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

Título

Autor: Francisco Delgado López

Tutor: Oscar Perpiñán Lamigueiro

Departamento de Ingeniería Eléctrica,
Electrónica, Automática y Física aplicada

Madrid, 3 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 de figuras

Nomenclatura

A_c	Área de una célula
α	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
β	Ángulo de inclinación de un sistema fotovoltaico
D	Radiación difusa
D^C	Radiación difusa circunsolar
δ	Declinación
$\Delta\lambda$	Diferencia entre la longitud local y la longitud del huso horario
D^I	Radiación difusa isotrópica
d_n	Día del año
EoT	Ecuación del tiempo
ϵ_0	Corrección debida a la excentricidad de la elipse de la trayectoria terrestre alrededor del sol
F_D	Fracción de difusa
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	Radiación global
K_T	Índice de claridad
MPP	Punto de máxima potencia de un dispositivo fotovoltaico
ω	Hora solar o tiempo solar verdadero

ω_s	Ángulo del amanecer
ϕ	Latitud
R	Radiación del albedo
r_D	Relación entre la irradiancia y la irradiación difusa en el plano horizontal
ρ	Coeficiente de reflexión del terreno para la irradiancia de albedo
STC	Condiciones estándar de medida de un dispositivo fotovoltaico
T_c^*	Temperatura de célula en condiciones estándar de medida
T_c	Temperatura de célula
θ_s	Ángulo de incidencia o ángulo entre el vector solar y el vector director de una superficie
TO	Hora oficial
$TONC$	Temperatura de operación nominal de célula

CAPÍTULO 1

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, tuvo usa 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 (A.1.1).
- Tratamiento de datos meteorológicos (en especial de radiación), procedentes de datos ofrecidos del usuario y de la red de estaciones SIAR [Min23] (A.1.8).
- Una vez calculado lo anterior, se pueden hacer estimaciones de:
  - Los componentes de radiación horizontal (A.1.2).
  - Los componentes de radiación eficaz en el plano inclinado (A.1.3).
  - La producción de sistemas fotovoltaicos conectados a red (A.1.4) y sistemas fotovoltaivos de bombeo (A.1.5).

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 prepador de textos LaTeX (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 (a parte de que **solaR2** es más modular, es decir, tiene muchas funciones autónomas que permiten realizar cálculos específicos, en especial de geometría y radiación) es 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. Permite una gran personalización de todos los componentes de la instalación.

2. **SISIFO** [Sis24] Herramienta web diseñada por el **Grupo de Sistemas Fotovoltaicos del Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid**.

3. **PVGIS** [PVG24] Aplicación web desarrolada por el **European Commission Joint Research Center** desde 2001.

4. **System Advisor Model** [SAM24] Desarrollado por el **Laboratorio Nacional de Energías Renovables**, perteneciente al Departamento de energía del gobierno de EE.UU.

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

1.3. Aspectos técnicos

Las fuentes de un paquete de **R** están contenidas en un directorio que contiene al menos:

- Los ficheros **DESCRIPTION** y **NAMESPACE**
- Los subdirectorios:
  - **R**: código en ficheros .R
  - **man**: páginas de ayuda de las funciones, métodos y clases contenidas en el paquete.

Esta estructura puede ser generada con **package.skeleton**

1.3.1. DESCRIPTION

El fichero DESCRIPTION contiene la información básica:

```
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 **Package**, **Version**, **License**, **Title**, **Autor** y **Maintainer** son obligatorios.
- Si usa métodos **S4** debe incluir **Depends: methods**.

1.3.2. NAMESPACE

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"        "ESSR"              "package:stats"     "package:graphics"
[5] "package:grDevices" "package:utils"     "package:datasets"  "package:methods"
[9] "Autoloads"         "package:base"
```

Manejo de variables

- Exportar variables:

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

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

```
import(pkgExt)
```

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

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

Manejo de clases y métodos

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

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

- Para usar clases y métodos `S4`:

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

- Para registrar clases `S4`:

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

- Para registrar métodos `S4`:

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

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

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

1.3.3. Documentación

Las páginas de ayuda de los objetos R se escriben usando el formato "R documentation" (Rd), un lenguaje similar a LaTeX.

```
\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}
```

CAPÍTULO 2

Estado del arte

2.1. Situación actual de la generación fotovoltaica

Según el informe anual de 2023 de la UNEF[1] [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, convirtiendose 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[2] [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.

[1] UNEF: Unión Española Fotovoltaica.

[2] 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 transción 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+[3] [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[4], 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[5], un 51 % más que el año anterior, y generando una huella econóimca total de 15.656 millones de euros. En términos de empleo, el sector involucró a 197.383 trabajadores, de los cuales 40.683 fueros 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 componenetes 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 capitulo 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 fotvoltaicos. 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

[3]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.
[4]PERTE: Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica.
[5]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 proporcionla 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 esta 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.

