorizShd)

xyplot(r2d(Beta)~r2d(w),
       data = prodHorizShd,
       type = 'l',

```

```
main = 'Inclination angle of a horizontal axis tracker',
xlab = expression(omega (degrees)),
ylab = expression(beta (degrees)))

#With Backtracking
prodHorizBT <- prodGCPV(lat = lat, dataRad = prom,
                      sample = '10 min',
                      modeTrk = 'horiz',
                      modeShd = 'bt', betaLim = 60,
                      distances = distHoriz,
                      struct = structHoriz)

print(prodHorizBT)

xyplot(r2d(Beta)~r2d(w),
      data = prodHorizBT,
      type = 'l',
      main = 'Inclination angle of a horizontal axis tracker\n with backtracking',
      xlab = expression(omega (degrees)),
      ylab = expression(beta (degrees)))

compare(prodFixed, prod2x, prodHoriz, prod2xShd,
        prodHorizShd, prodHorizBT)

compareLosses(prodFixed, prod2x, prodHoriz, prod2xShd,
              prodHorizShd, prodHorizBT)

compareYf2 <- mergesolaR(prodFixed, prod2x, prodHoriz, prod2xShd,
                        prodHorizShd, prodHorizBT)

xyplot(prodFixed + prod2x +prodHoriz + prod2xShd + prodHorizShd + prodHorizBT ~ Dates,
      data = compareYf2, type = 'l', ylab = 'kWh/kWp',
      main = 'Daily productivity',
      auto.key = list(space = 'right'))
```

**Description**

Compute every step from solar angles to effective irradiance to calculate the performance of a PV pumping system.

**Usage**

```
prodPVPS(lat,
         modeTrk = 'fixed',
         modeRad = 'prom',
         dataRad,
         sample = 'hour',
         keep.night = TRUE,
         sunGeometry = 'michalsky',
         corr, f,
```

```

betaLim = 90, beta = abs(lat)-10, alpha = 0,
iS = 2, alb = 0.2, horizBright = TRUE, HCPV = FALSE,
pump , H,
Pg, converter= list(),
effSys = list(),
...)

```

### Arguments

lat	numeric, latitude (degrees) of the point of the Earth where calculations are needed. It is positive for locations above the Equator.
modeTrk	A character string, describing the tracking method of the generator. See <a href="#">calcGef</a> for details.
modeRad, dataRad	Information about the source data of the global irradiation. See <a href="#">calcG0</a> for details.
sample, keep.night	See <a href="#">calcSol</a> for details.
sunGeometry	character, method for the sun geometry calculations. See <a href="#">calcSol</a> , <a href="#">fSolD</a> and <a href="#">fSolI</a> .
corr, f	See <a href="#">calcG0</a> for details.
betaLim, beta, alpha, iS, alb, horizBright, HCPV	See <a href="#">calcGef</a> for details.
pump	A list extracted from <a href="#">pumpCoef</a>
H	Total manometric head (m)
Pg	Nominal power of the PV generator (Wp)
converter	list containing the nominal power of the frequency converter, Pnom, and Ki, vector of three values, coefficients of the efficiency curve.
effSys	list of numeric values with information about the system losses, ModQual average tolerance of the set of modules (%), default value is 3 ModDisp module parameter dispersion losses (%), default value is 2 OhmDC Joule losses due to the DC wiring (%), default value is 1.5 OhmAC Joule losses due to the AC wiring (%), default value is 1.5
...	Additional arguments for <a href="#">calcSol</a> , <a href="#">calcG0</a> and <a href="#">calcGef</a> .

### Details

The calculation of the irradiance on the generator is carried out with the function [calcGef](#). The performance of the PV system is simulated with [fPump](#).

### Value

A [ProdPVPS](#) object.

### Author(s)

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

## References

- Abella, M. A., Lorenzo, E. y Chenlo, F.: PV water pumping systems based on standard frequency converters. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 11(3):179–191, 2003, ISSN 1099-159X.
- Perpiñán, O, *Energía Solar Fotovoltaica*, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", *Journal of Statistical Software*, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

## See Also

[NmgPVPS](#), [fPump](#), [pumpCoef](#)

---

*A6\_calcShd*

*Shadows on PV systems.*

---

## Description

Compute the irradiance and irradiation including shadows for two-axis and horizontal N-S axis trackers and fixed surfaces. It makes use of the function [fSombra](#) for the shadows factor calculation. It is used by the function [calcGef](#).

## Usage

```
calcShd(radEf,
        modeShd = '',
        struct = list(),
        distances = data.table())
```

## Arguments

<code>radEf</code>	A <a href="#">Gef</a> object. It may be the result of the <a href="#">calcGef</a> function.
<code>modeShd</code>	character, defines the type of shadow calculation. In this version of the package the effect of the shadow is calculated as a proportional reduction of the circumsolar diffuse and direct irradiances. This type of approach is selected with <code>modeShd = 'area'</code> . In future versions other approaches which relate the geometric shadow and the electrical connections of the PV generator will be available. If <code>radEf@modeTrk = 'horiz'</code> it is possible to calculate the effect of backtracking with <code>modeShd = 'bt'</code> . If <code>modeShd = c('area', 'bt')</code> the backtracking method will be carried out and therefore no shadows will appear. Finally, for two-axis trackers it is possible to select <code>modeShd = 'prom'</code> in order to calculate the effect of shadows on an average tracker (see <a href="#">fSombra6</a> ). The result will include three variables ( <code>Gef0</code> , <code>Def0</code> and <code>Bef0</code> ) with the irradiance/irradiation without shadows as a reference.
<code>struct</code>	list. When <code>radEf@modeTrk = 'fixed'</code> or <code>modeTrk = 'horiz'</code> only a component named <code>L</code> , which is the height (meters) of the tracker, is needed. For two-axis trackers ( <code>radEf@modeTrk = 'two'</code> ), an additional component named <code>W</code> , the width of the tracker, is required. Moreover, only when <code>radEf@modeTrk = 'two'</code> two components named <code>Nrow</code> and <code>Ncol</code> are included under this list. These components define, respectively, the number of rows and columns of the whole set of two-axis trackers in the PV plant.



distances      data.frame.

When `radEf@modeTrk = 'fixed'` it includes a component named `D` for the distance between fixed surfaces. An additional component named `H` can be included with the relative height between surfaces.

When `radEf@modeTrk = 'horiz'` it only includes a component named `Lew`, being the distance between horizontal NS trackers along the East-West direction.

When `radEf@modeTrk = 'two'` it includes a component named `Lns` being the distance between trackers along the North-South direction, a component named `Lew`, being the distance between trackers along the East-West direction and a (optional) component named `H` with the relative height between surfaces.

The distances, in meters, are defined between axis of the trackers.

### Value

A `Gef` object including three additional variables (`Gef0`, `Def0` and `Bef0`) in the slots `GefI`, `GefD`, `Gefdm` and `Gefy` with the irradiance/irradiation without shadows as a reference.

### Author(s)

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

### References

- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

### See Also

[calcG0](#), [fTheta](#), [fInclin](#), [calcShd](#).

---

A7\_optimShd

*Shadows calculation for a set of distances between elements of a PV grid connected plant.*

---

### Description

The optimum distance between trackers or static structures of a PV grid connected plant depends on two main factors: the ground requirement ratio (defined as the ratio of the total ground area to the generator PV array area), and the productivity of the system including shadow losses. Therefore, the optimum separation may be the one which achieves the highest productivity with the lowest ground requirement ratio.

However, this definition is not complete since the terrain characteristics and the costs of wiring or civil works could alter the decision. This function is a help for choosing this distance: it computes the productivity for a set of combinations of distances between the elements of the plant.

**Usage**

```
optimShd(lat,  
         modeTrk = 'fixed',  
         modeRad = 'prom',  
         dataRad,  
         sample = 'hour',  
         keep.night = TRUE,  
         sunGeometry = 'michalsky',  
         betaLim = 90, beta = abs(lat)-10, alpha = 0,  
         iS = 2, alb = 0.2, HCPV = FALSE,  
         module = list(),  
         generator = list(),  
         inverter = list(),  
         effSys = list(),  
         modeShd = '',  
         struct = list(),  
         distances = data.table(),  
         res = 2,  
         prog = TRUE)
```

**Arguments**

lat	numeric, latitude (degrees) of the point of the Earth where calculations are needed. It is positive for locations above the Equator.
modeTrk	character, to be chosen from 'fixed', 'two' or 'horiz'. When modeTrk = 'fixed' the surface is fixed (inclination and azimuth angles are constant). The performance of a two-axis tracker is calculated with modeTrk = 'two', and modeTrk = 'horiz' is the option for an horizontal N-S tracker. Its default value is modeTrk = 'fixed'
modeRad, dataRad	Information about the source data of the global irradiation. See <a href="#">calcG0</a> for details. For this function the option modeRad = 'bdI' is not supported.
sample	character, containing one of "sec", "min", "hour". This can optionally be preceded by a (positive or negative) integer and a space, or followed by "s" (used by <a href="#">seq.POSIXt</a> )
keep.night	logical When it is TRUE (default) the time series includes the night.
sunGeometry	character, method for the sun geometry calculations. See <a href="#">calcSol</a> , <a href="#">fSolD</a> and <a href="#">fSolI</a> .
betaLim, beta, alpha, iS, alb, HCPV	See <a href="#">calcGef</a> for details.
module	list of numeric values with information about the PV module, Vocn open-circuit voltage of the module at Standard Test Conditions (default value 57.6 volts.) Iscn short circuit current of the module at Standard Test Conditions (default value 4.7 amperes.) Vmn maximum power point voltage of the module at Standard Test Conditions (default value 46.08 amperes.) Imn Maximum power current of the module at Standard Test Conditions (default value 4.35 amperes.)

	Ncs number of cells in series inside the module (default value 96)
	Ncp number of cells in parallel inside the module (default value 1)
	CoefVT coefficient of decrement of voltage of each cell with the temperature (default value 0.0023 volts per celsius degree)
	TONC nominal operational cell temperature, celsius degree (default value 47).
generator	list of numeric values with information about the generator,
	Nms number of modules in series (default value 12)
	Nmp number of modules in parallel (default value 11)
inverter	list of numeric values with information about the DC/AC inverter,
	Ki vector of three values, coefficients of the efficiency curve of the inverter (default c(0.01, 0.025, 0.05)), or a matrix of nine values (3x3) if there is dependence with the voltage (see references).
	Pinv nominal inverter power (W) (default value 25000 watts.)
	Vmin, Vmax minimum and maximum voltages of the MPP range of the inverter (default values 420 and 750 volts)
	Gumb minimum irradiance for the inverter to start (W/m <sup>2</sup> ) (default value 20 W/m <sup>2</sup> )
effSys	list of numeric values with information about the system losses,
	ModQual average tolerance of the set of modules (%), default value is 3
	ModDisp module parameter dispersion losses (%), default value is 2
	OhmDC Joule losses due to the DC wiring (%), default value is 1.5
	OhmAC Joule losses due to the AC wiring (%), default value is 1.5
	MPP average error of the MPP algorithm of the inverter (%), default value is 1
	TrafoMT losses due to the MT transformer (%), default value is 1
	Disp losses due to stops of the system (%), default value is 0.5
modeShd	character, defines the type of shadow calculation. In this version of the package the effect of the shadow is calculated as a proportional reduction of the circumsolar diffuse and direct irradiances. This type of approach is selected with modeShd = 'area'. In future versions other approaches which relate the geometric shadow and the electrical connections of the PV generator will be available. If modeTrk = 'horiz' it is possible to calculate the effect of backtracking with modeShd = 'bt'. If modeShd = c('area', 'bt') the backtracking method will be carried out and therefore no shadows will appear. Finally, for two-axis trackers it is possible to select modeShd = 'prom' in order to calculate the effect of shadows on an average tracker (see <a href="#">fSombra6</a> ). The result will include three variables (Gef0, Def0 and Bef0) with the irradiance/irradiation without shadows as a reference.
struct	list. When modeTrk = 'fixed' or modeTrk = 'horiz' only a component named L, which is the height (meters) of the tracker, is needed. For two-axis trackers (modeTrk = 'two'), an additional component named W, the width of the tracker, is required. Moreover, two components named Nrow and Ncol are included under this list. These components define, respectively, the number of rows and columns of the whole set of trackers in the PV plant.
distances	list, whose three components are vectors of length 2: Lew (only when modeTrk = 'horiz' or modeTrk = 'two'), minimum and maximum distance (meters) between horizontal NS and two-axis trackers along the East-West direction.

**A7\_optimShd**

21

	Lns (only when modeTrk = 'two'), minimum and maximum distance (meters) between two-axis trackers along the North-South direction.
	D (only when modeTrk = 'fixed'), minimum and maximum distance (meters) between fixed surfaces.
	These distances, in meters, are defined between the axis of the trackers.
res	numeric; optimShd constructs a sequence from the minimum to the maximum value of distances, with res as the increment, in meters, of the sequence.
prog	logical, show a progress bar; default value is TRUE

**Details**

optimShd calculates the energy produced for every combination of distances as defined by distances and res. The result of this function is a [Shade-class](#) object. A method of shadeplot for this class is defined ([shadeplot-methods](#)), and it shows the graphical relation between the productivity and the distance between trackers or fixed surfaces.

**Value**

A [Shade](#) object.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

**References**

- Perpiñán, O.: Grandes Centrales Fotovoltaicas: producción, seguimiento y ciclo de vida. PhD Thesis, UNED, 2008. [https://www.researchgate.net/publication/39419806\\_Grandes\\_Centrales\\_Fotovoltaicas\\_Produccion\\_Seguimiento\\_y\\_Ciclo\\_de\\_Vida](https://www.researchgate.net/publication/39419806_Grandes_Centrales_Fotovoltaicas_Produccion_Seguimiento_y_Ciclo_de_Vida).
- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

**See Also**

[prodGCPV](#), [calcShd](#)

**Examples**

```
library(lattice)
library(latticeExtra)

lat = 37.2;
G0dm = c(2766, 3491, 4494, 5912, 6989, 7742, 7919, 7027, 5369, 3562, 2814,
2179)
Ta = c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2, 28.4, 29.9, 24.3, 18.2, 17.2, 15.2)
prom = list(G0dm = G0dm, Ta = Ta)

###Two-axis trackers
struct2x = list(W = 23.11, L = 9.8, Nrow = 2, Ncol = 3)
dist2x = list(Lew = c(30, 45), Lns = c(20, 40))

ShdM2x <- optimShd(lat = lat, dataRad = prom, modeTrk = 'two',
```

```

modeShd = c('area','prom'),
distances = dist2x, struct = struct2x,
res = 5)

shadeplot(ShdM2x)

pLew = xyplot(Yf~GRR,data = ShdM2x,groups = factor(Lew),type = c('l','g'),
  main = 'Productivity for each Lew value')
pLew+glayer(panel.text(x[1], y[1], group.value))

pLns = xyplot(Yf~GRR,data = ShdM2x,groups = factor(Lns),type = c('l','g'),
  main = 'Productivity for each Lns value')
pLns+glayer(panel.text(x[1], y[1], group.value))

## 1-axis tracker with Backtracking
structHoriz = list(L = 4.83);
distHoriz = list(Lew = structHoriz$L * c(2,5));

Shd12HorizBT <- optimShd(lat = lat, dataRad = prom,
  modeTrk = 'horiz',
  betaLim = 60,
  distances = distHoriz, res = 2,
  struct = structHoriz,
  modeShd = 'bt')

shadeplot(Shd12HorizBT)

xyplot(diff(Yf)~GRR[-1],data = Shd12HorizBT,type = c('l','g'))

###Fixed system
structFixed = list(L = 5);
distFixed = list(D = structFixed$L*c(1,3));
Shd12Fixed <- optimShd(lat = lat, dataRad = prom,
  modeTrk = 'fixed',
  distances = distFixed, res = 2,
  struct = structFixed,
  modeShd = 'area')
shadeplot(Shd12Fixed)

```

A8\_Meteo2Meteo

*Transformation of intradaily meteorological data into daily and daily into monthly data.*

## Description

Functions for the class Meteo that transforms an intradaily Meteo object into a daily and a daily into a monthly.

## Usage

```
Meteoi2Meteod(G0i)
```

```
Meteod2Meteom(G0d)
```

Arguments

- G0i

A Meteo object with intradaily data
- G0d

A Meteo object with daily data

Value

A Meteo object

See Also

[readBDd](#), [readG0dm](#), [readSIAR](#)

Examples

```
G0dm = c(2.766,3.491,4.494,5.912,6.989,7.742,7.919,
        7.027,5.369,3.562,2.814,2.179) * 1000;
Ta = c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2,
      28.4, 29.9, 24.3, 18.2, 17.2, 15.2)
prom = list(G0dm = G0dm, Ta = Ta)

g0 = calcG0(lat = 37.2, dataRad = prom, modeRad = 'aguiar')
G0i = as.data.tableI(g0)
G0i = dt2Meteo(G0i, lat = 37.2)
G0i

G0d = MeteoI2Meteod(G0i)
G0d

G0m = Meteod2Meteom(G0d)
G0m
```

---

A8_readBD	<i>Daily or intradaily values of global horizontal irradiation and ambient temperature from a local file or a data.frame.</i>
-----------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

---

Description

Constructor for the class Meteo with values of *daily* or *intradaily* values of global horizontal irradiation and ambient temperature from a local file or a data.frame.

Usage

```
readBDd(file, lat,
        format = '%d/%m/%Y',
        header = TRUE, fill = TRUE, dec = '.', sep = ';',
        dates.col = 'Dates', ta.col = 'Ta',
        g0.col = 'G0', keep.cols = FALSE, ...)

readBDi(file, lat,
        format = '%d/%m/%Y %H:%M:%S',
        header = TRUE, fill = TRUE, dec = '.',
```