CAPÍTULO 3

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

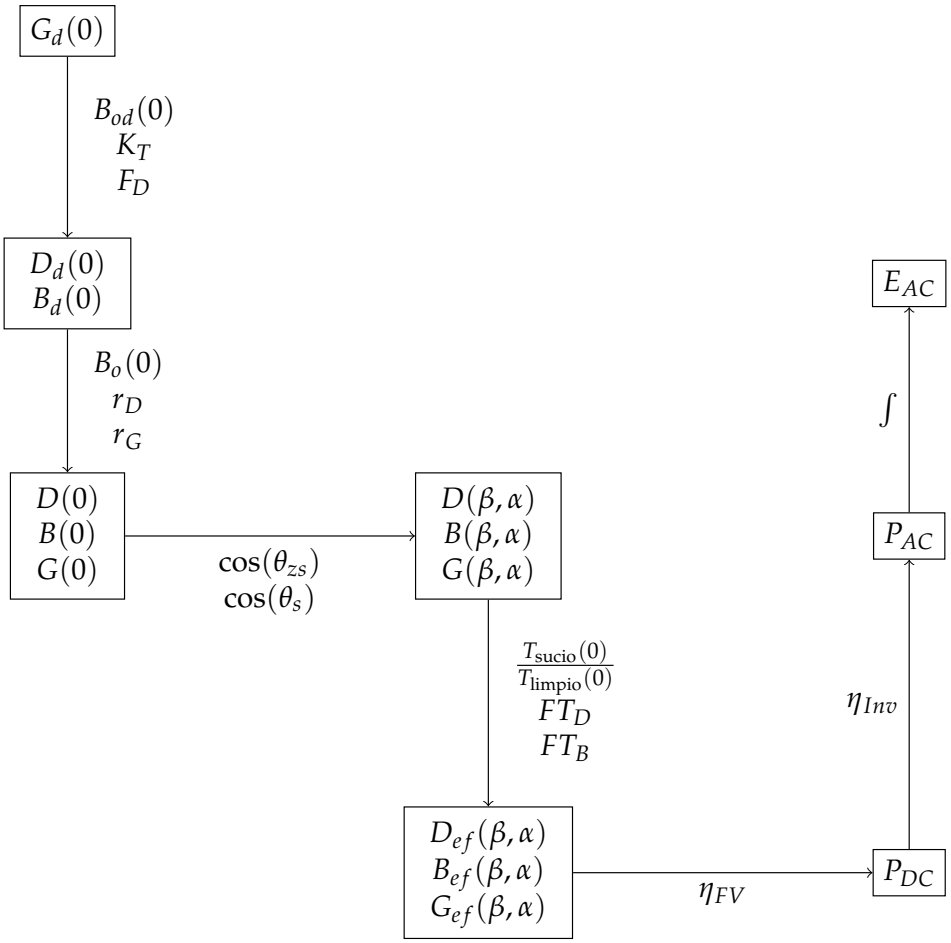


Figura 3.1: *Procedimiento de cálculo*

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

$$G = B + D + R \tag{3.1}$$

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 denominda 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 nuesto 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 correción de la excentricidad de la elipse:

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

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] {Ángulo cenital solar}

  Donde:

  - Declinación: $\delta = 23,45° \cdot sin(\frac{2\pi \cdot (d_n + 284)}{365})$ donde d_n es el dia del año.
  - Latitud: ϕ
  - 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 geométicas. De modo que, si integramos la ecuación 3.2, se obtiene la irradiación diaria extra-terrestre:

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

Siendo:

- Ángulo del amananecer:

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

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 correpondiente 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

[1] 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.

[2] 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: {Índice de claridad diario}

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

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

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

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]:

$$F_{Dm} = 1 - 1,13 \cdot K_{Tm} \tag{3.6}$$

Donde:

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

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

$$D_d(0) = F_D \cdot G_d(0) \tag{3.7}$$

$$B_d(0) = G_d(0) - D_d(0) \tag{3.8}$$

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):

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

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:

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

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

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

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 otenidos 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).

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

  donde:

  - Ángulo de inclinación: β.
  - Ángulo de orientación: α.

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

$$D(\beta, \alpha) = D^I(\beta, \alpha) + D^C(\beta, \alpha) \tag{3.13}$$

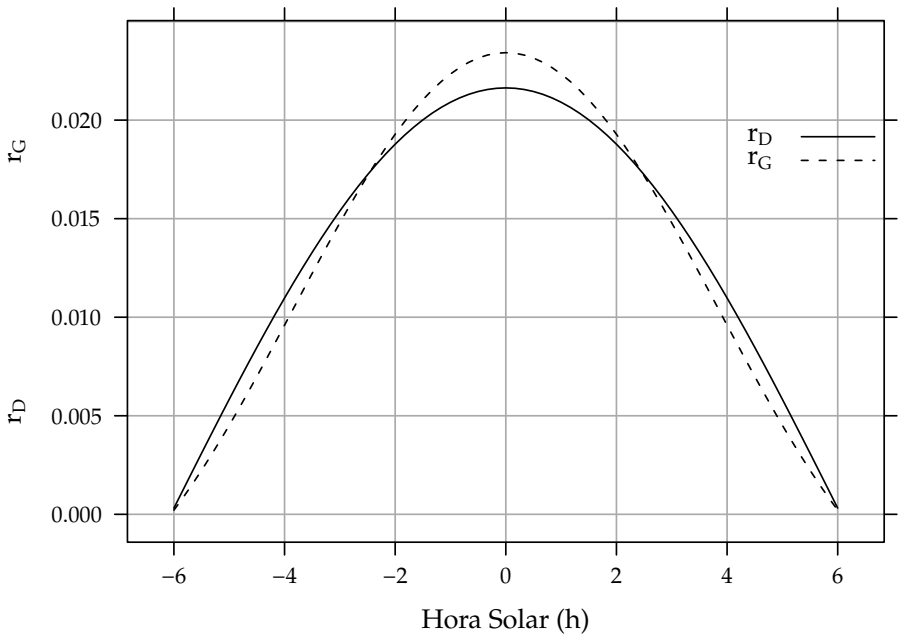


FIGURA 3.2: *Perfil de irradiancia difusa y global obtenido a partir del generador empírico de [CR79] para valores de irradiancia tomadas cada 10 minutos*

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

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

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, ρ, que depende del terreno. En la ecuación 3.16, se utiliza el factor $\frac{1-cos(\beta)}{2}$, complemetario al factor de visión de la difusa isotrópica (figura 3.3)

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

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 θ_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:

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

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

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

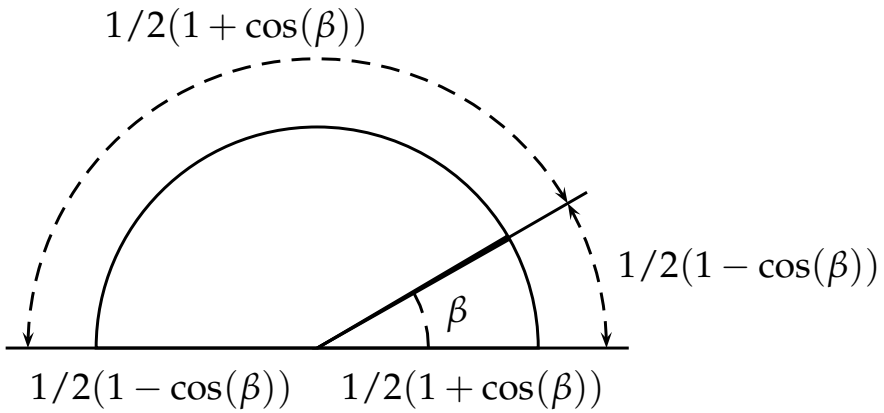


Figura 3.3: *Ángulo de visión del cielo*

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 θ_s supera los 60º, 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:

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

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

Donde:

- Ángulo de inclinación del generador (en radianes): β
- 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):

$$D^I_{ef}(\beta, \alpha) = D^I(\beta, \alpha) \cdot [\frac{T_{sucio}(0)}{T_{limpio}(0)}] \cdot (1 - FT_D(\beta)) \tag{3.21}$$

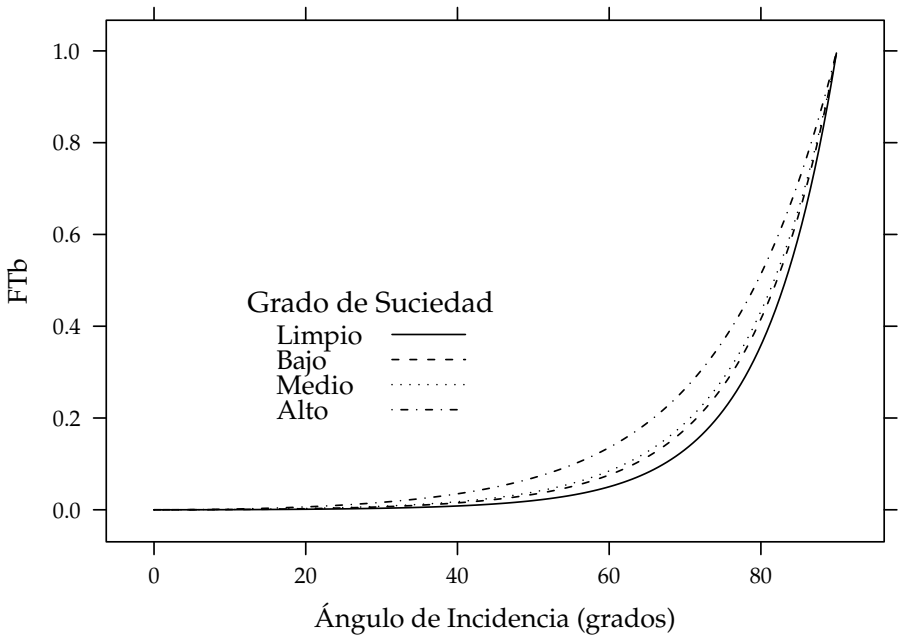


FIGURA 3.4: *Pérdidas angulares de un módulo fotovoltaico para diferentes grados de suciedad en función del ángulo de incidencia.*

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

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

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

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 irradición efectiva, se puede evaluar el impacto de la suciedad y el desajuste del ángulo en perídoods prolongados.

3.3. Cálculo de la energía producida por el generador

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}{Corriente de cortocircuito de una célula}
- La tensión de circuito abierto: V_{oc}{Tensión de circuito abierto de una célula}
- La corriente en el punto de máxima potencia: I_{mpp}{Corriente de una célula en el punto de máxima potencia}
- La tensión en el punto de máxima potencia: V_{mpp}{Tensión de una célula en el punto de máxima potencia}

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 e observable en la figura 3.5, inferiro a la respresentada por el producto $I_{sc}\cdot V_{oc}$. La relación entre estad dos superficies se cuantifica con el factor de forma:

$$FF = \frac{I_{mpp}\cdot V_{mpp}}{I_{sc}\cdot V_{oc}} \tag{3.24}$$

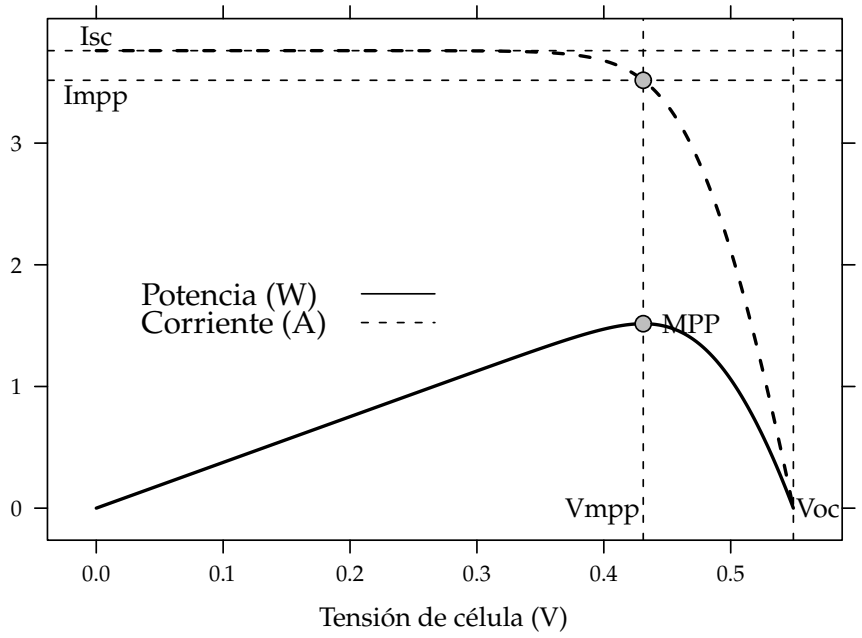


FIGURA 3.5: *Curvas corriente-tensión(línea discontinua) y potencia-tensión(línea continua) de una célula solar ($T_a = 20°C$ y $G = 800W/m^2$)*

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).

$$\eta = \frac{I_{mpp} \cdot V_{mpp}}{P_L} \tag{3.25}$$

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$-2,3\frac{mV}{°C}$. Además, disminuye la eficiencia de la célula solar con $\frac{d\eta}{dT_c} = -0,4\,\%/°C$.

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

Tomando en cuanta estas influencias, se definen una 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:

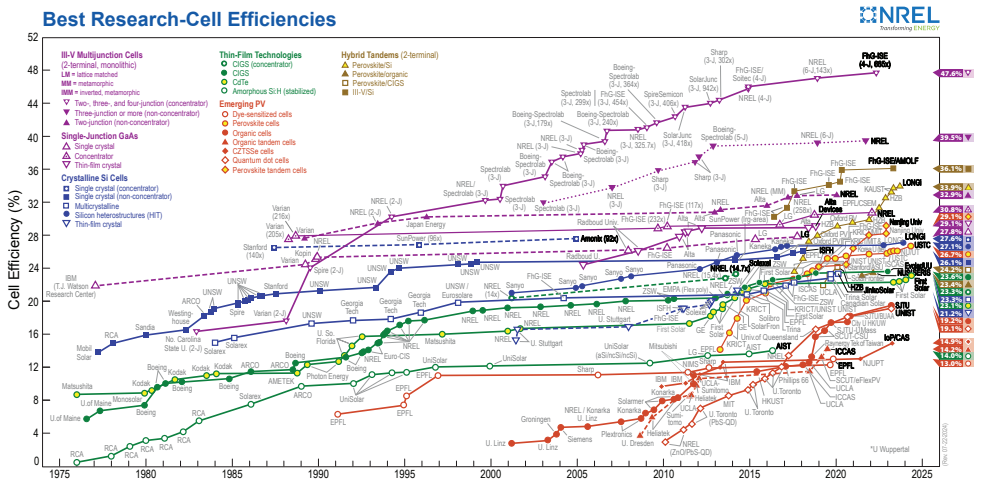


Figura 3.6: *Evolución de la eficiencia de células según la tecnología (según el National Renewable Energy Laboratory [Nat24] (EEUU)).*