```

sep = ';', dates.col = 'Dates', times.col,
ta.col = 'Ta', g0.col = 'G0', keep.cols = FALSE, ...)

dt2Meteo(file, lat, source = '', type)

zoo2Meteo(file, lat, source = '')

```

### Arguments

file	<p>The name of the file (readBDd and readBDi), data.frame (or data.table) (dt2Meteo) or zoo (zoo2Meteo) which the data are to be read from. It should contain a column G0d with <i>daily</i> (readBDd) or G0 with <i>intradaily</i> (readBDi) values of global horizontal irradiation (Wh/m<sup>2</sup>). It should also include a column named Ta with values of ambient temperature. However, if the object is only a vector with irradiation values, it will be converted to a data.table with two columns named G0 and Ta (filled with constant values)</p> <p>If the Meteo object is to be used with <a href="#">calcG0</a> (or fCompD, fCompI) and the option corr = 'none', the file/data.frame <b>must</b> include three columns named G0, B0 and D0 with values of global, direct and diffuse irradiation on the horizontal plane.</p> <p>Only for daily data: if the ambient temperature is not available, the file should include two columns named TempMax and TempMin with daily values of maximum and minimum ambient temperature, respectively (see <a href="#">fTemp</a> for details).</p>
header, fill, dec, sep	See <a href="#">fread</a>
format	character string with the format of the dates or time index. (Default for daily time bases: %d/%m/%Y). (Default for intradaily time bases: %d/%m/%Y %H:%M:%S)
lat	numeric, latitude (degrees) of the location.
dates.col	character string with the name of the column which contains the dates of the time series.
times.col	character string with the name of the column which contains the time index of the series in case it is in a different column than the dates.
source	character string with information about the source of the values. (Default: the name of the file).
ta.col, g0.col	character, the name of the columns with the information of ambient temperature and radiation in the provided file
keep.cols	If keep.cols=FALSE (default value), the Meteo object does not include the columns that are not important for the rest of operations
...	Arguments for <a href="#">fread</a>
type	character, type of the data in dt2Meteo. To choose between 'prom', 'bd' and 'bdI'. If it is not provided, the function dt2Meteo calculates the type.

### Value

A Meteo object.

### Author(s)

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**See Also**

[fread](#), [readG0dm](#).

**Examples**

```
data(helios)
names(helios) = c('Dates', 'G0d', 'TempMax', 'TempMin')

bd = dt2Meteo(helios, lat = 41, source = 'helios-IES', type = 'bd')

getData(bd)

xyplot(bd)
```

---

A8_readG0dm	<i>Monthly mean values of global horizontal irradiation.</i>
-------------	--------------------------------------------------------------

---

**Description**

Constructor for the class Meteo with 12 values of monthly means of irradiation.

**Usage**

```
readG0dm(G0dm, Ta = 25, lat = 0,
  year= as.POSIXlt(Sys.Date())$year+1900,
  promDays = c(17,14,15,15,15,10,18,18,18,19,18,13),
  source = '')
```

**Arguments**

G0dm	numeric, 12 values of monthly means of daily global horizontal irradiation (Wh/m²).
Ta	numeric, 12 values of monthly means of ambient temperature (degrees Celsius).
lat	numeric, latitude (degrees) of the location.
year	numeric (Default: current year).
promDays	numeric, set of the average days for each month.
source	character string with information about the source of the values.

**Value**

Meteo object

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**See Also**

[readBDd](#)



**Examples**

```
G0dm =
  c(2.766,3.491,4.494,5.912,6.989,7.742,7.919,7.027,5.369,3.562,2.814,2.179) * 1000;
Ta = c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2, 28.4, 29.9, 24.3, 18.2, 17.2, 15.2)
BD <- readG0dm(G0dm = G0dm, Ta = Ta, lat = 37.2)
print(BD)
getData(BD)
xyplot(BD)
```

A8\_readSIAR

*Meteorological data from the SIAR network.***Description**

Download, interpolate and transform meteorological data from the SIAR network.

**Usage**

```
readSIAR(Lon = 0, Lat = 0,
         inicio = paste(year(Sys.Date())-1, '01-01', sep = '-'),
         final = paste(year(Sys.Date())-1, '12-31', sep = '-'),
         tipo = 'Mensuales', n_est = 3)
```

**Arguments**

Lon	numeric, longitude (degrees) of the location.
Lat	numeric, latitude (degrees) of the location.
inicio	character or Date, first day of the records.
final	character or Date, last day of the records.
tipo	character, type of the records. To choose between Mensuales, Semanales, Diarios, Horarios.
n_est	integer, select that number of stations closest to the given point and then perform an IDW (Inverse Distance Weighting) interpolation with these data.

**Value**

A Meteo object

**Author(s)**

Francisco Delgado López

**See Also**

[readG0dm](#), [readBDd](#)

**Examples**

```
library(httr2)
library(jsonlite)

SIAR = readSIAR(Lon = -3.603, Lat = 40.033,
## Aranjuez, Community of Madrid, Spain
              inicio = '2023-01-01',
              final = '2023-05-01',
              tipo = 'Mensuales', n_est = 3)

SIAR
```

---

*B1\_Meteo-class**Class "Meteo"*

---

**Description**

A class for meteorological data.

**Objects from the Class**

Objects can be created by the family of [readBDd](#) functions.

**Slots**

**latm**: Latitude (degrees) of the meteorological station or source of the data.

**data**: A `data.table` object with the time series of daily irradiation ( $G_0$ , Wh/m<sup>2</sup>), the ambient temperature ( $T_a$ ) or the maximum and minimum ambient temperature (`TempMax` and `TempMin`).

**source**: A character with a short description of the source of the data.

**type**: A character, `prom`, `bd` or `bdI` depending on the constructor.

**Methods**

**getData** signature(object = "Meteo"): extracts the data slot as a `data.table` object.

**getG0** signature(object = "Meteo"): extracts the irradiation as vector.

**getLat** signature(object = "Meteo"): extracts the latitude value.

**indexD** signature(object = "Meteo"): extracts the index of the data slot.

**xyplot** signature(x = "formula", data = "Meteo"): plot the content of the object according to the formula argument.

**xyplot** signature(x = "Meteo", data = "missing"): plot the data slot using the `xyplot` method for zoo objects.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**See Also**

[readBDd](#), [readBDi](#), [zoo2Meteo](#), [dt2Meteo](#), [readG0dm](#),

B2\_Sol-class

*Class "Sol": Apparent movement of the Sun from the Earth***Description**

A class which describe the apparent movement of the Sun from the Earth.

**Objects from the Class**

Objects can be created by `calcSol`.

**Slots**

`lat`: numeric, latitude (degrees) as defined in the call to `calcSol`.

`sold`: Object of class "data.table" created by `fSold`.

`solI`: Object of class "data.table" created by `fSolI`.

`method`: character, method for the sun geometry calculations.

`sample`: difftime, increment of the intradaily sequence.

**Methods**

**as.data.tableD** signature(object = "Sol"): conversion to a data.table with daily values.

**as.data.tableI** signature(object = "Sol"): conversion to a data.table with intradaily values.

**getLat** signature(object = "Sol"): latitude (degrees) as defined in the call to `calcSol`.

**indexD** signature(object = "Sol"): index of the sold slot.

**indexI** signature(object = "Sol"): index of the solI object.

**xyplot** signature(x = "formula", data = "Sol"): displays the contents of a Sol object with the xyplot method for formulas.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**References**

- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

**See Also**

`G0`, `Gef`.

B3\_G0-class

*Class "G0": irradiation and irradiance on the horizontal plane.***Description**

This class contains the global, diffuse and direct irradiation and irradiance on the horizontal plane, and ambient temperature.

**Objects from the Class**

Objects can be created by the function `calcG0`.

**Slots**

**G0D:** Object of class `data.table` created by `fCompD`. It includes daily values of:

**Fd:** numeric, the diffuse fraction

**Ktd:** numeric, the clearness index

**G0d:** numeric, the global irradiation on a horizontal surface (Wh/m<sup>2</sup>)

**D0d:** numeric, the diffuse irradiation on a horizontal surface (Wh/m<sup>2</sup>)

**B0d:** numeric, the direct irradiation on a horizontal surface (Wh/m<sup>2</sup>)

**G0I:** Object of class `data.table` created by `fCompI`. It includes values of:

**kt:** numeric, clearness index

**G0:** numeric, global irradiance on a horizontal surface, (W/m<sup>2</sup>)

**D0:** numeric, diffuse irradiance on a horizontal surface, (W/m<sup>2</sup>)

**B0:** numeric, direct irradiance on a horizontal surface, (W/m<sup>2</sup>)

**G0dm:** Object of class `data.table` with monthly mean values of daily irradiation.

**G0y:** Object of class `data.table` with yearly sums of irradiation.

**Ta:** Object of class `data.table` with intradaily ambient temperature values.

Besides, this class contains the slots from the `Sol` and `Meteo` classes.

**Extends**

Class "`Meteo`", directly. Class "`Sol`", directly.

**Methods**

**as.data.tableD** signature(object = "G0"): conversion to a `data.table` with daily values.

**as.data.tableI** signature(object = "G0"): conversion to a `data.table` with intradaily values.

**as.data.tableM** signature(object = "G0"): conversion to a `data.table` with monthly values.

**as.data.tableY** signature(object = "G0"): conversion to a `data.frame` with yearly values.

**indexD** signature(object = "G0"): index of the `sold` slot.

**indexI** signature(object = "G0"): index of the `solI` slot.

**getLat** signature(object = "G0"): latitude of the inherited `Sol` object.

**xyplot** signature(x = "G0", data = "missing"): display the time series of daily values of irradiation.

**xyplot** signature(x = "formula", data = "G0"): displays the contents of a `G0` object with the `xyplot` method for formulas.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**References**

- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

**See Also**

[Sol](#), [Gef](#).

---

B4\_Gef-class

*Class "Gef": irradiation and irradiance on the generator plane.*

---

**Description**

This class contains the global, diffuse and direct irradiation and irradiance on the horizontal plane, and ambient temperature.

**Objects from the Class**

Objects can be created by the function [calcGef](#).

**Slots**

GefI: Object of class `data.table` created by [fInclin](#). It contains these components:

**Bo:** Extra-atmospheric irradiance on the inclined surface (W/m<sup>2</sup>)

**Bn:** Direct normal irradiance (W/m<sup>2</sup>)

**G, B, D, Di, Dc, R:** Global, direct, diffuse (total, isotropic and anisotropic) and albedo irradiance incident on an inclined surface (W/m<sup>2</sup>)

**Gef, Bef, Def, Dief, Dcef, Ref:** Effective global, direct, diffuse (total, isotropic and anisotropic) and albedo irradiance incident on an inclined surface (W/m<sup>2</sup>)

**FTb, FTd, FTr:** Factor of angular losses for the direct, diffuse and albedo components

GefD: Object of class `data.table` with daily values of global, diffuse and direct irradiation.

Gefdm: Object of class `data.table` with monthly means of daily global, diffuse and direct irradiation.

Gefy: Object of class `data.table` with yearly sums of global, diffuse and direct irradiation.

Theta: Object of class `data.table` created by [fTheta](#). It contains these components:

**Beta:** numeric, inclination angle of the surface (radians). When `modeTrk='fixed'` it is the value of the argument `beta` converted from degrees to radians.

**Alpha:** numeric, azimuth angle of the surface (radians). When `modeTrk='fixed'` it is the value of the argument `alpha` converted from degrees to radians.

**cosTheta:** numeric, cosine of the incidence angle of the solar irradiance on the surface

**iS:** numeric, degree of dirtiness.

**alb:** numeric, albedo reflection coefficient.

*B4\_Gef-class*

31

**modeTrk:** character, mode of tracking.

**modeShd:** character, mode of shadows.

**angGen:** A list with the values of alpha, beta and betaLim.

**struct:** A list with the dimensions of the structure.

**distances:** A data.frame with the distances between structures.

**Extends**

Class "**G0**", directly. Class "**Meteo**", by class "G0", distance 2. Class "**Sol**", by class "G0", distance 2.

**Methods**

**as.data.tableD** signature(object = "Gef"): conversion to a data.table with daily values.

**as.data.tableI** signature(object = "Gef"): conversion to a data.table with intradaily values.

**as.data.tableM** signature(object = "Gef"): conversion to a data.table with monthly values.

**as.data.tableY** signature(object = "Gef"): conversion to a data.table with yearly values.

**indexD** signature(object = "Gef"): index of the solD slot.

**indexI** signature(object = "Gef"): index of the solI slot.

**getLat** signature(object = "Gef"): latitude of the inherited **Sol** object.

**xyplot** signature(x = "Gef", data = "missing"): display the time series of daily values of irradiation.

**xyplot** signature(x = "formula", data = "Gef"): displays the contents of a Gef object with the xyplot method for formulas.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**References**

- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

**See Also**

**Sol**, **G0**.

---

B5_ProdGCPV-class	Class "ProdGCPV": performance of a grid connected PV system.
-------------------	--------------------------------------------------------------

---

### Description

A class containing values of the performance of a grid connected PV system.

### Objects from the Class

Objects can be created by `prodGCPV`.

### Slots

`prodI`: Object of class `data.table` created by `fProd`. It includes these components:

**Tc**: cell temperature, °C.

**Voc, Isc, Vmpp, Impp**: open circuit voltage, short circuit current, MPP voltage and current, respectively.

**Vdc, Idc**: voltage and current at the input of the inverter.

**Pdc**: power at the input of the inverter, W

**Pac**: power at the output of the inverter, W

**EffI**: efficiency of the inverter

`prodD`: A `data.table` object with daily values of AC (Eac) and DC (Edc) energy (Wh), and productivity (Yf, Wh/Wp) of the system.

`prodDm`: A `data.table` object with monthly means of daily values of AC and DC energy (kWh), and productivity of the system.

`prody`: A `data.table` object with yearly sums of AC and DC energy (kWh), and productivity of the system.

`module`: A list with the characteristics of the module.

`generator`: A list with the characteristics of the PV generator.

`inverter`: A list with the characteristics of the inverter.

`effSys`: A list with the efficiency values of the system.

Besides, this class contains the slots from the "`Meteo`", "`Sol`", "`G0`" and "`Gef`" classes.

### Extends

Class "`Gef`", directly. Class "`G0`", by class "`Gef`", distance 2. Class "`Meteo`", by class "`Gef`", distance 3. Class "`Sol`", by class "`Gef`", distance 3.

### Methods

**as.data.tableD** signature(object = "ProdGCPV"): conversion to a `data.table` with daily values.

**as.data.tableI** signature(object = "ProdGCPV"): conversion to a `data.table` with intradaily values.

**as.data.tableM** signature(object = "ProdGCPV"): conversion to a `data.table` with monthly values.

**as.data.tableY** signature(object = "ProdGCPV"): conversion to a `data.table` with yearly values.

**indexD** signature(object = "ProdGCPV"): index of the sold slot.

**indexI** signature(object = "ProdGCPV"): index of the solI object.  
**getLat** signature(object = "ProdGCPV"): latitude of the inherited **Sol** object.  
**xyplot** signature(x = "ProdGCPV", data = "missing"): display the time series of daily values.  
**xyplot** signature(x = "formula", data = "ProdGCPV"): displays the contents of a ProdGCPV object with the xyplot method for formulas.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**References**

- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

**See Also**

**Sol**, **G0**, **Gef**, **Shade**.

---

B6_ProdPVPS-class	<i>Class "ProdPVPS": performance of a PV pumping system.</i>
-------------------	--------------------------------------------------------------

---

**Description**

Performance of a PV pumping system with a centrifugal pump and a variable frequency converter.

**Objects from the Class**

Objects can be created by **prodPVPS**.

**Slots**

**prodI**: Object of class `data.table` with these components:

**Q**: Flow rate, (m<sup>3</sup>/h)

**Pb, Ph**: Pump shaft power and hydraulical power (W), respectively.

**etam, etab**: Motor and pump efficiency, respectively.

**f**: Frequency (Hz)

**prodD**: A `data.table` object with daily values of AC energy (Wh), flow (m<sup>3</sup>) and productivity of the system.

**prodDm**: A `data.table` object with monthly means of daily values of AC energy (kWh), flow (m<sup>3</sup>) and productivity of the system.

**prody**: A `data.table` object with yearly sums of AC energy (kWh), flow (m<sup>3</sup>) and productivity of the system.

**pump** A list extracted from **pumpCoef**

**H** Total manometric head (m)

**Pg** Nominal power of the PV generator (Wp)

**converter** list containing the nominal power of the frequency converter, Pnom, and Ki, vector of three values, coefficients of the efficiency curve.

**effSys** list of numeric values with information about the system losses

Besides, this class contains the slots from the **Gef** class.



## Extends

Class "**Gef**", directly. Class "**G0**", by class "Gef", distance 2. Class "**Meteo**", by class "Gef", distance 3. Class "**Sol**", by class "Gef", distance 3.

## Methods

**as.data.tableD** signature(object = "ProdPVPS"): conversion to a data.table with daily values.  
**as.data.tableI** signature(object = "ProdPVPS"): conversion to a data.table with intradaily values.  
**as.data.tableM** signature(object = "ProdPVPS"): conversion to a data.table with monthly values.  
**as.data.tableY** signature(object = "ProdPVPS"): conversion to a data.table with yearly values.  
**indexD** signature(object = "ProdPVPS"): index of the sold slot.  
**indexI** signature(object = "ProdPVPS"): index of the solI object.  
**getLat** signature(object = "ProdPVPS"): latitude of the inherited **Sol** object.  
**xyplot** signature(x = "ProdPVPS", data = "missing"): display the time series of daily values.  
**xyplot** signature(x = "formula", data = "ProdPVPS"): displays the contents of a ProdPVPS object with the xyplot method for formulas.

## Author(s)

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

## References

- Abella, M. A., Lorenzo, E. y Chenlo, F.: PV water pumping systems based on standard frequency converters. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 11(3):179–191, 2003, ISSN 1099-159X.
- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

## See Also

**prodPVPS**, **fPump**.

---

B7\_Shade-class

Class "*Shade*": shadows in a PV system.

---

## Description

A class for the optimization of shadows in a PV system.

## Objects from the Class

Objects can be created by **optimShd**.

**Slots**

**FS:** numeric, shadows factor values for each combination of distances.

**GRR:** numeric, Ground Requirement Ratio for each combination.

**Yf:** numeric, final productivity for each combination.

**FS.loess:** A local fitting of FS with loess.

**Yf.loess:** A local fitting of Yf with loess.

**modeShd:** character, mode of shadows.

**struct:** A list with the dimensions of the structure.

**distances:** A data.frame with the distances between structures.

**res** numeric, difference (meters) between the different steps of the calculation.

Besides, as a reference, this class includes a [ProdGCPV](#) object with the performance of a PV systems without shadows.

**Extends**

Class "[ProdGCPV](#)", directly. Class "[Gef](#)", by class "ProdGCPV", distance 2. Class "[G0](#)", by class "ProdGCPV", distance 3. Class "[Meteo](#)", by class "ProdGCPV", distance 4. Class "[Sol](#)", by class "ProdGCPV", distance 4.

**Methods**

**as.data.frame** signature(x = "Shade"): conversion to a data.frame including columns for distances (Lew, Lns, and D) and results (FS, GRR and Yf).

**shadeplot** signature(x = "Shade"): display the results of the iteration with a level plot for the two-axis tracking, or with conventional plot for horizontal tracking and fixed systems.

**xyplot** signature(x = "formula", data = "Shade"): display the content of the Shade object with the xyplot method for formulas.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**References**

- Perpiñán, O.: Grandes Centrales Fotovoltaicas: producción, seguimiento y ciclo de vida. PhD Thesis, UNED, 2008. [https://www.researchgate.net/publication/39419806\\_Grandes\\_Centrales\\_Fotovoltaicas\\_Produccion\\_Seguimiento\\_y\\_Ciclo\\_de\\_Vida](https://www.researchgate.net/publication/39419806_Grandes_Centrales_Fotovoltaicas_Produccion_Seguimiento_y_Ciclo_de_Vida).
- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

**See Also**

[Gef](#), [ProdGCPV](#).

---

C_corrFdKt	<i>Correlations between the fraction of diffuse irradiation and the clearness index.</i>
------------	------------------------------------------------------------------------------------------

---

### Description

A set of correlations between the fraction of diffuse irradiation and the clearness index used by [fCompD](#) and [fCompI](#).

### Usage