- Irradiancia: $G_{stc} = 1000W/m^2$ con incidencia normal.{Irradiancia incidente en condiciones estandar de medida}
- Temperatura de célula: $T_c^* = 25°C$.
- Masa de aire: $AM = 1,5$.[3]

Frecuentemente los fabricantes informan de los valores de las tensiones V_{oc}^* y V_{mpp}^* y las corrientes I_{sc}^* y I_{mpp}^*[4]. 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 ue 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 $25°C$. 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.

[3]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 ($AM = 1/cos\theta_{zs}$).

[4]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: $G = 800W/m^2$.
- Masa de aire: $AM = 1,5$.
- Irradiancia normal.
- Temperatura *ambiente*: $T_a = 20°C$.
- Velocidad de viento: $v_v = 1m/s$.

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

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

Para la simulación del funcionmaiento 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 $T_a = 25°C$ 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}.

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

$$I_{sc} = G_{ef} \cdot \frac{I_{sc}^*}{G^*} \tag{3.28}$$

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 significantemente 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

$$FF = FF^* \tag{3.29}$$

entonces

$$\frac{I_{mpp} \cdot V_{vmpp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} = \frac{I^*_{mpp} \cdot V^*_{vmpp}}{I^*_{sc} \cdot V^*_{oc}} \tag{3.30}$$

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

Sin embargo, este 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 25ºC con la expresión:

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

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

$$R^*_s = \frac{\frac{V^*_{oc}}{N_{cs}} - \frac{V^*_{mpp}}{N_{cs}} + m \cdot V_{tn} \cdot ln(1 - \frac{I^*_{mpp}}{I^*_{sc}})}{\frac{I^*_{mpp}}{N_{cp}}} \tag{3.32}$$

- **Cálculo de r_s**: Utilizando el valors 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.

$$r_s = R^*_s \cdot (\frac{N_{cs}}{N_{cp}} \cdot \frac{I_{sc}}{V_{oc}}) \tag{3.33}$$

- **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:

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

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

$$i_{mpp} = 1 - \frac{D_M}{k_{oc}} \tag{3.35}$$

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

donde:

$$D_M = D_{M0} + 2 \cdot r_s \cdot D^2_{M0} \tag{3.37}$$

$$D_{M0} = \frac{k_{oc} - 1}{k_{oc} - lnk_{oc}} \tag{3.38}$$

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:

$$P_{mpp} = I_{mpp} \cdot V_{mpp} \tag{3.39}$$

3.3.3. Cálculo de potencias y energías

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

$$P_g^* = N_s \cdot N_p \cdot P_m^* \tag{3.40}$$

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 esteblecen las expresiones de las potencias normalizadas. Siendo P_{inv} {Potencia nominal de un inversor}la potencia nominal del inversor:

$$p_i = \frac{P_{DC}}{P_{inv}} \tag{3.41}$$

$$p_o = \frac{P_{AC}}{P_{inv}} \tag{3.42}$$

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

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

De las dos ecuaciones anteriores se puede deducir:

$$p_i = p_o + k_0 + k_1 p_o + k_2 p_o^2 \tag{3.44}$$

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

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

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

$$P_{AC} = p_o \cdot P_{inv} \tag{3.46}$$

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

$$E_{AC} = \int_T P_{AC}\, dt \tag{3.47}$$

y la productividad:

$$Y_f = \frac{E_{ac}}{P_g^*} \tag{3.48}$$

CAPÍTULO 4

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:

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** [A.1.1], la cual mediante las funciones **fSolD** [A.3.9] y **fSolI** [A.3.10] cálcula todos los ángulos y componentes que caracterizan la geometría solar.

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

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

  Estas son:

  - Declinación (δ): calculada a partir de la función **declination**[1].
  - Excentricidad (ϵ_o): obtenida mediante la función **eccentricity**.
  - Ecuación del tiempo (EoT): obtenida mediante la función **eot**.
  - Ángulo del amanecer (ω_s): calculada a partir de la función **sunrise**.
  - Irradiancia diaria extra-atmosférica ($B_{0d}(0)$): obtenida a paritr 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
2: 2024-02-14  37.2 -0.22850166 1.0259717 -0.0614793356 -1.393341  6137.388
```

[1]Todas las funciones mencionadas en este punto, se encuentran en el apartado A.3.19.

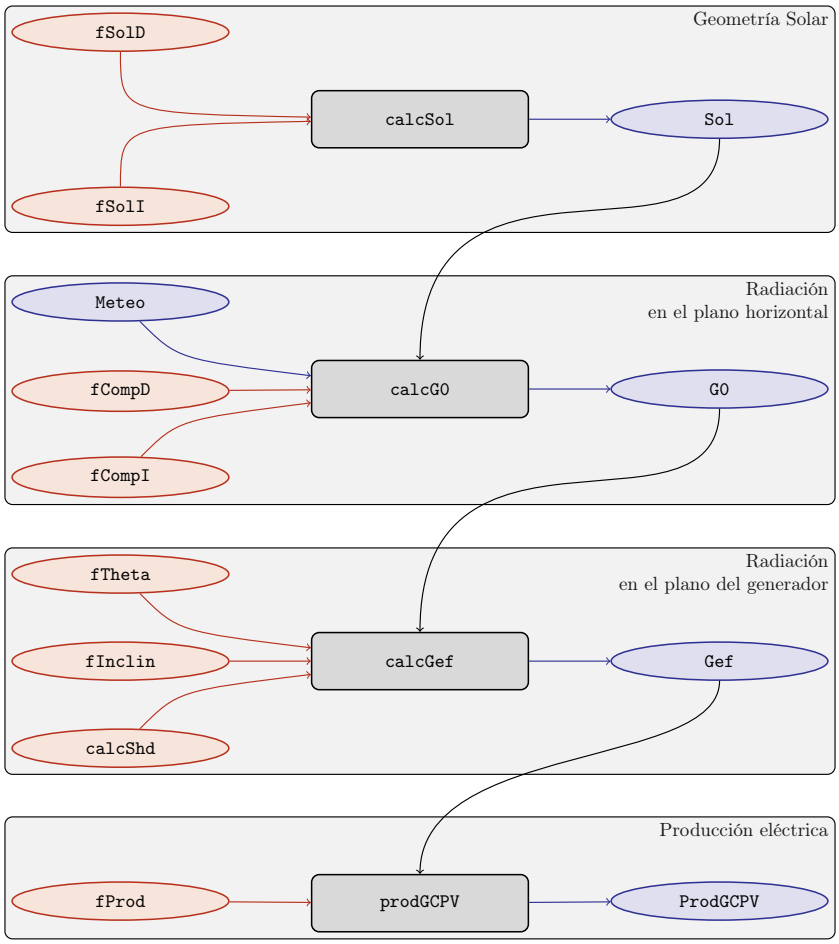


Figura 4.1: *Proceso de cálculo de las funciones de* **`solaR2`**

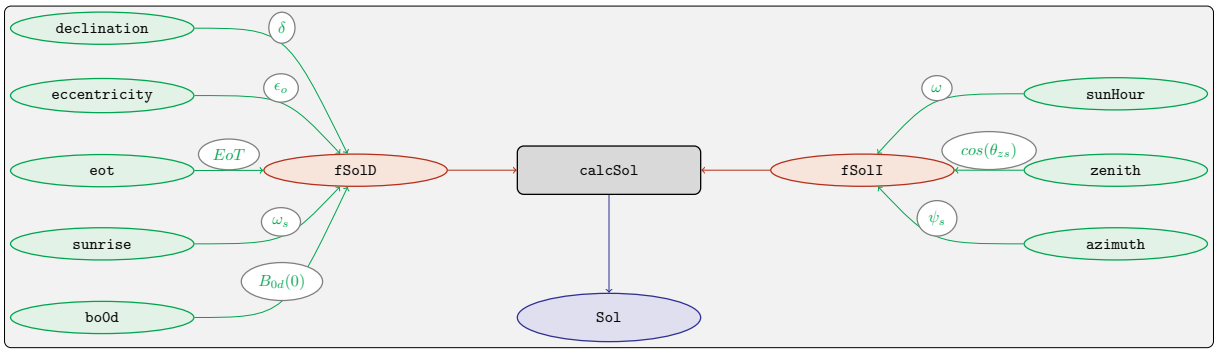


Figura 4.2: *Cálculo de la geometría solar mediante la función* **`calcSol`**, *la cual unifica las funciones* **`fSolD`** *y* **`fSolI`** *resultando en un objeto clase* **`Sol`** *el cual contiene toda la información geométrica necesaria para realizar las siguientes estimaciones.*

```
 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 cáculo entre los propuestos por 4 autores diferentes (**cooper** [Coo69], **spencer** [Spe71], **strous** [Str11], **michalsky** [Mic88])(el valor por defecto es **michalsky**):

```
solD_cooper <- fSolD(lat = lat, BTd = BTd, method = 'cooper')
show(solD_cooper)
```

```
Key: <Dates>
        Dates   lat        decl        eo           EoT        ws      Bo0d
       <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
```

```
solD_spencer <- fSolD(lat = lat, BTd = BTd, method = 'spencer')
show(solD_spencer)
```

```
Key: <Dates>
        Dates   lat        decl        eo           EoT        ws      Bo0d
       <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
```

```
solD_strous <- fSolD(lat = lat, BTd = BTd, method = 'cooper')
show(solD_strous)
```

```
Key: <Dates>
         Dates   lat        decl        eo           EoT        ws      Bo0d
        <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 (ω): 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 (cálculada en **fSolD**)[2].
  - El coseno del ángulo cenital solar ($cos(\theta_{zs})$): obtenida a partir de la función **zenith**.
  - La altura solar (γ_s): obtenida a partir del resultado anterior[3].
  - El ángulo acimutal solar (θ_{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 excentridad (cálculada 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       Bo0
                <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
```

[2] Cuando la hora solar verdadera excede los ángulos en los que amanece y anochece ($|\omega| >= |\omega_s|$), el Sol queda por debajo de la línea del horizonte, por lo que es de noche.

[3] $\gamma_s = asin(cos(\theta_s))$.

```
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**.

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

```
                  Dates   lat           w  night     cosThzS         AlS         AzS       Bo0
                 <POSc> <num>       <num> <lgcl>       <num>       <num>       <num>     <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.

```
BTi <- fBTi(BTd, sample = 'hour')
solI_BTi <- fSolI(solD, BTi = BTi)
show(solI_BTi)
```

```
Index: <night>
                  Dates   lat          w  night    cosThzS        AlS       AzS   Bo0
                 <POSc> <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
```

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

```
solI_EoT <- fSolI(solD = solD, BTi = BTi, EoT = FALSE)
show(solI_EoT)
```

```
Index: <night>
                  Dates   lat         w  night    cosThzS        AlS       AzS   Bo0
                 <POSc> <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
      Bo0d
 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                Bo0
 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 meteorologicos, **solaR2** provee una serie de funciones[4] 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.

```
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)
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.

```
## Se utiliza un archivo alojado en el
## github del tutor de este proyecto
myURL <-"https://raw.githubusercontent.com/oscarperpinan/R/master/data/
    aranjuez.csv"
```

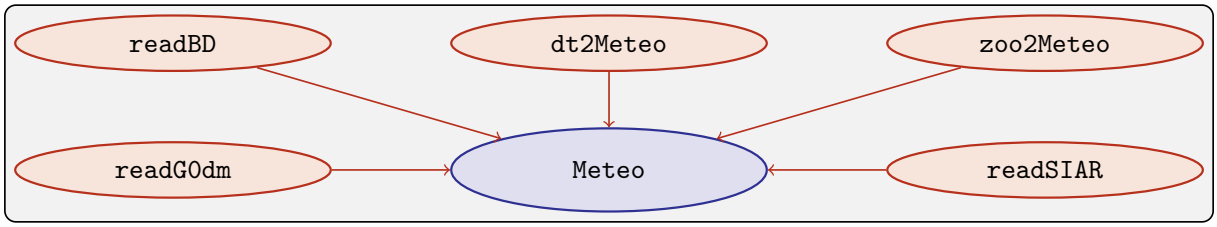


FIGURA 4.3: *Los datos meteorologicas se pueden leer mediante las funciones* ***readG0dm***, ***readBD***, ***dt2Meteo***, ***zoo2Meteo*** *y* ***readSIAR*** *las cuales procesan estos datos y los almacenan en un objeto de clase* ***Meteo***.