```
## Monthly means of daily values
Ktm(sol, G0dm)
FdKtPage(sol, G0dm)
FdKtLJ(sol, G0dm)

## Daily values
Ktd(sol, G0d)
FdKtCPR(sol, G0d)
FdKtEKDd(sol, G0d)
FdKtCLIMEDd(sol, G0d)

## Intradaily values
Kti(sol, G0i)
FdKtEKDh(sol, G0i)
FdKtCLIMEDh(sol, G0i)
FdKtBRL(sol, G0i)
```

### Arguments

sol	A <a href="#">Sol</a> object, it may be the result of the <a href="#">calcSol</a> function.
G0dm	A <a href="#">Meteo</a> object with monthly means of radiation. It may be the result of the <a href="#">readG0dm</a> function.
G0d	A <a href="#">Meteo</a> object with daily values of radiation. It may be the result of the <a href="#">readBDd</a> (or equivalent) function.
G0i	A <a href="#">Meteo</a> object with intradaily values of radiation. It may be the result of the <a href="#">readBDi</a> (or equivalent) function.

### Value

A data.table, with two columns:

Fd	A numeric, the diffuse fraction.
Kt	A numeric, the clearness index(provided by the Kt functions).

### Author(s)

Oscar Perpiñán Lamigueiro; The BRL model was suggested by Kevin Ummel.

## References

- Page, J. K., The calculation of monthly mean solar radiation for horizontal and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40N-40S. En U.N. Conference on New Sources of Energy, vol. 4, págs. 378–390, 1961.
- Collares-Pereira, M. y Rabl, A., The average distribution of solar radiation: correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. Solar Energy, 22:155–164, 1979.
- Erbs, D.G, Klein, S.A. and Duffie, J.A., Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation. Solar Energy, 28:293:302, 1982.
- De Miguel, A. et al., Diffuse solar irradiation model evaluation in the north mediterranean belt area, Solar Energy, 70:143-153, 2001.
- Ridley, B., Boland, J. and Lauret, P., Modelling of diffuse solar fraction with multiple predictors, Renewable Energy, 35:478-482, 2010.

## See Also

[fCompD](#), [fCompI](#)

## Examples

```
lat = 37.2
BTd = fBTd(mode = 'prom')
G0dm = c(2.766, 3.491, 4.494, 5.912, 6.989, 7.742, 7.919, 7.027, 5.369,
         3.562, 2.814, 2.179)*1000;
Ta = c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2, 28.4, 29.9, 24.3, 18.2, 17.2,
       15.2)

prom = readG0dm(G0dm = G0dm, Ta = Ta, lat = lat)
sol = calcSol(lat = lat, BTd = BTd)

Kt = Ktm(sol = sol, G0dm = prom)
Kt

Page = FdKtPage(sol = sol, G0dm = prom)
LJ = FdKtLJ(sol = sol, G0dm = prom)
Monthly = merge(Page, LJ, by = 'Kt',
                suffixes = c('.Page', '.LJ'))
Monthly

xyplot(Fd.Page+Fd.LJ~Kt, data = Monthly,
       type = c('l', 'g'), auto.key = list(space = 'right'))

Kt = Ktd(sol = sol, G0d = prom)
Kt

CPR = FdKtCPR(sol = sol, G0d = prom)
CLIMEDd = FdKtCLIMEDd(sol = sol, G0d = prom)
Daily = merge(CPR, CLIMEDd, by = 'Kt',
              suffixes = c('.CPR', '.CLIMEDd'))
Daily

xyplot(Fd.CPR + Fd.CLIMEDd ~ Kt, data = Daily,
       type = c('l', 'g'), auto.key = list(space = 'right'))
```

C\_fBTd

*Daily time base***Description**

Construction of a daily time base for solar irradiation calculation

**Usage**

```
fBTd(mode = "prom",
      year = as.POSIXlt(Sys.Date())$year+1900,
      start = paste('01-01-',year,sep = ''),
      end = paste('31-12-',year,sep = ''),
      format = '%d-%m-%Y')
```

**Arguments**

mode	character, controls the type of time base to be created. With mode = 'serie' the result is a daily time series from start to end. With mode = 'prom' only twelve days, one for each month, are included. During these 'average days' the declination angle is equal to the monthly mean of this angle.
year	which year is to be used for the time base when mode = 'prom'. Its default value is the current year.
start	first day of the time base for mode = 'serie'. Its default value is the first of January of the current year.
end	last day of the time base for mode = 'serie'. Its default value is the last day of December of the current year.
format	format of start and end.

**Details**

This function is commonly used inside fSolD.

**Value**

This function returns a POSIXct object.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

**References**

- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

**See Also**

fSolD, as.POSIXct, seq.POSIXt.

C\_fBTi

39

**Examples**

```
#Average days
fBTd(mode = 'prom')

#The day #100 of the year 2008
BTd = fBTd(mode = 'serie', year = 2008)
BTd[100]
```

---

C_fBTi	<i>Intra-daily time base</i>
--------	------------------------------

---

**Description**

Construction of an intra-daily time base for solar irradiation calculation

**Usage**

```
fBTi(BTd, sample = 'hour')
```

**Arguments**

- BTd
- vector, it may be a result for fBTd or indexD
- sample
- character, identify the sample of the time set. Its default value is 'hour'.

**Details**

This function is commonly used inside fSolI.

**Value**

This function returns a POSIXct object.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

**Examples**

```
#Average days
BTd <- fBTd(mode = 'prom')

#Intradaily base time for the first day
BTi <- fBTi(BTd = BTd[1], sample = 'hour')
BTi
```

C\_fCompD

*Components of daily global solar irradiation on a horizontal surface***Description**

Extract the diffuse and direct components from the daily global irradiation on a horizontal surface by means of regressions between the clearness index and the diffuse fraction parameters.

**Usage**

```
fCompD(sol, G0d, corr = "CPR", f)
```

**Arguments**

sol	A Sol object from <a href="#">calcSol</a> or a data.table object from <a href="#">fSolD</a> . Both of them include a component named Bo0d, which stands for the extra-atmospheric daily irradiation incident on a horizontal surface
G0d	A Meteo object from <a href="#">readG0dm</a> , <a href="#">readBDd</a> , or a data.table object containing daily global irradiation (Wh/m <sup>2</sup> ) on a horizontal surface. See below for corr = 'none'.
corr	A character, the correlation between the fraction of diffuse irradiation and the clearness index to be used. With this version several options are available, as described in <a href="#">corrFdKt</a> . For example, the <a href="#">FdKtPage</a> is selected with corr = 'Page' and the <a href="#">FdKtCPR</a> with corr = 'CPR'. If corr = 'user' the use of a correlation defined by a function f is possible. If corr = 'none' the G0d object should include information about global, diffuse and direct daily irradiation with columns named G0d, D0d and B0d, respectively.
f	A function defining a correlation between the fraction of diffuse irradiation and the clearness index. It is only necessary when corr = 'user'

**Value**

A data.table object which includes:

Fd	numeric, the diffuse fraction
Ktd	numeric, the clearness index
G0d	numeric, the global irradiation on a horizontal surface (Wh/m <sup>2</sup> )
D0d	numeric, the diffuse irradiation on a horizontal surface (Wh/m <sup>2</sup> )
B0d	numeric, the direct irradiation on a horizontal surface (Wh/m <sup>2</sup> )

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

**References**

- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

See Also

[fCompI](#)

Examples

```
lat = 37.2;
BTd = fBTd(mode = 'serie')

SolD <- fSolD(lat, BTd[100])

G0d = 5000
fCompD(SolD, G0d, corr = "Page")
fCompD(SolD, G0d, corr = "CPR")

#define a function fKtd with the correlation of CPR
fKtd = function(sol, G0d){
  Kt = Ktm(sol, G0d)
  Fd = (0.99*(Kt <= 0.17))+ (Kt>0.17)*(1.188 -2.272 * Kt + 9.473 * Kt^2 -
  21.856 * Kt^3 + 14.648 * Kt^4)
  return(data.table(Fd, Kt))}
#The same as with corr = "CPR"
fCompD(SolD, G0d, corr = "user", f = fKtd)

lat = -37.2;
SolDs <- fSolD(lat, BTd[283])
G0d = data.table(Dates = SolDs$Dates, G0d = 5000)
fCompD(SolDs, G0d, corr = "CPR")

lat = 37.2;
G0dm = c(2.766,3.491,4.494,5.912,6.989,7.742,7.919,7.027,5.369,3.562,2.814,2.179)*1000;
Rad = readG0dm(G0dm, lat = lat)
solD <- fSolD(lat, fBTd(mode = 'prom'))
fCompD(solD, Rad, corr = 'Page')
```

---

C_fCompI	<i>Calculation of solar irradiance on a horizontal surface</i>
----------	----------------------------------------------------------------

---

Description

From the daily global, diffuse and direct irradiation values supplied by fCompD, the profile of the global, diffuse and direct irradiance is calculated with the rd and rg components of fSolI.

Usage

```
fCompI(sol, compD, G0I, corr = 'none', f, filterG0 = TRUE)
```

Arguments

- sol

A Sol object as provided by [calcSol](#) or a data.table object as provided by [fSolI](#).
- compD

A data.table object as provided by fCompD. It is not considered if G0I is provided.



G0I	A Meteo object from <a href="#">readBDi</a> , <a href="#">dt2Meteo</a> or <a href="#">zoo2Meteo</a> , or a <code>data.table</code> object containing <i>intradaily</i> global irradiance (W/m <sup>2</sup> ) on a horizontal surface. See below for <code>corr = 'none'</code> .
corr	A character, the correlation between the the fraction of intradaily diffuse irradiation and the clearness index to be used. It is ignored if G0I is not provided. With this version several correlations are available, as described in <a href="#">corrFdKt</a> . You should choose one of <i>intradaily</i> proposals. For example, the <a href="#">FdKtCLIMEDh</a> is selected with <code>corr = 'CLIMEDh'</code> . If <code>corr = 'user'</code> the use of a correlation defined by a function <code>f</code> is possible. If <code>corr = 'none'</code> the G0I object must include information about global, diffuse and direct intradaily irradiation with columns named G0, D0 and B0, respectively.
f	A function defining a correlation between the fraction of diffuse irradiation and the clearness index. It is only necessary when <code>corr = 'user'</code>
filterG0	A logical. If TRUE (default) this function sets the global irradiation values to NA when they are higher than the extra-atmospheric irradiation values.

### Value

A `data.table` with these components:

kt	numeric, clearness index.
fd	numeric, diffuse fraction.
G0	numeric, global irradiance on a horizontal surface, (W/m <sup>2</sup> )
D0	numeric, diffuse irradiance on a horizontal surface, (W/m <sup>2</sup> )
B0	numeric, direct irradiance on a horizontal surface, (W/m <sup>2</sup> )

### Author(s)

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

### References

- Collares-Pereira, M. y Rabl, A., The average distribution of solar radiation: correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. *Solar Energy*, 22:155–164, 1979.
- Perpiñán, O, *Energía Solar Fotovoltaica*, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", *Journal of Statistical Software*, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

### See Also

[fCompD](#), [fSolI](#), [calcSol](#), [corrFdKt](#).

### Examples

```
lat <- 37.2

BTd <- fBTd(mode = 'serie')
solD <- fSolD(lat, BTd[100])
solI <- fSolI(solD, sample = 'hour')
G0d <- data.table(Dates = solD$Dates, G0d = 5000)
```

```
compD <- fCompD(solD, G0d, corr = "Page")
fCompI(solI, compD)

sol <- calcSol(lat, fBTd(mode = 'prom'), sample = 'hour', keep.night = FALSE)

G0dm <- c(2.766, 3.491, 4.494, 5.912, 6.989, 7.742,
          7.919, 7.027, 5.369, 3.562, 2.814, 2.179)*1000

Ta <- c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2, 28.4, 29.9,
        24.3, 18.2, 17.2, 15.2)

BD <- readG0dm(G0dm = G0dm, Ta = Ta, lat = lat)
compD <- fCompD(sol, BD, corr = 'Page')
compI <- fCompI(sol, compD)
head(compI)

## Use of 'corr'. The help page of calcG0 includes additional examples
## with intradaily data xyplot(fd ~ kt, data = compI)

climed <- fCompI(sol, G0I = compI, corr = 'CLIMEDh')
xyplot(Fd ~ Kt, data = climed)

ekdh <- fCompI(sol, G0I = compI, corr = 'EKDh')
xyplot(Fd ~ Kt, data = ekdh)

brl <- fCompI(sol, G0I = compI, corr = 'BRL')
xyplot(Fd ~ Kt, data = brl)
```

---

C_fInclin	<i>Solar irradiance on an inclined surface</i>
-----------	------------------------------------------------

---

**Description**

The solar irradiance incident on an inclined surface is calculated from the direct and diffuse irradiance on a horizontal surface, and from the evolution of the angles of the Sun and the surface. Moreover, the effect of the angle of incidence and dust on the PV module is included to obtain the effective irradiance.

This function is used by the [calcGef](#) function.

**Usage**

```
fInclin(compI, angGen, iS = 2, alb = 0.2, horizBright = TRUE, HCPV = FALSE)
```

**Arguments**

compI	A G0 object. It may be the result of <a href="#">calcG0</a> .
angGen	A data.table object, including at least three variables named Beta, Alpha and cosTheta. It may be the result of <a href="#">fTheta</a> .
iS	integer, degree of dirtiness. Its value must be included in the set (1,2,3,4). iS = 1 corresponds to a clean surface while iS = 4 is the choice for a dirty surface. Its default value is 2
alb	numeric, albedo reflection coefficient. Its default value is 0.2

horizBright	logical, if TRUE, the horizon brightness correction proposed by Reind et al. is used.
HCPV	logical, if TRUE the diffuse and albedo components of the <i>effective</i> irradiance are set to zero. HCPV is the acronym of High Concentration PV system.

### Details

The solar irradiance incident on an inclined surface can be calculated from the direct and diffuse irradiance on a horizontal surface, and from the evolution of the angles of the Sun and the surface. The transformation of the direct radiation is straightforward since only geometric considerations are needed. However, the treatment of the diffuse irradiance is more complex since it involves the modelling of the atmosphere. There are several models for the estimation of diffuse irradiance on an inclined surface. The one which combines simplicity and acceptable results is the proposal of Hay and McKay. This model divides the diffuse component in isotropic and anisotropic whose values depends on a anisotropy index. On the other hand, the effective irradiance, the fraction of the incident irradiance that reaches the cells inside a PV module, is calculated with the losses due to the angle of incidence and dirtiness. This behaviour can be simulated with a model proposed by Martin and Ruiz requiring information about the angles of the surface and the level of dirtiness (iS).

### Value

A data.table object with these components:

Bo	Extra-atmospheric irradiance on the inclined surface (W/m <sup>2</sup> )
Bn	Direct normal irradiance (W/m <sup>2</sup> )
G, B, D, Di, Dc, R	Global, direct, diffuse (total, isotropic and anisotropic) and albedo irradiance incident on an inclined surface (W/m <sup>2</sup> )
Gef, Bef, Def, Dief, Dcef, Ref	Effective global, direct, diffuse (total, isotropic and anisotropic) and albedo irradiance incident on an inclined surface (W/m <sup>2</sup> )
FTb, FTd, FTr	Factor of angular losses for the direct, diffuse and albedo components

### Author(s)

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

### References

- Hay, J. E. and McKay, D. C.: Estimating Solar Irradiance on Inclined Surfaces: A Review and Assessment of Methodologies. Int. J. Solar Energy, (3):pp. 203, 1985.
- Martin, N. and Ruiz, J.M.: Calculation of the PV modules angular losses under field conditions by means of an analytical model. Solar Energy Materials & Solar Cells, 70:25–38, 2001.
- D. T. Reindl and W. A. Beckman and J. A. Duffie: Evaluation of hourly tilted surface radiation models, Solar Energy, 45:9-17, 1990.
- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

### See Also

[fTheta](#), [fCompI](#), [calcGef](#).

*C\_fProd*

45

*C\_fProd**Performance of a PV system***Description**

Simulate the behaviour of a grid connected PV system under different conditions of irradiance and temperature. This function is used by the [prodGCPV](#) function.

**Usage**

```
fProd(inclin, module, generator, inverter, effSys)
```

**Arguments**

<i>inclin</i>	A <a href="#">Gef</a> object, a <code>data.table</code> object. In case of being <code>data.table</code> it must include a component named <code>Gef</code> (effective irradiance, W/m <sup>2</sup> ) and another named <code>Ta</code> (ambient temperature, °C).
<i>module</i>	list of numeric values with information about the PV module, <i>Vocn</i> open-circuit voltage of the module at Standard Test Conditions (default value 51.91 volts.) <i>Iscn</i> short circuit current of the module at Standard Test Conditions (default value 14.07 amperes.) <i>Vmn</i> maximum power point voltage of the module at Standard Test Conditions (default value 43.76 volts.) <i>Imn</i> Maximum power current of the module at Standard Test Conditions (default value 13.03 amperes.) <i>Ncs</i> number of cells in series inside the module (default value 24) <i>Ncp</i> number of cells in parallel inside the module (default value 6) <i>CoefVT</i> coefficient of decrement of voltage of each cell with the temperature (default value 0.1194 volts per celsius degree) <i>TONC</i> nominal operational cell temperature, celsius degree (default value 20).
<i>generator</i>	list of numeric values with information about the generator, <i>Nms</i> number of modules in series (default value 22) <i>Nmp</i> number of modules in parallel (default value 130)
<i>inverter</i>	list of numeric values with information about the DC/AC inverter, <i>Ki</i> vector of three values, coefficients of the efficiency curve of the inverter (default <code>c(0.01, 0.025, 0.05)</code> ), or a matrix of nine values (3x3) if there is dependence with the voltage (see references). <i>Pinv</i> nominal inverter power (W) (default value 1500 watts.) <i>Vmin</i> , <i>Vmax</i> minimum and maximum voltages of the MPP range of the inverter (default values 822 and 1300 volts) <i>Gumb</i> minimum irradiance for the inverter to start (W/m <sup>2</sup> ) (default value 200 W/m <sup>2</sup> )
<i>effSys</i>	list of numeric values with information about the system losses, <i>ModQual</i> average tolerance of the set of modules (%), default value is 3 <i>ModDisp</i> module parameter dispersion losses (%), default value is 2

OhmDC Joule losses due to the DC wiring (%), default value is 1.5  
 OhmAC Joule losses due to the AC wiring (%), default value is 1.5  
 MPP average error of the MPP algorithm of the inverter (%), default value is 1  
 TrafoMT losses due to the MT transformer (%), default value is 1  
 Disp losses due to stops of the system (%), default value is 0.5

### Value

If `inclin` is `data.table` or `Gef` object, the result is a `data.table` object with these components:

<code>Tc</code>	cell temperature, °C.
<code>Voc, Isc, Vmpp, Impp</code>	open circuit voltage, short circuit current, MPP voltage and current, respectively, in the conditions of irradiance and temperature provided by <code>Inclin</code>
<code>Vdc, Idc</code>	voltage and current at the input of the inverter. If no voltage limitation occurs (according to the values of <code>inverter\$Vmax</code> and <code>inverter\$Vmin</code> ), their values are identical to <code>Vmpp</code> and <code>Impp</code> . If the limit values are reached a warning is produced
<code>Pdc</code>	power at the input of the inverter, W
<code>Pac</code>	power at the output of the inverter, W
<code>EffI</code>	efficiency of the inverter

### Author(s)

Oscar Perpiñán Lamigueiro

### References

- Jantsch, M., Schmidt, H. y Schmid, J.: Results on the concerted action on power conditioning and control. 11th European photovoltaic Solar Energy Conference, 1992.
- Baumgartner, F. P., Schmidt, H., Burger, B., Bründlinger, R., Haeberlin, H. and Zehner, M.: Status and Relevance of the DC Voltage Dependency of the Inverter Efficiency. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2007.
- Alonso Garcia, M. C.: Caracterización y modelado de asociaciones de dispositivos fotovoltaicos. PhD Thesis, CIEMAT, 2005.
- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

### See Also

[fInclin](#), [prodGCPV](#), [fTemp](#).

### Examples

```
inclin = data.table(Gef = c(200,400,600,800,1000),Ta = 25)

#using default values
fProd(inclin)

#Using a matrix for Ki (voltage dependence)
```

*C\_fPump*

47

```
inv1 <- list(Ki = rbind(c(-0.00019917, 7.513e-06, -5.4183e-09),
c(0.00806, -4.161e-06, 2.859e-08),
c(0.02118, 3.4002e-05, -4.8967e-08)))

fProd(inclin, inverter = inv1)

#Voltage limits of the inverter
inclin = data.table(Gef = 800,Ta = 30)
gen1 = list(Nms = 10, Nmp = 11)

prod = fProd(inclin,generator = gen1)
print(prod)

with(prod, Vdc * Idc / (Vmpp * Impp))
```

---

C_fPump	<i>Performance of a centrifugal pump</i>
---------	------------------------------------------

---

**Description**

Compute the performance of the different parts of a centrifugal pump fed by a frequency converter following the affinity laws.

**Usage**

```
fPump(pump, H)
```

**Arguments**

pump	list containing the parameters of the pump to be simulated. It may be a row of <a href="#">pumpCoef</a> .
H	Total manometric head (m).

**Value**

lim	Range of values of electrical power input
fQ	Function constructed with <code>splinefun</code> relating flow and electrical power
fPb	Function constructed with <code>splinefun</code> relating pump shaft power and electrical power of the motor
fPh	Function constructed with <code>splinefun</code> relating hydraulical power and electrical power of the motor
fFreq	Function constructed with <code>splinefun</code> relating frequency and electrical power of the motor

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

## References

- Abella, M. A., Lorenzo, E. y Chenlo, F.: PV water pumping systems based on standard frequency converters. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 11(3):179–191, 2003, ISSN 1099-159X.
- Perpiñán, O, *Energía Solar Fotovoltaica*, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", *Journal of Statistical Software*, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

## See Also

[NmgPVPS](#), [prodPVPS](#), [pumpCoef](#), [splinefun](#).

## Examples

```
library(latticeExtra)

data(pumpCoef)
CoefSP8A44 <- subset(pumpCoef, Qn == 8 & stages == 44)

fSP8A44 <- fPump(pump = CoefSP8A44,H = 40)
SP8A44 = with(fSP8A44,{
  Pac = seq(lim[1],lim[2],by = 100)
  Pb = fPb(Pac)
  etam = Pb/Pac
  Ph = fPh(Pac)
  etab = Ph/Pb
  f = fFreq(Pac)
  Q = fQ(Pac)
  result = data.frame(Q,Pac,Pb,Ph,etam,etab,f)})

#Efficiency of the motor, pump and the motor-pump
SP8A44$etamb = with(SP8A44,etab*etam)
lab = c(expression(eta[motor]), expression(eta[pump]), expression(eta[mp]))
p <- xyplot(etam + etab + etamb ~ Pac,data = SP8A44,type = 'l', ylab = 'Efficiency')
p+glayer(panel.text(x[1], y[1], lab[group.number], pos = 3))

#Mechanical, hydraulic and electrical power
lab = c(expression(P[pump]), expression(P[hyd]))
p <- xyplot(Pb + Ph ~ Pac,data = SP8A44,type = 'l', ylab = 'Power (W)', xlab = 'AC Power (W)')
p+glayer(panel.text(x[length(x)], y[length(x)], lab[group.number], pos = 3))

#Flow and electrical power
xyplot(Q ~ Pac,data = SP8A44,type = 'l')
```

## Description

Compute the daily apparent movement of the Sun from the Earth. This movement is mainly described (for the simulation of photovoltaic systems) by the declination angle, the sunrise angle and the daily extra-atmospheric irradiation.

**C\_fSolD**

49

**Usage**

```
fSolD(lat, BTd, method = 'michalsky')
```

**Arguments**

lat	Latitude (degrees) of the point of the Earth where calculations are needed. It is positive for locations above the Equator.
BTd	Daily temporal base, a POSIXct object which may be the result of <a href="#">fBTd</a> .
method	character, method for the sun geometry calculations to be chosen from 'cooper', 'spencer', 'michalsky' and 'strous'. See references for details.

**Value**

A data.table object with these components:

lat	Latitude (degrees)
decl	Declination angle (radians) for each day of year in dn or BTd
eo	Factor of correction due the eccentricity of orbit of the Earth around the Sun.
ws	Sunrise angle (in radians) for each day of year. Due to the convention which considers that the solar hour angle is negative before midday, this angle is negative.
Bo0d	Extra-atmospheric daily irradiation (watt-hour per squared meter) incident on a horizontal surface
EoT	Equation of Time.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**References**

- Cooper, P.I., Solar Energy, 12, 3 (1969). "The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills"
- Spencer, Search 2 (5), 172, <https://www.mail-archive.com/sundial@uni-koeln.de/msg01050.html>
- Strous: <https://www.aa.quae.nl/en/reken/zonpositie.html>
- Michalsky, J., 1988: The Astronomical Almanac's algorithm for approximate solar position (1950-2050), Solar Energy 40, 227-235
- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

**Examples**

```
BTd <- fBTd(mode = 'serie')

lat <- 37.2
fSolD(lat, BTd[100])
fSolD(lat, BTd[100], method = 'strous')
fSolD(lat, BTd[100], method = 'spencer')
fSolD(lat, BTd[100], method = 'cooper')
```



```

lat <- -37.2
fSold(lat, BTd[283])

#Solar angles along the year
Sold <- fSold(lat, BTd = fBTd())

library(lattice)
xyplot(Sold)

#Calculation of the daylength for several latitudes
library(latticeExtra)

Lats <- c(-60, -40, -20, 0, 20, 40, 60)
NomLats <- ifelse(Lats > 0, paste(Lats,'N', sep = ''),
                  paste(abs(Lats), 'S', sep = ''))
NomLats[Lats == 0] <- '0'

BTd <- fBTd(mode = 'serie')
mat <- matrix(nrow = length(BTd), ncol = length(Lats))
colnames(mat) <- NomLats
WsZ <- data.table(Dates = BTd, mat)

for (i in seq_along(Lats)){
  SolDaux <- fSold(lat = Lats[i], BTd = fBTd(mode = 'serie'));
  WsZ[,i+1] <- r2h(2*abs(SolDaux$ws))}

p = xyplot(`60S` + `40S` + `20S` + `0` + `20N` + `40N` + `60N` ~ Dates, data = WsZ, type = "l",
           ylab = expression(omega[s] * (h)))
plab = p+glayer(panel.text(x[1], y[1], NomLats[group.number], pos = 2))
print(plab)

```

C\_fSolI

*Instantaneous apparent movement of the Sun from the Earth***Description**

Compute the angles which describe the intradaily apparent movement of the Sun from the Earth.

**Usage**

```
fSolI(sold, sample = 'hour', BTi, EoT = TRUE, keep.night = TRUE, method = 'michalsky')
```

**Arguments**

sold	A data.table object with the result of fSold
sample	Increment of the intradaily sequence. It is a character string, containing one of "sec", "min", "hour". This can optionally be preceded by a (positive or negative) integer and a space, or followed by "s". It is used by <a href="#">seq.POSIXt</a> . It is not considered when BTi is provided.
BTi	Intradaily time base, a POSIXct object. It could be the index of the G0I argument to <a href="#">calcG0</a> . fSolI will produce results only for those days contained both in sold and in BTi.

***C\_fSolI***

51

EoT	logical, if TRUE (default) the Equation of Time is used.
keep.night	logical, if TRUE (default) the night is included in the time series.
method	character, method for the sun geometry calculations to be chosen from 'cooper', 'spencer', 'michalsky' and 'strous'. See references for details.

**Value**

A data.table object is returned with these components:

lat	numeric, latitude (degrees)
w	numeric, solar hour angle (radians)
aman	logical, TRUE when Sun is above the horizon
cosThzS	numeric, cosine of the solar zenith angle
AzS	numeric, solar acimuth angle (radians)
AlS	numeric, solar elevation angle (radians)
Bo0	numeric, extra-atmospheric irradiance (W/m2)

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**References**

- Cooper, P.I., Solar Energy, 12, 3 (1969). "The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills"
- Spencer, Search 2 (5), 172, <https://www.mail-archive.com/sundial@uni-koeln.de/msg01050.html>
- Strous: <https://www.aa.quae.nl/en/reken/zonpositie.html>
- Michalsky, J., 1988: The Astronomical Almanac's algorithm for approximate solar position (1950-2050), Solar Energy 40, 227-235
- Collares-Pereira, M. y Rabl, A., The average distribution of solar radiation: correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. Solar Energy, 22:155–164, 1979.
- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

**See Also**

[fSold](#)

**Examples**

```
###Angles for one day
BTd = fBTd(mode = 'serie')

#North hemisphere
lat = 37.2
sold <- fSold(lat,BTd[100])
solI <- fSolI(sold, sample = 'hour')
print(solI)
```

```

#South hemisphere
lat = -37.2;
solDs <- fSolD(lat,BTd[283])
solIs <- fSolI(solDs, sample = 'hour')
print(solIs)

###Angles for the 12 average days
lat = 37.2;
solD <- fSolD(lat,BTd = fBTd(mode = 'prom'))
solI <- fSolI(solD, sample = '10 min', keep.night = FALSE)

library(lattice)
library(latticeExtra)

###Solar elevation angle vs. azimuth.
#This kind of graphics is useful for shadows calculations
mon = month.abb
p <- xyplot(r2d(AlS)~r2d(AzS),
  groups = month(Dates),
  data = solI, type = 'l', col = 'black',
  xlab = expression(psi[s]),ylab = expression(gamma[s]))

plab <- p + glayer({
  idx <- round(length(x)/2+1)
  panel.text(x[idx], y[idx], mon[group.value], pos = 3, offset = 0.2, cex = 0.8)})

print(plab)

```

C\_fSombra

*Shadows on PV systems***Description**

Compute the shadows factor for two-axis and horizontal N-S axis trackers and fixed surfaces.

**Usage**

```
fSombra(angGen, distances, struct, modeTrk = 'fixed',prom = TRUE)
```

```
fSombra6(angGen,distances,struct,prom = TRUE)
```

```
fSombra2X(angGen,distances,struct)
```

```
fSombraHoriz(angGen, distances,struct)
```

```
fSombraEst(angGen, distances,struct)
```

**Arguments**

angGen                    A data.table object, including at least variables named Beta, Alpha, AzS, AlS and cosTheta.

**C\_fSombra**

53

distances	data.frame, with a component named Lew, being the distance (meters) between horizontal NS and two-axis trackers along the East-West direction, a component named Lns for two-axis trackers or a component named D for static surfaces. An additional component named H can be included with the relative height (meters) between surfaces. When modeTrk = 'two' (or when fSombra6 is used) this data.frame may have five rows. Each of these rows defines the distances of a tracker in a set of six ones.
struct	list. When modeTrk = 'fixed' or modeTrk = 'horiz' only a component named L, which is the height (meters) of the tracker, is needed. For two-axis trackers (modeTrk = 'two'), an additional component named W, the width of the tracker, is required. Moreover, two components named Nrow and Ncol are included under this list. These components define, respectively, the number of rows and columns of the whole set of trackers in the PV plant.
modeTrk	character, to be chosen from 'fixed', 'two' or 'horiz'. When modeTrk = 'fixed' the surface is fixed (inclination and azimuth angles are constant). The performance of a two-axis tracker is calculated with modeTrk = 'two', and modeTrk = 'horiz' is the option for an horizontal N-S tracker. Its default value is modeTrk = 'fixed'
prom	logical, only needed for two-axis tracker mode. If TRUE the shadows are averaged between the set of trackers defined by struct\$Nrow and struct\$Ncol

**Details**

**fSombra** is only a wrapper for **fSombra6** (two-axis trackers), **fSombraEst** (fixed systems) and **fSombraHoriz** (horizontal N-S axis trackers). Depending on the value of modeTrk the corresponding function is selected. **fSombra6** calculates the shadows factor in a set of six two-axis trackers. If distances has only one row, this function constructs a symmetric grid around a tracker located at (0,0,0). These five trackers are located at (-Lew, Lns, H), (0, Lns, H), (Lew, Lns, H), (-Lew, 0, H) and (Lns, 0, H). It is possible to define a irregular grid around (0,0,0) including five rows in distances. When prom = TRUE the shadows factor for each of the six trackers is calculated. Then, according to the distribution of trackers in the plant defined by struct\$Nrow and struct\$Ncol, a weighted average of the shadows factors is the result. It is important to note that the distances are defined between axis for trackers and between similar points of the structure for fixed surfaces.

**Value**

data.table including angGen and a variable named FS, which is the shadows factor. This factor is the ratio between the area of the generator affected by shadows and the total area. Therefore its value is 1 when the PV generator is completely shadowed.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**References**

- Perpiñán, O.: Grandes Centrales Fotovoltaicas: producción, seguimiento y ciclo de vida. PhD Thesis, UNED, 2008. [https://www.researchgate.net/publication/39419806\\_Grandes\\_Centrales\\_Fotovoltaicas\\_Produccion\\_Seguimiento\\_y\\_Ciclo\\_de\\_Vida](https://www.researchgate.net/publication/39419806_Grandes_Centrales_Fotovoltaicas_Produccion_Seguimiento_y_Ciclo_de_Vida).
- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

**See Also**

[calcShd](#), [optimShd](#), [fTheta](#), [calcSol](#)

**Examples**