[4]Las funciones comentadas en este apartado, se recogen en la sección A.1.8

```
download.file(myURL, 'data/aranjuez.csv', quiet = TRUE)
BDd <- readBDd(file = 'data/aranjuez.csv', lat = lat,
               format = '%Y-%m-%d', header = TRUE,
               fill = TRUE, dec = '.', sep = ',', dates.col = '',
               ta.col = 'TempAvg', g0.col = 'Radiation', keep.cols = TRUE)
show(BDd)
```

```
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.

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

```
data(helios)
names(helios) <- c('Dates', 'GOd', 'TempMax', 'TempMin')
helios_meteo <- dt2Meteo(file = helios, lat = 40, type = 'bd')
show(helios_meteo)
```

```
Object of class  Meteo

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

Meteorological Data:
     Dates                          GOd             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**[5] en un objeto de clase **Meteo**.

```
library(zoo)
bd_zoo <- read.csv.zoo('data/aranjuez.csv')
BD_zoo <- zoo2Meteo(file = bd_zoo, lat = 40)
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
```

[5] 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.

```
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
```

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

```
library(httr2)
library(jsonlite)
bd_SIAR <- readSIAR(Lat = 40.40596822621351, Lon = -3.70038308516172,
                    ## Ubicación de la Escuela Técnica Superior
                    ## de Ingeniería y Diseño Industrial (ETSIDI)
                    inicio = '2023-09-01', final = '2024-08-01',
                    tipo = 'Mensuales', n_est = 3)
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                          GOd             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[6] 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,

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

solaR2 cuenta con la función **calcG0** [A.1.2] la cual mediante las funciones **fCompD** [A.3.4] y **fCompI** [A.3.5] 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:
  - Mensuales:

```
lat <- 37.2
BTd <- fBTd(mode = 'prom')
solD <- fSolD(lat, BTd)
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
compD_page <- fCompD(sol = solD, G0d = G0d, corr = "Page")
compD_page
```

```
Key: <Dates>
        Dates        Fd        Kt   G0d      D0d      B0d
       <POSc>     <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
```

```
compD_lj <- fCompD(sol = solD, G0d = G0d, corr = "LJ")
compD_lj
```

```
Key: <Dates>
        Dates        Fd        Kt   G0d      D0d      B0d
       <POSc>     <num>     <num> <num>    <num>    <num>
 1: 2024-01-17 0.3058193 0.5836683  2766  845.8961 1920.104
```

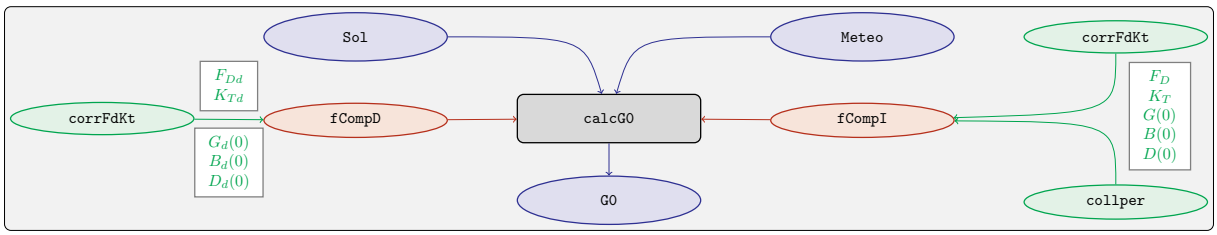


FIGURA 4.4: *Cálculo de la radiación incidente en el plano horizontal mediante la función* ***calcG0****, la cual procesa un objeto clase* ***Sol*** *y otro clase* ***Meteo*** *mediante las funciones* ***fCompD*** *y* ***fCompI*** *resultando en un objeto clase* ***G0****. :*

```
 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
```

- Diarios:

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

```
Key: <Dates>
        Dates        Fd        Kt      G0d      D0d      B0d
       <POSc>     <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
```

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

```
Key: <Dates>
        Dates    Fd        Kt      G0d      D0d   B0d
       <POSc> <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
```

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

```
Key: <Dates>
        Dates        Fd        Kt      G0d      D0d      B0d
       <POSc>     <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.

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

```
Key: <Dates>
        Dates        Fd        Kt      G0d      D0d      B0d
       <POSc>     <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.

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

```
Key: <Dates>
        Dates        Fd        Kt      G0d      D0d      B0d
       <POSc>     <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).

```
sol <- calcSol(lat = 37.2, BTd = fBTd(mode = 'prom'),
               sample = 'hour', keep.night = FALSE)
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
compD <- fCompD(sol = sol, G0d = G0d, corr = 'CPR')
compI <- fCompI(sol = sol, compD = compD)
show(compI)
```

```
Key: <Dates>
                  Dates        Fd        Kt        G0        D0        B0
                 <POSc>     <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**.

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

```
Key: <Dates>
                  Dates        Fd        Kt        G0        D0        B0
                 <POSc>     <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
```

```
compI_brl <- fCompI(sol = sol, G0I = G0I, corr = 'BRL')
show(compI_brl)
```

```
Key: <Dates>
                  Dates        Fd        Kt        G0        D0        B0
                 <POSc>     <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
```

```
compI_climedh <- fCompI(sol = sol, G0I = G0I, corr = 'CLIMEDh')
show(compI_climedh)
```

```
Key: <Dates>
                  Dates        Fd        Kt        G0        D0        B0
                 <POSc>     <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.

```
f_corri <- function(sol, G0i){
  ## Función CLIMEDh
  Kt <- Kti(sol, G0i)
```

```
  Fd=(Kt<=0.21)*(0.995-0.081*Kt)+
    (Kt>0.21 & Kt<=0.76)*(0.724+2.738*Kt-8.32*Kt^2+4.967*Kt^3)+
    (Kt>0.76)*0.180
  return(data.table(Fd, Kt))
}
compI_user <- fCompI(sol = sol, G0I = G0I, corr = 'user', f = f_corri)
show(compI_user)
```

```
Key: <Dates>
                  Dates        Fd        Kt        G0        D0        B0
                 <POSc>     <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.