```
lat = 37.2;
sol <- calcSol(lat, fBTd(mode = 'prom'), sample = '10 min', keep.night = FALSE)
angGen <- fTheta(sol, beta = 35);
Angles <- merge(as.data.tableI(sol), angGen)

###Two-axis tracker
#Symmetric grid
distances = data.table(Lew = 40,Lns = 30,H = 0)
struct = list(W = 23.11, L = 9.8, Nrow = 2, Ncol = 8)

ShdFactor <- fSombra6(Angles, distances, struct, prom = FALSE)

Angles$FS = ShdFactor
xyplot(FS ~ w, groups = month(Dates), data = Angles,
       type = 'l',
       auto.key = list(space = 'right',
                       lines = TRUE,
                       points = FALSE))

#Symmetric grid defined with a five rows data.frame
distances = data.table(Lew = c(-40,0,40,-40,40),
                       Lns = c(30,30,30,0,0),
                       H = 0)
ShdFactor2 <- fSombra6(Angles, distances, struct,prom = FALSE)

#of course, with the same result
identical(ShdFactor, ShdFactor2)
```

---

C\_fTemp

---

*Intradaily evolution of ambient temperature*


---

**Description**

From the maximum and minimum daily values of ambient temperature, its evolution its calculated through a combination of cosine functions (ESRA method)

**Usage**

```
fTemp(sol, BD)
```

**Arguments**

sol	A <a href="#">Sol</a> object. It may be the result of the <a href="#">calcSol</a> function.
BD	A <a href="#">Meteo</a> object, as provided by the <a href="#">readBDd</a> function. It must include information about TempMax and TempMin.

`C_fTheta`

55

**Details**

The ESRA method estimates the dependence of the temperature on the time of the day (given as the local solar time) from only two inputs: minimum and maximum daily temperatures. It assumes that the temperature daily profile can be described using three piecewise cosine functions, dividing the day into three periods: from midnight to sunrise, from sunrise to the time of peak temperature (3 hours after midday), and to midnight.

**Value**

A `data.table` object with the profile of the ambient temperature.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**References**

- Huld, T. , Suri, M., Dunlop, E. D., and Micale F., Estimating average daytime and daily temperature profiles within Europe, *Environmental Modelling & Software* 21 (2006) 1650-1661.
- Perpiñán, O, *Energía Solar Fotovoltaica*, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", *Journal of Statistical Software*, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

**See Also**

[calcSol](#), [readBDd](#).

---

`C_fTheta`*Angle of incidence of solar irradiation on a inclined surface*

---

**Description**

The orientation, azimuth and incidence angle are calculated from the results of `fSolI` or `calcSol` and from the information supplied by the arguments `beta` and `alpha` when the surface is fixed (`modeTrk = 'fixed'`) or the movement equations when a tracking surface is chosen (`modeTrk = 'horiz'` or `modeTrk = 'two'`). Besides, the modified movement of a horizontal NS tracker due to the back-tracking strategy is calculated if `BT = TRUE` with information about the tracker and the distance between the trackers included in the system.

This function is used by the [calcGef](#) function.

**Usage**

```
fTheta(sol, beta, alpha = 0, modeTrk = "fixed", betaLim = 90,
      BT = FALSE, struct, dist)
```

**Arguments**

sol	Sol object as provided by <a href="#">calcSol</a> .
beta	numeric, inclination angle of the surface (degrees). It is only needed when modeTrk = 'fixed'.
alpha	numeric, azimuth angle of the surface (degrees). It is measured from the south (alpha = 0), and it is negative to the east and positive to the west. It is only needed when modeTrk = 'fixed'. Its default value is alpha = 0 (surface facing to the south).
modeTrk	character, to be chosen from 'fixed', 'two' or 'horiz'. When modeTrk = 'fixed' the surface is fixed (inclination and azimuth angles are constant). The performance of a two-axis tracker is calculated with modeTrk = 'two', and modeTrk = 'horiz' is the option for an horizontal N-S tracker. Its default value is modeTrk = 'fixed'
betaLim	numeric, maximum value of the inclination angle for a tracking surface. Its default value is 90 (no limitation))
BT	logical, TRUE when the backtracking technique is to be used with a horizontal NS tracker, as described by Panico et al. (see References). The default value is FALSE. In future versions of this package this technique will be available for two-axis trackers.
struct	Only needed when BT = TRUE. A list, with a component named L, which is the height (meters) of the tracker. In future versions the backtracking technique will be used in conjunction with two-axis trackers, and a additional component named W will be needed.
dist	Only needed when BT = TRUE. A data.frame, with a component named Lew, being the distance between the horizontal NS trackers along the East-West direction. In future versions an additional component named Lns will be needed for two-axis trackers with backtracking.

**Value**

A data.table object with these components:

Beta	numeric, inclination angle of the surface (radians). When modeTrk = 'fixed' it is the value of the argument beta converted from degrees to radians.
Alpha	numeric, azimuth angle of the surface (radians). When modeTrk = 'fixed' it is the value of the argument alpha converted from degrees to radians.
cosTheta	numeric, cosine of the incidence angle of the solar irradiance on the surface

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**References**

- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Panico, D., Garvison, P., Wenger, H. J., Shugar, D., Backtracking: a novel strategy for tracking PV systems, Photovoltaic Specialists Conference, 668-673, 1991
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

*C\_HQCurve*

57

**See Also**[fInclin](#), [fSombra](#), [calcGef](#).

---

*C\_HQCurve**H-Q curves of a centrifugal pump*

---

**Description**

Compute and display the H-Q curves of a centrifugal pump fed working at several frequencies, and the iso-efficiency curve as a reference.

**Usage**`HQCurve(pump)`**Arguments**

<code>pump</code>	list containing the parameters of the pump to be simulated. It may be a row of <a href="#">pumpCoef</a> .
-------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Value**

<code>result</code>	A <code>data.frame</code> with the result of the simulation. It contains several columns with values of manometric height (H), frequency (fe and fb), mechanical power (Pb), AC electrical power (Pm), DC electrical power (Pdc) and efficiency of the pump (etab) and motor (etam).
<code>plot</code>	The plot with several curves labelled with the correspondent frequencies, and the isoefficiency curve (named "ISO").

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**References**

- Abella, M. A., Lorenzo, E. y Chenlo, F.: PV water pumping systems based on standard frequency converters. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 11(3):179–191, 2003, ISSN 1099-159X.
- Perpiñán, O, *Energía Solar Fotovoltaica*, 2015. (<https://oscarperpnan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", *Journal of Statistical Software*, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

**See Also**[NmgPVPS](#), [prodPVPS](#), [pumpCoef](#).



**Examples**

```
library(lattice)
library(latticeExtra)

data(pumpCoef)

CoefSP8A44 <- subset(pumpCoef, Qn == 8&stages == 44)
CurvaSP8A44 <- HQCurve(pump = CoefSP8A44)
```

C\_local2Solar

*Local time, mean solar time and UTC time zone.***Description**

The function `local2Solar` converts the time zone of a `POSIXct` object to the mean solar time and set its time zone to UTC as a synonym of mean solar time. It includes two corrections: the difference of longitudes between the location and the time zone, and the daylight saving time.

The function `lonHH` calculates the longitude (radians) of a time zone.

**Usage**

```
local2Solar(x, lon = NULL)
lonHH(tz)
```

**Arguments**

<code>x</code>	a <code>POSIXct</code> object
<code>lon</code>	A numeric value of the longitude (degrees) of the location. If <code>lon = NULL</code> (default), this value is assumed to be equal to the longitude of the time zone of <code>x</code> , so only the daylight saving time correction (if needed) is included.
<code>tz</code>	A character, a time zone as documented in <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_tz_database_time_zones">https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_tz_database_time_zones</a> .

**Details**

Since the result of `local2Solar` is the mean solar time, the Equation of Time correction is not calculated with this function. The `eot` function includes this correction if desired.

**Value**

The function `local2Solar` produces a `POSIXct` object with its time zone set to UTC.

The function `lonHH` gives a numeric value.

**Note**

It is important to note that the `solar2` package sets the system time zone to UTC with `Sys.setenv(TZ = 'UTC')`.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

## References

- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

## Examples

```
t.local <- as.POSIXct("2006-01-08 10:07:52", tz = 'Europe/Madrid')

##The local time zone and the location have the same longitude (15 degrees)
local2Solar(t.local)
##But Madrid is at lon = -3
local2Solar(t.local, lon = -3)

##Daylight saving time
t.local.dst <- as.POSIXct("2006-07-08 10:07:52", tz = 'Europe/Madrid')

local2Solar(t.local.dst)
local2Solar(t.local.dst, lon = -3)
```

---

C\_NmgPVPS*Nomogram of a photovoltaic pumping system*

---

## Description

This function simulate the performance of a water pump fed by a frequency converter with several PV generators of different size during a day. The result is plotted as a nomogram which relates the nominal power of the PV generator, the total water flow and the total manometric head.

## Usage

```
NmgPVPS(pump, Pg, H, Gd, Ta = 30,
         lambda = 0.0045, TONC = 47, eta = 0.95,
         Gmax = 1200, t0 = 6, Nm = 6,
         title = '', theme = custom.theme.2())
```

## Arguments

pump	A list extracted from <a href="#">pumpCoef</a>
Pg	Sequence of values of the nominal power of the PV generator (Wp))
H	Sequence of values of the total manometric head (m)
Gd	Global irradiation incident on the generator (Wh/m <sup>2</sup> )
Ta	Ambient temperature (°C).
lambda	Power losses factor due to temperature
TONC	Nominal operational cell temperature (°C).
eta	Average efficiency of the frequency converter
Gmax	Maximum value of irradiance (parameter of the IEC 61725)
t0	Hours from midday to sunset (parameter of the IEC 61725)

Nm	Number of samples per hour
title	Main title of the plot.
theme	Theme of the lattice plot.

### Details

This function computes the irradiance profile according to the IEC 61725 "Analytical Expression for Daily Solar Profiles", which is a common reference in the official documents regarding PV pumping systems. At this version only pumps from the manufacturer Grundfos are included in [pumpCoef](#).

### Value

I	list with the results of irradiance, power and flow of the system.
D	list with the results of total irradiation, electrical energy and flow for every nominal power of the generator.
param	list with the arguments used in the call to the function.
plot	trellis object containing the nomogram.

### Author(s)

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

### References

- Abella, M. A., Lorenzo, E. y Chenlo, F.: PV water pumping systems based on standard frequency converters. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 11(3):179–191, 2003, ISSN 1099-159X.
- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

### See Also

[fPump](#), [prodPVPS](#), [pumpCoef](#)

### Examples

```
Pg = seq(4000, 8000, by = 100);
H = seq(120, 150, by = 5);

data(pumpCoef)

CoefSP8A44 <- subset(pumpCoef, Qn == 8 & stages == 44)

NmgSP8A44 <- NmgPVPS(pump = CoefSP8A44, Pg = Pg, H = H, Gd = 5000,
  title = 'Choice of Pump', theme = custom.theme())
```

*C\_sample2Diff*

61

---

*C\_sample2Diff**Small utilities for difftime objects.*

---

**Description**

`diff2Hours` converts a `difftime` object into its numeric value with `units = 'hours'`.

`char2diff` converts a character description into a `difftime` object, following the code of [seq.POSIXt](#).

`sample2Hours` calculates the sampling time in hours described by a character or a `difftime`.

`P2E` (power to energy) sums a series of power values (for example, irradiance) to obtain energy aggregation (for example, irradiation) using `sample2Hours` for the units conversion.

**Usage**

```
diff2Hours(by)
char2diff(by)
sample2Hours(by)
P2E(x, by)
```

**Arguments**

<code>by</code>	A character for <code>char2diff</code> , <code>sample2Hours</code> and <code>P2E</code> , or a <code>difftime</code> for <code>diff2Hours</code> , <code>sample2Hours</code> and <code>P2E</code> .
<code>x</code>	A numeric vector.

**Value**

A numeric value or a `difftime` object.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

**See Also**

[Sol](#)

**Examples**

```
char2diff('min')
char2diff('2 s')

sample2Hours('s')
sample2Hours('30 m')

by1 <- char2diff('10 min')
sample2Hours(by1)
```

---

C_solarAngles	<i>Solar angles</i>
---------------	---------------------

---

### Description

A set of functions that compute the apparent movement of the Sun from the Earth.

### Usage

```
## Declination
declination(d, method = 'michalsky')

## Eccentricity
eccentricity(d, method = 'michalsky')

## Equation of time
eot(d)

## Solar time
sunrise(d, lat, method = 'michalsky',
        decl = declination(d, method = method))

## Extraterrestrial irradiation
bo0d(d, lat, method = 'michalsky',
    decl = declination(d, method = method),
    eo = eccentricity(d, method = method),
    ws = sunrise(d, lat, method = method))

## Sun hour angle
sunHour(d, BTi, sample = 'hour', EoT = TRUE,
        method = 'michalsky',
        eqtime = eot(d))

## Cosine of the zenith angle
zenith(d, lat, BTi, sample = 'hour', method = 'michalsky',
    decl = declination(d, method = method),
    w = sunHour(d, BTi, sample, method = method))

## Azimuth angle
azimuth(d, lat, BTi, sample = 'hour', method = 'michalsky',
    decl = declination(d, method = method),
    w = sunHour(d, BTi, sample, method = method),
    cosThzS = zenith(d, lat, BTi, sample,
        method = method,
        decl = decl,
        w = w))
```

### Arguments

d                      Date, a daily time base, it may be the result of [fBTd](#)

*C\_solarAngles*

63

method	character, method for the sun geometry calculations, to be chosen from 'cooper', 'spencer', 'michalsky' and 'strous'. See references for details.
lat	numeric, latitude (degrees) of the point of the Earth where calculations are needed. It is positive for locations above the Equator.
sample	Character, increment of the intradaily sequence.
BTi	POSIXct, intradaily time base, it may the result of <a href="#">fBTi</a> .
EoT	logical, if EoT=TRUE (default value), the function sunHour use the Equation of time
decl, eo, ws, eqtime, w, cosThzS	Arguments that compute the variables they reference (default value). It can be replaced with previously calculated values to avoid calculating the same variable twice.

**References**

- Cooper, P.I., Solar Energy, 12, 3 (1969). "The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills"
- Spencer, Search 2 (5), 172, <https://www.mail-archive.com/sundial@uni-koeln.de/msg01050.html>
- Strous: <https://www.aa.quae.nl/en/reken/zonpositie.html>
- Michalsky, J., 1988: The Astronomical Almanac's algorithm for approximate solar position (1950-2050), Solar Energy 40, 227-235
- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, [doi:10.18637/jss.v050.i09](https://doi.org/10.18637/jss.v050.i09)

**See Also**[fSold](#), [fSolI](#), [calcSol](#)**Examples**

```
d = fBTd(mode = 'serie')[100]

decl = declination(d, method = 'michalsky')
decl

w = sunHour(d, sample = 'hour', method = 'michalsky')
w

cosThzS = zenith(d, lat = 37.2, sample = 'hour',
                 method = 'michalsky',
                 decl = decl,
                 w = w)
cosThzS
```

---

C_utils-angle	Conversion between angle units.
---------------	---------------------------------

---

**Description**

Several small functions to convert angle units.

**Usage**

d2r(x)  
r2d(x)  
h2r(x)  
h2d(x)  
r2h(x)  
d2h(x)  
r2sec(x)

**Arguments**

x	A numeric value.
---	------------------

**Value**

A numeric value:

**d2r:** Degrees to radians.

**r2d:** Radians to degrees.

**h2r:** Hours to radians.

**r2h:** Radians to hours.

**h2d:** Hours to degrees.

**d2h:** Degrees to hours.

**r2sec:** Radians to seconds.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

---

C_utils-time	Utilities for time indexes.
--------------	-----------------------------

---

**Description**

Several small functions to extract information from POSIXct indexes.

**Usage**

```
hms(x)
doy(x)
dom(x)
dst(x)
truncDay(x)
```

**Arguments**

x                      A POSIXct vector.

**Value**

doy and dom provide the (numeric) day of year and day of month, respectively.

hms gives the numeric value

hour(x)+minute(x)/60+second(x)/3600

dst is +1 if the Daylight Savings Time flag is in force, zero if not, -1 if unknown ([DateTimeClasses](#)).

truncDay truncates the POSIXct object towards the day.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro.

**See Also**

as.POSIXct

---

*D\_as.data.tableD-methods**Methods for Function as.data.tableD*

---

**Description**

Convert a Sol, G0, Gef, ProdGCPV or ProdPVPS object into a data.table object with daily values.

**Usage**

```
## S4 method for signature 'Sol'
as.data.tableD(object, complete=FALSE, day=FALSE)
```

**Arguments**

object	A Sol object (or extended.)
complete	A logical.
day	A logical.



## Methods

`signature(object = "Sol")` Conversion to a `data.table` object with the content of the `sold` slot. If `day=TRUE` (default is `FALSE`), the result includes three columns named `month`, `day` (day of the year) and `year`.

`signature(object = "G0")` If `complete=FALSE` (default) the result includes only the columns of `G0d`, `D0d` and `B0d` from the `G0D` slot. If `complete=TRUE` it returns the contents of the slots `sold` and `G0D`.

`signature(object = "Gef")` If `complete=FALSE` (default) the result includes only the columns of `Gefd`, `Defd` and `Befd` from the `GefD` slot. If `complete=TRUE` it returns the contents of the slots `sold`, `G0D` and `GefD`.

`signature(object = "ProdGCPV")` If `complete=FALSE` (default) the result includes only the columns of `Eac`, `Edc` and `Yf` from the `prodD` slot. If `complete=TRUE` it returns the contents of the slots `sold`, `G0D`, `GefD` and `prodD`.

`signature(object = "ProdPVPS")` If `complete=FALSE` (default) the result includes only the columns of `Eac`, `Qd` and `Yf` from the `prodD` slot. If `complete=TRUE` it returns the contents of the slots `sold`, `G0D`, `GefD` and `prodD`.

## Author(s)

Oscar Perpiñán Lamigueiro

## Examples

```
lat = 37.2
BTd = fBTd(mode = 'prom')
sol = calcSol(lat, BTd)
sold = as.data.tableD(sol)
sold

sold2 = as.data.tableD(sol, day = TRUE)
sold2

G0dm <- c(2766, 3491, 4494, 5912, 6989, 7742, 7919, 7027, 5369, 3562,
         2814, 2179)
Ta <- c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2, 28.4, 29.9, 24.3, 18.2,
       17.2, 15.2)
prom <- list(G0dm = G0dm, Ta = Ta)
prodfixed = prodGCPV(lat, dataRad = prom)
prodD = as.data.tableD(prodfixed, complete = TRUE, day = TRUE)
prodD
```

---

D\_as.data.tableI-methods

*Methods for Function as.data.tableI*

---

## Description

Convert a `Sol`, `G0`, `Gef`, `ProdGCPV` or `ProdPVPS` object into a `data.table` object with daily values.

**Usage**

```
## S4 method for signature 'Sol'  
as.data.tableI(object, complete=FALSE, day=FALSE)
```

**Arguments**

object	A Sol object (or extended.)
complete	A logical.
day	A logical.

**Methods**

`signature(object = "Sol")` If `complete=FALSE` and `day=FALSE` (default) the result includes only the content of the `solI` slot. If `complete=TRUE` the contents of the `sold` slots are included.

`signature(object = "G0")` If `complete=FALSE` and `day=FALSE` (default) the result includes only the columns of `G0`, `D0` and `B0` of the `G0I` slot. If `complete=TRUE` it returns the contents of the slots `G0I` and `solI`. If `day=TRUE` the daily values (slots `G0D` and `sold`) are also included.)

`signature(object = "Gef")` If `complete=FALSE` and `day=FALSE` (default) the result includes only the columns of `Gef`, `Def` and `Bef` of the `GefI` slot. If `complete=TRUE` it returns the contents of the slots `GefI`, `G0I` and `solI`. If `day=TRUE` the daily values (slots `GefD`, `G0D` and `sold`) are also included.)

`signature(object = "ProdGCPV")` If `complete=FALSE` and `day=FALSE` (default) the result includes only the columns of `Pac` and `Pdc` of the `prodI` slot. If `complete=TRUE` it returns the contents of the slots `prodI`, `GefI`, `G0I` and `solI`. If `day=TRUE` the daily values (slots `prodD`, `GefD`, `G0D` and `sold`) are also included.)

`signature(object = "ProdPVPS")` If `complete=FALSE` and `day=FALSE` (default) the result includes only the columns of `Pac` and `Q` of the `prodI` slot. If `complete=TRUE` it returns the contents of the slots `prodI`, `GefI`, `G0I` and `solI`. If `day=TRUE` the daily values (slots `prodD`, `GefD`, `G0D` and `sold`) are also included.)

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

**Examples**

```
lat = 37.2  
BTd = fBTd(mode = 'prom')[1]  
sol = calcSol(lat, BTd, keep.night = FALSE)  
solI = as.data.tableI(sol)  
solI  
  
solI2 = as.data.tableI(sol, day = TRUE)  
solI2  
  
G0dm <- c(2766, 3491, 4494, 5912, 6989, 7742, 7919, 7027, 5369, 3562,  
         2814, 2179)  
Ta <- c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2, 28.4, 29.9, 24.3, 18.2,  
       17.2, 15.2)  
prom <- list(G0dm = G0dm, Ta = Ta)  
prodfixed = prodGCPV(lat, dataRad = prom)  
prodI = as.data.tableI(prodfixed, complete = TRUE, day = TRUE)  
prodI
```

---

D\_as.data.tableM-methods

*Methods for Function as.data.tableM*


---

## Description

Convert a G0, Gef, ProdGCPV or ProdPVPS object into a as.data.table object with monthly average of daily values.

## Usage

```
## S4 method for signature 'G0'
as.data.tableM(object, complete=FALSE, day=FALSE)
```

## Arguments

object	A G0 object (or extended.)
complete	A logical.
day	A logical

## Methods

signature(object = "G0") The result is the G0dm slot. If day=TRUE (default is FALSE), the result includes two columns names month and year.

signature(object = "Gef") If complete=FALSE (default) the result is the slot Gefdm. If complete=TRUE it returns the slot G0dm.

signature(object = "ProdGCPV") If complete=FALSE (default) the result is the prodDm slot. If complete=TRUE the result includes the slots G0dm and Gefdm.

signature(object = "ProdPVPS") If complete=FALSE (default) the result is the prodDm slot. If complete=TRUE the result includes the slots G0dm and Gefdm.

## Author(s)

Oscar Perpiñán Lamigueiro

## Examples

```
lat = 37.2
G0dm <- c(2766, 3491, 4494, 5912, 6989, 7742, 7919, 7027, 5369, 3562,
         2814, 2179)
Ta <- c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2, 28.4, 29.9, 24.3, 18.2,
       17.2, 15.2)
prom <- list(G0dm = G0dm, Ta = Ta)
prodfixed = prodGCPV(lat, dataRad = prom)
prodM = as.data.tableM(prodfixed, complete = TRUE, day = TRUE)
prodM
```

---

*D\_as.data.tableY-methods**Methods for Function as.data.tableY*

---

**Description**

Convert a `G0`, `Gef`, `ProdGCPV` or `ProdPVPS` object into a `data.table` object with yearly values.

**Usage**

```
## S4 method for signature 'G0'  
as.data.tableY(object, complete=FALSE, day=FALSE)
```

**Arguments**

<code>object</code>	A <code>G0</code> object (or extended.)
<code>complete</code>	A logical.
<code>day</code>	A logical.

**Methods**

`signature(object = "G0")` The result is the `G0y` slot. If `day = TRUE` (default is `FALSE`), the result includes a column named `year`.

`signature(object = "Gef")` If `complete=FALSE` (default) the result is the slot `Gefy`. If `complete=TRUE` it returns the slot `G0y`.

`signature(object = "ProdGCPV")` If `complete=FALSE` (default) the result is the `prody` slot. If `complete=TRUE` the result includes the slots `G0y` and `Gefy`.

`signature(object = "ProdPVPS")` If `complete=FALSE` (default) the result is the `prody` slot. If `complete=TRUE` the result includes the slots `G0y` and `Gefy`.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

**Examples**

```
lat = 37.2  
G0dm <- c(2766, 3491, 4494, 5912, 6989, 7742, 7919, 7027, 5369, 3562,  
         2814, 2179)  
Ta <- c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2, 28.4, 29.9, 24.3, 18.2,  
       17.2, 15.2)  
prom <- list(G0dm = G0dm, Ta = Ta)  
prodfixed = prodGCPV(lat, dataRad = prom)  
prodY = as.data.tableY(prodfixed, complete = TRUE, day = TRUE)  
prodY
```

---

D\_compare-methods      *Compare G0, Gef and ProdGCPV objects*


---

**Description**

Compare and plot the yearly values of several objects.

**Usage**

```
## S4 method for signature 'G0'
compare(...)
```

**Arguments**

...                      A list of objects to be compared.

**Methods**

The class of the first element of ... is used to determine the suitable method. The result is plotted with [dotplot](#):

```
signature(... = "G0") yearly values of G0d, B0d and D0d.
signature(... = "Gef") yearly values of Gefd, Befd and Defd.
signature(... = "ProdGCPV") yearly values of Yf, Gefd and G0d.
```

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

**See Also**

[dotplot](#)

**Examples**

```
lat = 37.2;
G0dm = c(2766, 3491, 4494, 5912, 6989, 7742, 7919, 7027, 5369, 3562, 2814,
2179)
Ta = c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2, 28.4, 29.9, 24.3, 18.2, 17.2, 15.2)
prom = list(G0dm = G0dm, Ta = Ta)

###Comparison of different tracker methods
ProdFixed <- prodGCPV(lat = lat, dataRad = prom, keep.night = FALSE)
Prod2x <- prodGCPV(lat = lat, dataRad = prom, modeTrk = 'two', keep.night = FALSE)
ProdHoriz <- prodGCPV(lat = lat, dataRad = prom, modeTrk = 'horiz', keep.night = FALSE)

compare(ProdFixed, Prod2x, ProdHoriz)

##The first element rules the method
GefFixed = as(ProdFixed, 'Gef')
compare(GefFixed, Prod2x, ProdHoriz)
```

*D\_getData-methods*

71

---

*D\_getData-methods      Methods for function getData*

---

**Description**

Meteorological source data of a Meteo (or extended) object.

**Methods**

signature(object = "Meteo") returns the meteorological source data of the slot data of the object.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

---

*D\_getG0-methods      Methods for function getG0*

---

**Description**

Global irradiation source data of a Meteo (or extended) object.

**Methods**

signature(object = "Meteo") returns the global irradiation values stored in a Meteo object.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

---

*D\_getLat-methods      Methods for Function getLat*

---

**Description**

Latitude angle of solaR objects.

**Usage**

```
getLat(object, units='rad')
```

**Arguments**

object	A Sol or Meteo object (or extended.)
units	A character, 'rad' or 'deg'.

**Methods**

This function returns the latitude angle in radians (`units='rad'`, default) or degrees (`units='deg'`).

`signature(object = "Meteo")` Value of the `latData` slot, which is defined by the argument `lat` of the `readG0dm` and `readBDd` functions, or by the `lat` component of the `dataRad` object passed to `calcG0` (or equivalent). It is the latitude of the meteorological station (or equivalent) which provided the irradiation source data. It may be different from the value used for the calculation procedure.

`signature(object = "Sol")` Value of the `lat` slot, which is defined by the argument `lat` of the `calcSol` function. It is the value used through the calculation procedure.

`signature(object = "G0")` same as for the `Sol` class.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

---

D\_indexD-methods

---

*Methods for Function indexD*


---

**Description**

Daily time index of `solaR` objects.

**Methods**

`signature(object = "Meteo")` returns the index of the data slot (a `data.table` object.)

`signature(object = "Sol")` returns the index of the `sold` slot (a `data.table` object.)

`signature(object = "G0")` same as for `object='Sol'`

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

---

D\_indexI-methods

---

*Methods for Function indexI*


---

**Description**

Intra-daily time index of `solaR` objects.

**Methods**

`signature(object = "Sol")` returns the index of the slot `solI` (a `data.table` object).

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

---

D_levelplot-methods	<i>Methods for function levelplot.</i>
---------------------	----------------------------------------

---

**Description**

Methods for function levelplot and zoo and solaR objects.

**Methods**

signature(x = "formula", data = "Meteo"): The Meteo object is converted into a data.table object, and the previous method is used.  
signature(x = "formula", data = "Sol"): idem  
signature(x = "formula", data = "G0"): idem

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

---

D_Losses-methods	<i>Losses of a GCPV system</i>
------------------	--------------------------------

---

**Description**

The function losses calculates the yearly losses from a Gef or a ProdGCPV object. The function compareLosses compares the losses from several ProdGCPV objects and plots the result with dotplot.

**Usage**

compareLosses(...)  
losses(object)

**Arguments**

...                    A list of ProdGCPV objects to be compared.  
object                An object of Gef or ProdGCPV class..

**Methods**

signature(... = "Gef") shadows and angle of incidence (AoI) losses.  
signature(... = "ProdGCPV") shadows, AoI, generator (mainly temperature), DC and AC system (as detailed in effSys of fProd) and inverter losses.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro



## References

- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, doi:10.18637/jss.v050.i09

## See Also

[fInclin](#), [fProd](#)

## Examples

```
lat = 37.2;
G0dm = c(2766, 3491, 4494, 5912, 6989, 7742, 7919, 7027, 5369, 3562, 2814,
2179)
Ta = c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2, 28.4, 29.9, 24.3, 18.2, 17.2, 15.2)
prom = list(G0dm = G0dm, Ta = Ta)

###Comparison of different tracker methods
ProdFixed <- prodGCPV(lat = lat,dataRad = prom, keep.night = FALSE)
Prod2x <- prodGCPV(lat = lat, dataRad = prom, modeTrk = 'two', keep.night = FALSE)
ProdHoriz <- prodGCPV(lat = lat,dataRad = prom, modeTrk = 'horiz', keep.night = FALSE)

losses(ProdFixed)
losses(as(ProdFixed, 'Gef'))

compareLosses(ProdFixed, Prod2x, ProdHoriz)
```

---

D\_mergesolaR-methods    *Merge solaR objects*

---

## Description

Merge the daily time series of solaR objects

## Usage

```
## S4 method for signature 'G0'
mergesolaR(...)
```

## Arguments

...                      A list of objects to be merged.

## Methods

The class of the first element of ... is used to determine the suitable method. Only the most important daily variable is merged, depending on the class of the objects:

```
signature(... = "Meteo") G0
signature(... = "G0") G0d
signature(... = "Gef") Gefd
signature(... = "ProdGCPV") Yf
signature(... = "ProdPVPS") Yf
```

**Examples**

```
lat = 37.2;
G0dm = c(2766, 3491, 4494, 5912, 6989, 7742, 7919, 7027, 5369, 3562, 2814,
2179)
Ta = c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2, 28.4, 29.9, 24.3, 18.2, 17.2, 15.2)
prom = list(G0dm = G0dm, Ta = Ta)

###Different tracker methods
ProdFixed <- prodGCPV(lat = lat,dataRad = prom, keep.night = FALSE)
Prod2x <- prodGCPV(lat = lat, dataRad = prom, modeTrk = 'two', keep.night = FALSE)
ProdHoriz <- prodGCPV(lat = lat,dataRad = prom, modeTrk = 'horiz', keep.night = FALSE)

prod <- mergesolaR(ProdFixed, Prod2x, ProdHoriz)
head(prod)
```

---

<i>D_shadeplot-methods</i>	<i>Methods for Function shadeplot</i>
----------------------------	---------------------------------------

---

**Description**

Visualization of the content of a [Shade](#) object.

**Methods**

`signature(x = "Shade")` display the results of the iteration with a level plot for the two-axis tracking, or with conventional plot for horizontal tracking and fixed systems.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

---

<i>D_window-methods</i>	<i>Methods for extracting a time window</i>
-------------------------	---------------------------------------------

---

**Description**

Method for extracting the subset of a `solaR` object whose daily time index ([indexD](#)) is comprised between the times `i` and `j`.

**Usage**

```
## S4 method for signature 'Meteo'
x[i, j, ..., drop = TRUE]
## S4 method for signature 'Sol'
x[i, j, ..., drop = TRUE]
## S4 method for signature 'G0'
x[i, j, ..., drop = TRUE]
## S4 method for signature 'Gef'
x[i, j, ..., drop = TRUE]
## S4 method for signature 'ProdGCPV'
x[i, j, ..., drop = TRUE]
## S4 method for signature 'ProdPVPS'
x[i, j, ..., drop = TRUE]
```

**Arguments**

x	A Meteo, Sol, etc. object.
i	an index/time value (Date or POSIXct classes) defining the start of the time window.
j	an index/time value (Date or POSIXct classes) defining the end of the time window.
..., drop	Additional arguments for window.zoo

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

**See Also**

[indexD](#)

**Examples**

```
lat = 37.2
sol = calcSol(lat, BTd = fBTd(mode = 'serie'))
range(indexD(sol))

start <- as.Date(indexD(sol)[1])
end <- start + 30

solWindow <- sol[start, end]
range(indexD(solWindow))
```

---

D\_writeSolar-methods    *Exporter of solaR results*

---

**Description**

Exports the results of the solaR functions as text files using [write.table](#)

**Usage**

```
## S4 method for signature 'Sol'
writeSolar(object, file, complete = FALSE,
           day = FALSE, timeScales = c('i', 'd', 'm', 'y'), sep = ',', ...)
```

**Arguments**

object	A Sol object (or extended.)
file	A character with the name of the file.
complete	A logical. Should all the variables be exported?
day	A logical. Should be daily values included in the intradaily file?
timeScales	A character. Use 'i' to export intradaily values, 'd' for daily values, 'm' for monthly values and 'y' for yearly values. A different file will be created for each choice.
sep	The field separator character.
...	Additional arguments for write.table

**Methods**

`signature(object = "Sol")` This function exports the slots with results using `write.table`. If `complete = FALSE` and `day = FALSE` (default) the result includes only the content of the `solI` slot. If `day = TRUE` the contents of the `solD` slot are included.

`signature(object = "G0")` If `complete = FALSE` and `day = FALSE` (default) the result includes only the columns of `G0`, `D0` and `B0` of the `G0I` slot. If `complete = TRUE` it returns the contents of the slots `G0I` and `solI`. If `day = TRUE` the daily values (slots `G0D` and `solD`) are also included.

`signature(object = "Gef")` If `complete = FALSE` and `day = FALSE` (default) the result includes only the columns of `Gef`, `Def` and `Bef` of the `GefI` slot. If `complete = TRUE` it returns the contents of the slots `GefI`, `G0I` and `solI`. If `day = TRUE` the daily values (slots `GefD`, `G0D` and `solD`) are also included.

`signature(object = "ProdGCPV")` If `complete = FALSE` and `day = FALSE` (default) the result includes only the columns of `Pac` and `Pdc` of the `prodI` slot. If `complete = TRUE` it returns the contents of the slots `prodI`, `GefI`, `G0I` and `solI`. If `day = TRUE` the daily values (slots `prodD`, `GefD`, `G0D` and `solD`) are also included.

`signature(object = "ProdPVPS")` If `complete = FALSE` and `day = FALSE` (default) the result includes only the columns of `Pac` and `Q` of the `prodI` slot. If `complete = TRUE` it returns the contents of the slots `prodI`, `GefI`, `G0I` and `solI`. If `day = TRUE` the daily values (slots `prodD`, `GefD`, `G0D` and `solD`) are also included.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

**See Also**

`write.table`, `fread`, `as.data.tableI`, `as.data.tableD`, `as.data.tableM`, `as.data.tableY`

**Examples**