```
G0I <- compI_user
compI_none <- fCompI(sol = sol, G0I = G0I, corr = 'none')
show(compI_none)
```

```
Key: <Dates>
                  Dates        Fd        Kt        G0        D0        B0
                 <POSc>     <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 útlimo, 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.

```
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 <- data.table(G0dm, Ta)
g0_prom <- calcG0(lat, modeRad = 'prom', dataRad = prom)
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.

```
g0_aguiar <- calcG0(lat, modeRad = 'aguiar', dataRad = prom)
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 1.146197 1.619803
 2: Feb. 2024 3.491 1.509201 1.981799
 3: Mar. 2024 4.494 1.995879 2.498121
 4: Apr. 2024 5.912 2.259830 3.652170
 5: May. 2024 6.989 2.473548 4.515452
 6: Jun. 2024 7.742 2.470506 5.271494
 7: Jul. 2024 7.919 2.396801 5.522199
 8: Aug. 2024 7.027 2.107768 4.919232
 9: Sep. 2024 5.369 1.964577 3.404423
10: Oct. 2024 3.562 1.648904 1.913096
11: Nov. 2024 2.814 1.222759 1.591241
12: Dec. 2024 2.179 1.042617 1.136383

Yearly values:
```

```
Key: <Dates>
   Dates      G0d      D0d      B0d
   <int>    <num>    <num>    <num>
1:  2024 1839.365 678.4601 1160.905
```

- Diarios.

```
bd <- as.data.tableD(g0_aguiar)
g0_bd <- calcG0(lat, modeRad = 'bd', dataRad = bd)
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 1.146197 1.619803
 2: Feb. 2024 3.491 1.509201 1.981799
 3: Mar. 2024 4.494 1.995879 2.498121
 4: Apr. 2024 5.912 2.259830 3.652170
 5: May. 2024 6.989 2.473548 4.515452
 6: Jun. 2024 7.742 2.470506 5.271494
 7: Jul. 2024 7.919 2.396801 5.522199
 8: Aug. 2024 7.027 2.107768 4.919232
 9: Sep. 2024 5.369 1.964577 3.404423
10: Oct. 2024 3.562 1.648904 1.913096
11: Nov. 2024 2.814 1.222759 1.591241
12: Dec. 2024 2.179 1.042617 1.136383

Yearly values:
Key: <Dates>
   Dates      G0d      D0d      B0d
   <int>    <num>    <num>    <num>
1:  2024 1839.365 678.4601 1160.905
```

- Intradiarios

```
bdI <- as.data.tableI(g0_aguiar)
g0_bdI <- calcG0(lat, modeRad = 'bdI', dataRad = bdI)
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 2.766000 1.159456 1.606544
 2: Feb. 2024 3.491000 1.534494 1.956506
 3: Mar. 2024 4.494000 2.098539 2.395461
 4: Apr. 2024 5.912000 2.239783 3.672217
 5: May. 2024 6.866824 2.308807 4.558017
 6: Jun. 2024 7.742000 2.241544 5.500456
 7: Jul. 2024 7.919000 1.881773 6.037227
 8: Aug. 2024 7.027000 2.017100 5.009900
 9: Sep. 2024 5.369000 1.973292 3.395708
```

```
10: Oct. 2024 3.562000 1.640782 1.921218
11: Nov. 2024 2.814000 1.237715 1.576285
12: Dec. 2024 2.179000 1.056340 1.122660

Yearly values:
Key: <Dates>
   Dates      G0d      D0d     B0d
   <int>    <num>    <num>   <num>
1:  2024 1835.578 652.3171 1183.26
```

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** [A.1.3] 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 (β) y la orientación (α), calcula el ángulo de inclinación en cada instante (β), el ángulo azimutal (ψ_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 alfa <- 0
5 angGen_fixed <- fTheta(sol = sol, beta = beta, alfa = alfa,
6                        modeTrk = 'fixed')
7 show(angGen_fixed)
```

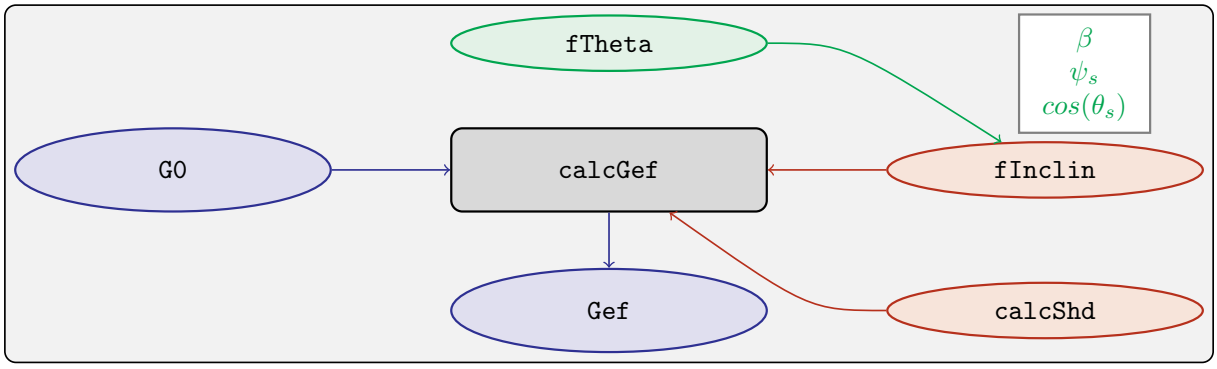


FIGURA 4.5: *Cálculo de la radiación efectiva incidente en el plano del generador mediante la función* ***calcGef****, la cual emplea la función* ***fInclin*** *para el computo de las componentes efectivas, la función* ***fTheta*** *que provee a la función anterior los ángulos necesarios para su computo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

```
                Dates      Beta  Alfa   cosTheta
               <POSc>     <num> <num>      <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
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.

```
angGen_two <- fTheta(sol = sol, beta = beta, alfa = alfa,
                     modeTrk = 'two')
show(angGen_two)
```

```
                Dates      Beta         Alfa cosTheta
               <POSc>     <num>        <num>    <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.

```
angGen_horiz <- fTheta(sol = sol, beta = beta, alfa = alfa,
                       modeTrk = 'horiz')
show(angGen_horiz)
```

```
                Dates        Beta      Alfa  cosTheta
               <POSc>       <num>     <num>     <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.