```
lat <- 37.2;
G0dm <- c(2766, 3491, 4494, 5912, 6989, 7742, 7919, 7027, 5369, 3562, 2814, 2179)
Ta <- c(10, 14.1, 15.6, 17.2, 19.3, 21.2, 28.4, 29.9, 24.3, 18.2, 17.2, 15.2)
prom <- list(G0dm = G0dm, Ta = Ta)

prodFixed <- prodGCPV(lat = lat, dataRad = prom, modeRad = 'aguilar', keep.night = FALSE)

old <- setwd(tempdir())

writeSolar(prodFixed, 'prodFixed.csv')

dir()

zI <- fread("prodFixed.csv",
            header = TRUE, sep = ",")
zI

zD <- fread("prodFixed.D.csv",
            header = TRUE, sep = ",")
zD

zM <- fread("prodFixed.M.csv",
            header = TRUE, sep = ",")
```

```

zM
zY <- fread("prodFixed.Y.csv",
            header = TRUE, sep = ",")
zY
setwd(old)

```

D\_xyplot-methods

*Methods for function xyplot in Package 'solaR'***Description**

Methods for function xyplot in Package 'solaR'

**Methods**

`signature(x = "data.table", data = "missing")`: This method creates an XY plot for objects of class `data.table` without specifying a data argument. It must contain a column named `Dates` with the time information.

`signature(x = "formula", data = "Meteo")`: The `Meteo` object is converted into a `data.table` object with `getData(x)` and displayed with the method for `data.table`.

`signature(x = "formula", data = "Sol")`: The `Sol` object is converted into a `data.table` object with `as.data.tableI(x, complete = TRUE, day = TRUE)` and displayed with the method for `data.table`.

`signature(x = "formula", data = "G0")`: Idem.

`signature(x = "Meteo", data = "missing")`: The `Meteo` object is converted into a `data.table` object with `getData(data)`. This `data.table` is the `x` argument for a call to `xyplot`, using the S4 method for `signature(x = "data.table", data = "missing")`.

`signature(x = "G0", data = "missing")`: The `G0` object is converted into a `data.table` object with `indexD(data)`. This `data.table` is the `x` argument for a call to `xyplot`, using the S4 method for `signature(x = 'data.table', data = 'missing')`.

`signature(x = "ProdGCPV", data = "missing")`: Idem, but the variables are not superposed.

`signature(x = "ProdPVPS", data = "missing")`: Idem.

`signature(x = "formula", data = "Shade")`: Idem.

**Author(s)**

Oscar Perpiñán Lamigueiro

*E\_aguiar*

79

---

*E\_aguiar**Markov Transition Matrices for the Aguiar etal. procedure*

---

**Description**

Markov Transition Matrices and auxiliary data for generating sequences of daily radiation values.

**Usage**

`data(MTM)`

**Format**

MTM is a `data.frame` with the collection of Markov Transition Matrices defined in the paper "Simple procedure for generating sequences of daily radiation values using a library of Markov transition matrices", Aguiar et al., Solar Energy, 1998. `Ktlim` (matrix) and `Ktmtm` (vector) are auxiliary data to choose the correspondent matrix of the collection.

---

*E\_helios**Daily irradiation and ambient temperature from the Helios-IES database*

---

**Description**

A year of irradiation, maximum and minimum ambient temperature from the HELIOS-IES database.

**Usage**

`data(helios)`

**Format**

A data frame with 355 observations on the following 4 variables:

`yyyy.mm.dd` a factor: year, month and day.

`G.0.` a numeric vector, daily global horizontal irradiation.

`TambMax` a numeric vector, maximum ambient temperature.

`TambMin` a numeric vector, minimum ambient temperature.

**Source**

<http://helios.ies-def.upm.es/consulta.aspx>

E\_prodEx

*Productivity of a set of PV systems of a PV plant.***Description**

A data.table object with the time evolution of the final productivity of a set of 22 systems of a large PV plant.

**Usage**

```
data(prodEx)
```

**References**

O. Perpiñán, Statistical analysis of the performance and simulation of a two-axis tracking PV system, Solar Energy, 83:11(2074–2085), 2009.[https://oa.upm.es/1843/1/PERPINAN\\_ART2009\\_01.pdf](https://oa.upm.es/1843/1/PERPINAN_ART2009_01.pdf)

E\_pumpCoef

*Coefficients of centrifugal pumps.***Description**

Coefficients of centrifugal pumps

**Usage**

```
data(pumpCoef)
```

**Format**

A data.table with 13 columns:

**Qn** rated flux

**stages** number of stages

**Qmax** maximum flux

**Pmn** rated motor power

**a, b, c** Coefficients of the equation  $H = a \cdot f^2 + b \cdot f \cdot Q + c \cdot Q^2$ .

**g, h, i** Coefficients of the efficiency curve of the motor (50 Hz):  $\eta_m = g \cdot (\%P_{mn})^2 + h \cdot (\%P_{mn}) + i$ .

**j, k, l** Coefficients of the efficiency curve of the pump (50 Hz):  $\eta_b = j \cdot Q^2 + k \cdot Q + l$ .

**Details**

With this version only pumps from the manufacturer Grundfos are included.

**Source**

<https://product-selection.grundfos.com/>

*E\_SIAR*

81

**References**

- Perpiñán, O, Energía Solar Fotovoltaica, 2015. (<https://oscarperpinan.github.io/esf/>)
- Perpiñán, O. (2012), "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R", Journal of Statistical Software, 50(9), 1-32, [doi:10.18637/jss.v050.i09](https://doi.org/10.18637/jss.v050.i09)

---

*E\_SIAR**Data on the stations that make up the SIAR network*

---

**Description**

Information about the location and operational status of the stations that make up the SIAR network

**Usage**

```
data(SIAR)
```

**Format**

`est_SIAR` is a `data.table` with 625 estations containing the following information:

`Estacion` character, name of the station.

`Codigo` character, code of the station.

`Longitud` numeric, longitude of the station in degrees (negative is for locations in the west).

`Latitud` numeric, latitud of the station in degrees.

`Altitud` integer, altitude of the station in meters.

`Fecha_Instalacion` Date, day the station was installed, and therefore, the start of its records.

`Fecha_Baja` Date, day the station was decommisioned, and therefore, the end of its records (if its value is NA, it means it is still operational).

**Source**

<https://servicio.mapa.gob.es/websiar/>

---

*E\_solaR.theme**solaR theme*

---

**Description**

A customized theme for lattice. It is based on the `custom.theme.2` function of the `latticeExtra` package with the next values:

- `pch = 19`
- `cex = 0.7`
- `region = rev(brewer.pal(9, 'YlOrRd'))`
- `strip.background$col = 'lightgray'`
- `strip.shingle$col = 'transparent'`



---

# Index

## \* classes

B1\_Meteo-class, [27](#)  
B2\_Sol-class, [28](#)  
B3\_G0-class, [29](#)  
B4\_Gef-class, [30](#)  
B5\_ProdGCPV-class, [32](#)  
B6\_ProdPVPS-class, [33](#)  
B7\_Shade-class, [34](#)

## \* constructors

A1\_calcSol, [5](#)  
A2\_calcG0, [6](#)  
A3\_calcGef, [9](#)  
A4\_prodGCPV, [11](#)  
A5\_prodPVPS, [15](#)  
A6\_calcShd, [17](#)  
A7\_optimShd, [18](#)  
A8\_readBD, [23](#)  
A8\_readG0dm, [25](#)  
A8\_readSIAR, [26](#)

## \* datasets

E\_aguiar, [79](#)  
E\_helios, [79](#)  
E\_prodEx, [80](#)  
E\_pumpCoef, [80](#)  
E\_SIAR, [81](#)  
E\_solar.theme, [81](#)

## \* methods

D\_as.data.tableD-methods, [65](#)  
D\_as.data.tableI-methods, [66](#)  
D\_as.data.tableM-methods, [68](#)  
D\_as.data.tableY-methods, [69](#)  
D\_compare-methods, [70](#)  
D\_getData-methods, [71](#)  
D\_getG0-methods, [71](#)  
D\_getLat-methods, [71](#)  
D\_indexD-methods, [72](#)  
D\_indexI-methods, [72](#)  
D\_levelplot-methods, [73](#)  
D\_Losses-methods, [73](#)  
D\_mergesolar-methods, [74](#)  
D\_shadeplot-methods, [75](#)  
D\_window-methods, [75](#)  
D\_writeSolar-methods, [76](#)

D\_xyplot-methods, [78](#)

## \* utilities

C\_corrFdKt, [36](#)  
C\_fBTd, [38](#)  
C\_fBTi, [39](#)  
C\_fCompD, [40](#)  
C\_fCompI, [41](#)  
C\_fInclin, [43](#)  
C\_fProd, [45](#)  
C\_fPump, [47](#)  
C\_fSolD, [48](#)  
C\_fSolI, [50](#)  
C\_fSombra, [52](#)  
C\_fTemp, [54](#)  
C\_fTheta, [55](#)  
C\_HQCurve, [57](#)  
C\_local2Solar, [58](#)  
C\_NmgPVPS, [59](#)  
C\_sample2Diff, [61](#)  
C\_solarAngles, [62](#)  
C\_utils-angle, [64](#)  
C\_utils-time, [64](#)

[,G0,ANY,ANY-method (D\_window-methods),  
[75](#)

[,G0-method (D\_window-methods), [75](#)

[,Gef,ANY,ANY-method  
(D\_window-methods), [75](#)

[,Gef-method (D\_window-methods), [75](#)

[,Meteo,ANY,ANY-method  
(D\_window-methods), [75](#)

[,Meteo-method (D\_window-methods), [75](#)

[,ProdGCPV,ANY,ANY-method  
(D\_window-methods), [75](#)

[,ProdGCPV-method (D\_window-methods), [75](#)

[,ProdPVPS,ANY,ANY-method  
(D\_window-methods), [75](#)

[,ProdPVPS-method (D\_window-methods), [75](#)

[,Sol,ANY,ANY-method  
(D\_window-methods), [75](#)

[,Sol-method (D\_window-methods), [75](#)

A1\_calcSol, [5](#)

A2\_calcG0, [6](#)

A3\_calcGef, [9](#)

- A4\_prodGCPV, [11](#)
- A5\_prodPVPS, [15](#)
- A6\_calcShd, [17](#)
- A7\_optimShd, [18](#)
- A8\_Meteo2Meteo, [22](#)
- A8\_readBD, [23](#)
- A8\_readG0dm, [25](#)
- A8\_readSIAR, [26](#)
- aguiar (E\_aguiar), [79](#)
- as.data.frame, Shade-method  
(B7\_Shade-class), [34](#)
- as.data.tableD, [77](#)
- as.data.tableD  
(D\_as.data.tableD-methods), [65](#)
- as.data.tableD,G0-method  
(D\_as.data.tableD-methods), [65](#)
- as.data.tableD,Gef-method  
(D\_as.data.tableD-methods), [65](#)
- as.data.tableD,ProdGCPV-method  
(D\_as.data.tableD-methods), [65](#)
- as.data.tableD,ProdPVPS-method  
(D\_as.data.tableD-methods), [65](#)
- as.data.tableD,Sol-method  
(D\_as.data.tableD-methods), [65](#)
- as.data.tableD-methods  
(D\_as.data.tableD-methods), [65](#)
- as.data.tableI, [77](#)
- as.data.tableI  
(D\_as.data.tableI-methods), [66](#)
- as.data.tableI,G0-method  
(D\_as.data.tableI-methods), [66](#)
- as.data.tableI,Gef-method  
(D\_as.data.tableI-methods), [66](#)
- as.data.tableI,ProdGCPV-method  
(D\_as.data.tableI-methods), [66](#)
- as.data.tableI,ProdPVPS-method  
(D\_as.data.tableI-methods), [66](#)
- as.data.tableI,Sol-method  
(D\_as.data.tableI-methods), [66](#)
- as.data.tableI-methods  
(D\_as.data.tableI-methods), [66](#)
- as.data.tableM, [77](#)
- as.data.tableM  
(D\_as.data.tableM-methods), [68](#)
- as.data.tableM,G0-method  
(D\_as.data.tableM-methods), [68](#)
- as.data.tableM,Gef-method  
(D\_as.data.tableM-methods), [68](#)
- as.data.tableM,ProdGCPV-method  
(D\_as.data.tableM-methods), [68](#)
- as.data.tableM,ProdPVPS-method  
(D\_as.data.tableM-methods), [68](#)
- as.data.tableM-methods  
(D\_as.data.tableM-methods), [68](#)
- as.data.tableY, [77](#)
- as.data.tableY  
(D\_as.data.tableY-methods), [69](#)
- as.data.tableY,G0-method  
(D\_as.data.tableY-methods), [69](#)
- as.data.tableY,Gef-method  
(D\_as.data.tableY-methods), [69](#)
- as.data.tableY,ProdGCPV-method  
(D\_as.data.tableY-methods), [69](#)
- as.data.tableY,ProdPVPS-method  
(D\_as.data.tableY-methods), [69](#)
- as.data.tableY-methods  
(D\_as.data.tableY-methods), [69](#)
- as.POSIXct, [38](#)
- azimuth (C\_solarAngles), [62](#)
- B1\_Meteo-class, [27](#)
- B2\_Sol-class, [28](#)
- B3\_G0-class, [29](#)
- B4\_Gef-class, [30](#)
- B5\_ProdGCPV-class, [32](#)
- B6\_ProdPVPS-class, [33](#)
- B7\_Shade-class, [34](#)
- bo0d (C\_solarAngles), [62](#)
- C\_corrFdKt, [36](#)
- C\_fBTd, [38](#)
- C\_fBTi, [39](#)
- C\_fCompD, [40](#)
- C\_fCompI, [41](#)
- C\_fInclin, [43](#)
- C\_fProd, [45](#)
- C\_fPump, [47](#)
- C\_fSolD, [48](#)
- C\_fSolI, [50](#)
- C\_fSombra, [52](#)
- C\_fTemp, [54](#)
- C\_fTheta, [55](#)
- C\_HQCurve, [57](#)
- C\_local2Solar, [58](#)
- C\_NmgPVPS, [59](#)
- C\_sample2Diff, [61](#)
- C\_solarAngles, [62](#)
- C\_utils-angle, [64](#)
- C\_utils-time, [64](#)
- calcG0, [9](#), [10](#), [12](#), [13](#), [16](#), [18](#), [19](#), [24](#), [29](#), [43](#), [50](#)
- calcG0 (A2\_calcG0), [6](#)
- calcGef, [12](#), [13](#), [16](#), [17](#), [19](#), [30](#), [43](#), [44](#), [55](#), [57](#)
- calcGef (A3\_calcGef), [9](#)
- calcShd, [9](#), [10](#), [13](#), [18](#), [21](#), [54](#)
- calcShd (A6\_calcShd), [17](#)

- calcSol, [6–10](#), [12](#), [16](#), [19](#), [28](#), [36](#), [40–42](#), [54–56](#), [63](#)
- calcSol (A1\_calcSol), [5](#)
- char2diff (C\_sample2Diff), [61](#)
- compare, [13](#)
- compare (D\_compare-methods), [70](#)
- compare,G0-method (D\_compare-methods), [70](#)
- compare,Gef-method (D\_compare-methods), [70](#)
- compare,ProdGCPV-method (D\_compare-methods), [70](#)
- compare-methods (D\_compare-methods), [70](#)
- compareLosses, [13](#)
- compareLosses (D\_Losses-methods), [73](#)
- compareLosses,ProdGCPV-method (D\_Losses-methods), [73](#)
- compareLosses-methods (D\_Losses-methods), [73](#)
- corrFdKt, [7](#), [8](#), [40](#), [42](#)
- corrFdKt (C\_corrFdKt), [36](#)
- d2h (C\_utils-angle), [64](#)
- d2r (C\_utils-angle), [64](#)
- D\_as.data.tableD-methods, [65](#)
- D\_as.data.tableI-methods, [66](#)
- D\_as.data.tableM-methods, [68](#)
- D\_as.data.tableY-methods, [69](#)
- D\_compare-methods, [70](#)
- D\_getData-methods, [71](#)
- D\_getG0-methods, [71](#)
- D\_getLat-methods, [71](#)
- D\_indexD-methods, [72](#)
- D\_indexI-methods, [72](#)
- D\_levelplot-methods, [73](#)
- D\_Losses-methods, [73](#)
- D\_mergesolar-methods, [74](#)
- D\_shadeplot-methods, [75](#)
- D\_window-methods, [75](#)
- D\_writeSolar-methods, [76](#)
- D\_xyplot-methods, [78](#)
- DateTimeClasses, [65](#)
- declination (C\_solarAngles), [62](#)
- diff2Hours (C\_sample2Diff), [61](#)
- dom (C\_utils-time), [64](#)
- dotplot, [70](#), [73](#)
- doy (C\_utils-time), [64](#)
- dst (C\_utils-time), [64](#)
- dt2Meteo, [7](#), [8](#), [27](#), [42](#)
- dt2Meteo (A8\_readBD), [23](#)
- E\_aguiar, [79](#)
- E\_helios, [79](#)
- E\_prodEx, [80](#)
- E\_pumpCoef, [80](#)
- E\_SIAR, [81](#)
- E\_solar.theme, [81](#)
- eccentricity (C\_solarAngles), [62](#)
- eot, [58](#)
- eot (C\_solarAngles), [62](#)
- est\_SIAR (E\_SIAR), [81](#)
- fBTd, [5](#), [6](#), [49](#), [62](#)
- fBTd (C\_fBTd), [38](#)
- fBTi, [5](#), [63](#)
- fBTi (C\_fBTi), [39](#)
- fCompD, [6–8](#), [29](#), [36](#), [37](#), [42](#)
- fCompD (C\_fCompD), [40](#)
- fCompI, [6–8](#), [29](#), [36](#), [37](#), [41](#), [44](#)
- fCompI (C\_fCompI), [41](#)
- FdKtBRL (C\_corrFdKt), [36](#)
- FdKtCLIMEDd (C\_corrFdKt), [36](#)
- FdKtCLIMEDh, [42](#)
- FdKtCLIMEDh (C\_corrFdKt), [36](#)
- FdKtCPR, [7](#), [40](#)
- FdKtCPR (C\_corrFdKt), [36](#)
- FdKtEKDd (C\_corrFdKt), [36](#)
- FdKtEKDh (C\_corrFdKt), [36](#)
- FdKtLJ (C\_corrFdKt), [36](#)
- FdKtPage, [7](#), [40](#)
- FdKtPage (C\_corrFdKt), [36](#)
- fInclin, [9](#), [10](#), [13](#), [18](#), [30](#), [46](#), [57](#), [74](#)
- fInclin (C\_fInclin), [43](#)
- fProd, [13](#), [32](#), [73](#), [74](#)
- fProd (C\_fProd), [45](#)
- fPump, [16](#), [17](#), [34](#), [60](#)
- fPump (C\_fPump), [47](#)
- fread, [24](#), [25](#), [77](#)
- fSolD, [5](#), [7](#), [9](#), [12](#), [16](#), [19](#), [28](#), [38](#), [40](#), [51](#), [63](#)
- fSolD (C\_fSolD), [48](#)
- fSolI, [5](#), [7](#), [9](#), [12](#), [16](#), [19](#), [28](#), [41](#), [42](#), [63](#)
- fSolI (C\_fSolI), [50](#)
- fSombra, [17](#), [53](#), [57](#)
- fSombra (C\_fSombra), [52](#)
- fSombra2X (C\_fSombra), [52](#)
- fSombra6, [17](#), [20](#), [53](#)
- fSombra6 (C\_fSombra), [52](#)
- fSombraEst, [53](#)
- fSombraEst (C\_fSombra), [52](#)
- fSombraHoriz, [53](#)
- fSombraHoriz (C\_fSombra), [52](#)
- fTemp, [6](#), [24](#), [46](#)
- fTemp (C\_fTemp), [54](#)
- fTheta, [9](#), [10](#), [13](#), [18](#), [30](#), [43](#), [44](#), [54](#)
- fTheta (C\_fTheta), [55](#)

- G0, [28, 31–35](#)
- G0-class (B3\_G0-class), [29](#)
- Gef, [17, 28, 30, 32–35, 45](#)
- Gef-class (B4\_Gef-class), [30](#)
- getData (D\_getData-methods), [71](#)
- getData, Meteo-method (D\_getData-methods), [71](#)
- getData-methods (D\_getData-methods), [71](#)
- getG0 (D\_getG0-methods), [71](#)
- getG0, Meteo-method (D\_getG0-methods), [71](#)
- getG0-methods (D\_getG0-methods), [71](#)
- getLat (D\_getLat-methods), [71](#)
- getLat, G0-method (D\_getLat-methods), [71](#)
- getLat, Meteo-method (D\_getLat-methods), [71](#)
- getLat, Sol-method (D\_getLat-methods), [71](#)
- getLat-methods (D\_getLat-methods), [71](#)
- h2d (C\_utils-angle), [64](#)
- h2r (C\_utils-angle), [64](#)
- helios (E\_helios), [79](#)
- hms (C\_utils-time), [64](#)
- HQCurve (C\_HQCurve), [57](#)
- indexD, [75, 76](#)
- indexD (D\_indexD-methods), [72](#)
- indexD, G0-method (D\_indexD-methods), [72](#)
- indexD, Meteo-method (D\_indexD-methods), [72](#)
- indexD, Sol-method (D\_indexD-methods), [72](#)
- indexD-methods (D\_indexD-methods), [72](#)
- indexI (D\_indexI-methods), [72](#)
- indexI, Sol-method (D\_indexI-methods), [72](#)
- indexI-methods (D\_indexI-methods), [72](#)
- Ktd (C\_corrFdKt), [36](#)
- Kti (C\_corrFdKt), [36](#)
- Ktlim (E\_aguiar), [79](#)
- Ktm (C\_corrFdKt), [36](#)
- Ktmtm (E\_aguiar), [79](#)
- levelplot, formula, G0-method (D\_levelplot-methods), [73](#)
- levelplot, formula, Meteo-method (D\_levelplot-methods), [73](#)
- levelplot, formula, Sol-method (D\_levelplot-methods), [73](#)
- levelplot, formula, zoo-method (D\_levelplot-methods), [73](#)
- levelplot-methods (D\_levelplot-methods), [73](#)
- local2Solar (C\_local2Solar), [58](#)
- lonHH (C\_local2Solar), [58](#)
- losses (D\_Losses-methods), [73](#)
- losses, Gef-method (D\_Losses-methods), [73](#)
- losses, ProdGCPV-method (D\_Losses-methods), [73](#)
- losses-methods (D\_Losses-methods), [73](#)
- mergesolaR, [13](#)
- mergesolaR (D\_mergesolaR-methods), [74](#)
- mergesolaR, G0-method (D\_mergesolaR-methods), [74](#)
- mergesolaR, Gef-method (D\_mergesolaR-methods), [74](#)
- mergesolaR, Meteo-method (D\_mergesolaR-methods), [74](#)
- mergesolaR, ProdGCPV-method (D\_mergesolaR-methods), [74](#)
- mergesolaR, ProdPVPS-method (D\_mergesolaR-methods), [74](#)
- mergesolaR-methods (D\_mergesolaR-methods), [74](#)
- Meteo, [29, 31, 32, 34–36, 54](#)
- Meteo-class (B1\_Meteo-class), [27](#)
- Meteod2Meteom (A8\_Meteo2Meteo), [22](#)
- Meteoi2Meteod (A8\_Meteo2Meteo), [22](#)
- MTM (E\_aguiar), [79](#)
- NmgPVPS, [17, 48, 57](#)
- NmgPVPS (C\_NmgPVPS), [59](#)
- optimShd, [34, 54](#)
- optimShd (A7\_optimShd), [18](#)
- P2E (C\_sample2Diff), [61](#)
- prodEx (E\_prodEx), [80](#)
- ProdGCPV, [35](#)
- prodGCPV, [21, 32, 45, 46](#)
- prodGCPV (A4\_prodGCPV), [11](#)
- ProdGCPV-class (B5\_ProdGCPV-class), [32](#)
- ProdPVPS, [16](#)
- prodPVPS, [33, 34, 48, 57, 60](#)
- prodPVPS (A5\_prodPVPS), [15](#)
- ProdPVPS-class (B6\_ProdPVPS-class), [33](#)
- pumpCoef, [16, 17, 33, 47, 48, 57, 59, 60](#)
- pumpCoef (E\_pumpCoef), [80](#)
- r2d (C\_utils-angle), [64](#)
- r2h (C\_utils-angle), [64](#)
- r2sec (C\_utils-angle), [64](#)
- readBDd, [6–8, 23, 25–27, 36, 40, 54, 55, 72](#)
- readBDd (A8\_readBD), [23](#)
- readBDi, [7, 8, 27, 36, 42](#)
- readBDi (A8\_readBD), [23](#)
- readG0dm, [7, 8, 23, 25–27, 36, 40, 72](#)

- readG0dm (A8\_readG0dm), 25
- readSIAR, 23
- readSIAR (A8\_readSIAR), 26
- sample2Hours (C\_sample2Diff), 61
- seq.POSIXt, 5, 7, 19, 38, 50, 61
- Shade, 21, 33, 75
- Shade-class (B7\_Shade-class), 34
- shadeplot (D\_shadeplot-methods), 75
- shadeplot, Shade-method  
(D\_shadeplot-methods), 75
- shadeplot-methods  
(D\_shadeplot-methods), 75
- show, G0-method (B3\_G0-class), 29
- show, Gef-method (B4\_Gef-class), 30
- show, Meteo-method (B1\_Meteo-class), 27
- show, ProdGCPV-method  
(B5\_ProdGCPV-class), 32
- show, ProdPVPS-method  
(B6\_ProdPVPS-class), 33
- show, Shade-method (B7\_Shade-class), 34
- show, Sol-method (B2\_Sol-class), 28
- Sol, 29–36, 54, 61
- Sol-class (B2\_Sol-class), 28
- solaR.theme (E\_solaR.theme), 81
- solaR2 (solaR2-package), 3
- solaR2-package, 3
- sunHour (C\_solarAngles), 62
- sunrise (C\_solarAngles), 62
- truncDay (C\_utils-time), 64
- window (D\_window-methods), 75
- window-methods (D\_window-methods), 75
- write.table, 76, 77
- writeSolar (D\_writeSolar-methods), 76
- writeSolar, Sol-method  
(D\_writeSolar-methods), 76
- writeSolar-methods  
(D\_writeSolar-methods), 76
- xyplot, data.table, missing-method  
(D\_xyplot-methods), 78
- xyplot, formula, G0-method  
(D\_xyplot-methods), 78
- xyplot, formula, Meteo-method  
(D\_xyplot-methods), 78
- xyplot, formula, Shade-method  
(D\_xyplot-methods), 78
- xyplot, formula, Sol-method  
(D\_xyplot-methods), 78
- xyplot, G0, missing-method  
(D\_xyplot-methods), 78
- xyplot, Meteo, missing-method  
(D\_xyplot-methods), 78
- xyplot, ProdGCPV, missing-method  
(D\_xyplot-methods), 78
- xyplot, ProdPVPS, missing-method  
(D\_xyplot-methods), 78
- xyplot-methods (D\_xyplot-methods), 78
- zenith (C\_solarAngles), 62
- zoo2Meteo, 7, 27, 42
- zoo2Meteo (A8\_readBD), 23



# Bibliografía

- [LJ60] B. Y. H. Liu y R. C. Jordan. “The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse, and total solar radiation”. En: *Solar Energy* 4 (1960), págs. 1-19.
- [Pag61] J. K. Page. “The calculation of monthly mean solar radiation for horizontal and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40N-40S”. En: *U.N. Conference on New Sources of Energy*. Vol. 4. 98. 1961, págs. 378-390.
- [Coo69] P.I. Cooper. “The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills”. En: *Solar Energy* 12 (1969).
- [Spe71] J.W. Spencer. “Fourier Series Representation of the Position of the Sun”. En: 2 (1971). URL: <http://www.mail-archive.com/sundial@uni-koeln.de/msg01050.html>.
- [CR79] M. Collares-Pereira y Ari Rabl. “The average distribution of solar radiation: correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values”. En: *Solar Energy* 22 (1979), págs. 155-164.
- [Sta85] Richard Stallman. *GNU Emacs*. Un editor de texto extensible, personalizable, auto-documentado y en tiempo real. 1985. URL: <https://www.gnu.org/software/emacs/>.
- [Mic88] Joseph J. Michalsky. “The Astronomical Almanac’s algorithm for approximate solar position (1950-2050)”. En: *Solar Energy* 40.3 (1988), págs. 227-235. ISSN: 0038-092X. DOI: DOI:10.1016/0038-092X(88)90045-X.
- [RBD90] D.T. Reindl, W.A. Beckman y J.A. Duffie. “Evaluation of hourly tilted surface radiation models”. En: *Solar Energy* 45.1 (1990), págs. 9-17. ISSN: 0038-092X. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(90\)90061-G](https://doi.org/10.1016/0038-092X(90)90061-G). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0038092X9090061G>.
- [Pan+91] D. Panico et al. “Backtracking: a novel strategy for tracking PV systems”. En: *IEEE Photovoltaic Specialists Conference*. 1991, págs. 668-673.
- [Dom+03] Carsten Dominik et al. *Org Mode*. Un sistema de organización de notas, planificación de proyectos y autoría de documentos con una interfaz de texto plano. 2003. URL: <https://orgmode.org>.
- [ZG05] Achim Zeileis y Gabor Grothendieck. “zoo: S3 Infrastructure for Regular and Irregular Time Series”. En: *Journal of Statistical Software* 14.6 (2005), págs. 1-27. DOI: 10.18637/jss.v014.i06.
- [Sar08] Deepayan Sarkar. *Lattice: Multivariate Data Visualization with R*. New York: Springer, 2008. ISBN: 978-0-387-75968-5. URL: <http://lmdvr.r-forge.r-project.org>.
- [Str11] L. Strous. *Position of the Sun*. 2011. URL: <http://aa.quae.nl/en/reken/zonpositie.html>.

- [Per12] Oscar Perpiñán. “solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R”. En: *Journal of Statistical Software* 50.9 (2012), págs. 1-32. DOI: [10.18637/jss.v050.i09](https://doi.org/10.18637/jss.v050.i09).
- [Adr+17] T. Adrada Guerra et al. “Comparative Energy Performance Analysis of Six Primary Photovoltaic Technologies in Madrid (Spain)”. En: *Energies* 10.6 (2017), pág. 772. DOI: [10.3390/en10060772](https://doi.org/10.3390/en10060772). URL: <https://doi.org/10.3390/en10060772>.
- [JG20] Michael Schmutz Jan Remund Stefan Müller y Pascal Graf. *Meteonorm Version 8*. Versión 8.0. Meteotest. Berna, Suiza, 2020. URL: <https://meteonorm.com>.
- [Uni20] European Union. *NextGenerationEU*. 2020. URL: [https://next-generation-eu.europa.eu/index\\_es](https://next-generation-eu.europa.eu/index_es).
- [BOE22a] BOE. *Real Decreto-ley 10/2022, de 13 de mayo, por el que se establece con carácter temporal un mecanismo de ajuste de costes de producción para la reducción del precio de la electricidad en el mercado mayorista*. 2022. URL: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-7843>.
- [BOE22b] BOE. *Real Decreto-ley 6/2022, de 29 de marzo, por el que se adoptan medidas urgentes en el marco del Plan Nacional de respuesta a las consecuencias económicas y sociales de la guerra en Ucrania*. 2022. URL: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2022-4972>.
- [dem22] Ministerio para transición ecológica y el reto demográfico. *Plan + Seguridad Energética*. 2022. URL: <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/seguridad-energetica.html#planSE>.
- [Eur22] Consejo Europeo. *REPowerEU*. 2022. URL: <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/eu-recovery-plan/repowereu/>.
- [Hac22] Ministerio de Hacienda. *Mecanismo de Recuperación y Resiliencia*. 2022. URL: <https://www.hacienda.gob.es/ES/ES/CDI/Paginas/FondosEuropeos/Fondos-relacionados-COVID/MRR.aspx>.
- [Mer+23] Olaf Mersmann et al. *microbenchmark: Accurate Timing Functions*. Proporciona infraestructura para medir y comparar con precisión el tiempo de ejecución de las expresiones de R. 2023. URL: <https://github.com/joshuaulrich/microbenchmark>.
- [Min23] pesca y alimentación Ministerio de agricultura. *Sistema de Información Agroclimática para el Regadío*. 2023. URL: <https://servicio.mapa.gob.es/websiar/>.
- [Per23] O. Perpiñán. *Energía Solar Fotovoltaica*. 2023. URL: <https://oscarperpinan.github.io/esf/>.
- [R C23] R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2023. URL: <https://www.R-project.org/>.
- [UNE23] UNEF. “Fomentando la biodiversidad y el crecimiento sostenible”. En: *Informe anual UNEF* (2023). URL: <https://www.unef.es/es/recursos-informes?idMultimediaCategoria=18>.
- [Wan+23] Chris Wanstrath et al. *GitHub*. 2023. URL: <https://github.com/>.
- [SAM24] System Advisor Model (SAM). *SAM: System Advisor Model*. <https://sam.nrel.gov/>. 2024.
- [Bar+24] Tyson Barrett et al. *data.table: Extension of ‘data.frame’*. R package version 1.15.99, <https://Rdatatable.gitlab.io/data.table>, <https://github.com/Rdatatable/data.table>. 2024. URL: <https://r-datatable.com>.



- [Nat24] National Renewable Energy Laboratory. *Best Research-Cell Efficiency Chart*. <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>. 2024.
- [Pro24] ESS Project. *Emacs Speaks Statistics (ESS)*. Un paquete adicional para GNU Emacs diseñado para apoyar la edición de scripts y la interacción con varios programas de análisis estadístico. 2024. URL: <https://ess.r-project.org/>.
- [PVG24] PVGIS. *PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System*. <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>. 2024.
- [PVS24] PVSyst. *PVSyst: Software for Photovoltaic Systems*. <https://www.pvsyst.com/>. 2024.
- [Sis24] Sisifo. *Sisifo: Solar Energy Simulation Software*. <https://www.sisifo.org/>. 2024.
- [Wic+24] H. Wickham et al. *profvis: Interactive Visualizations for Profiling R Code*. R package version 0.3.8.9000. 2024. URL: <https://github.com/rstudio/profvis>.