```
struct <- list(L = 1)
distances <- data.table(Lew = 2)
angGen_BT <- fTheta(sol = sol, beta = beta, alfa = alfa,
                    modeTrk = 'horiz', BT = TRUE,
                    struct = struct, dist = distances)
show(angGen_BT)
```

```
                Dates        Beta      Alfa   cosTheta
               <POSc>       <num>     <num>      <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 **G0**, cálcula 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).

```
compI <- calcG0(lat, dataRad = prom, keep.night = FALSE)
sol <- calcSol(lat, BTi = indexI(compI))
angGen <- fTheta(sol = sol, beta = beta, alfa = alfa)
inclin_limpio <- fInclin(compI = compI, angGen = angGen, iS = 1)
show(inclin_limpio)
```

```
                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: 0.115032290 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
 ---
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
```

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

```
                 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: 0.24100175 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).

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

```
                 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 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        FTd       FTr      Dief      Dcef      Gef       Def       Bef   Ref
          <num>      <num>     <num>     <num>     <num>    <num>     <num>     <num> <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        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 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        FTd       FTr      Dief      Dcef      Gef       Def       Bef       Ref
          <num>      <num>     <num>     <num>     <num>    <num>     <num>     <num>     <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**[7] (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        Bo       Bn        G         D       Di        Dc        B         R
                <POSc>     <num>    <num>    <num>     <num>    <num>     <num>    <num>     <num>
```

[7] la tencología 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 alas células tradicionales. Con ello se consigue emplear menor cantidad de semiconductores reduciendo los costes.

```
  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
          <num>      <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 0.6381583
  2: 0.054197292 0.06473603 0.2994808 47.28824  48.04970 338.2658  95.33794 241.29186 1.6359698
  3: 0.021399057 0.06473603 0.2994808 62.22217  73.93841 510.0428 136.16059 371.29761 2.5846197
  4: 0.010185772 0.06473603 0.2994808 70.22829  93.39388 635.9071 163.62217 468.99741 3.2875223
  5: 0.006996517 0.06473603 0.2994808 73.09855 101.93283 690.5032 175.03138 511.87759 3.5942050
 ---
141: 0.008575046 0.06473603 0.2994808 86.97552  82.56145 554.6650 169.53697 382.22264 2.9054390
142: 0.011653979 0.06473603 0.2994808 83.21682  75.92121 513.2924 159.13803 351.48128 2.6730784
143: 0.022965930 0.06473603 0.2994808 72.50225  59.72086 410.8039 132.22311 276.48089 2.0999216
144: 0.055666181 0.06473603 0.2994808 53.39892  38.05193 268.9267  91.45086 176.16345 1.3124036
145: 0.155368802 0.06473603 0.2994808 24.35423  16.67236 118.6917  41.02659  77.18558 0.4794870
```

```
inclin_HCPV <- fInclin(compI = compI, angGen = angGen,
                       HCPV = TRUE)
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**.

```
gef_prom <- calcGef(lat = lat, modeTrk = 'two', modeRad = 'prom',
                    dataRad = prom,
                    beta = lat-10, alfa = 0,
```

```
                      iS = 2, alb = 0.2,
                      horizBright = TRUE, HCPV = FALSE)
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      Bod       Bnd        Gd       Dd       Bd      Gefd     Defd     Befd
       <char>    <num>     <num>     <num>    <num>    <num>     <num>    <num>    <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      Bod      Bnd       Gd       Dd       Bd     Gefd    Defd     Befd
   <int>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>   <num>    <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.

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

```
gef_shd2 <- calcGef(lat = lat, modeTrk = 'two', dataRad = prom,
                    modeShd = 'prom', struct = struct, distances = distances)
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.

```
gef_shdarea <- calcGef(lat, modeTrk = 'two', dataRad = prom,
                       modeShd = 'area',
                       struct = struct, distances = distances)
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.

```
gef_shdprom <- calcGef(lat, modeTrk = 'two', dataRad = prom,
                       modeShd = c('area', 'prom'),
                       struct = struct, distances = distances)
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.

```
gef_shdhoriz <- calcGef(lat, modeTrk = 'horiz', dataRad = prom,
                        modeShd = 'area',
                        struct = struct, distances = distances)
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
```

```
gef_shdbt <- calcGef(lat, modeTrk = 'horiz', dataRad = prom,
                        modeShd = c('area', 'bt'),
                        struct = struct, distances = distances)
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** [A.1.4] la cual mediante la función **fProd** [A.3.7] 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 médida). Por defecto, tiene un valor de $57{,}2V$.

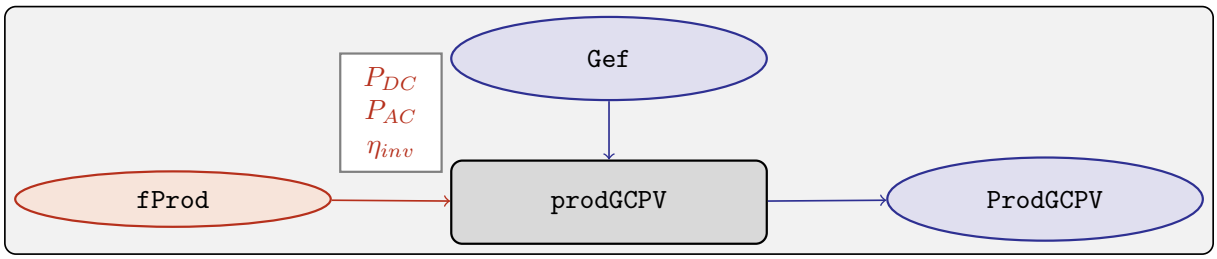


FIGURA 4.6: *Estimación de la producción eléctrica de un SFCR mediante la función* ***prodGCPV****, la cual emplea la función* ***fProd*** *para el computo de la potencia a la entrada (P_{DC}), a la salida (P_{AC}) y el rendimiento (η_{inv}) del inversor.*

- **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.
- **CoefVT**: coeficiente de disminución de la tensión de cada célula con la temperatura (dV_{oc}/dT_c). Por defecto, tiene un valor de $-0{,}0023V/°C$.
- **TONC**: temperatura de operación nominal de célula ($TONC$). Por defecto, tiene un valor de 47$°C$.

- **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 númericos 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 funcionamienot 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.

```
inclin <- calcGef(lat, dataRad = prom, keep.night = FALSE)
module <- list(Vocn=57.6, Iscn=4.7, Vmn=46.08, Imn=4.35,
               Ncs=96, Ncp=1, CoefVT=0.0023, TONC=47)
```

```
generator <- list(Nms=12, Nmp=11)
inverter <- list(Ki=c(0.01, 0.025, 0.05), Pinv=25000,
                 Vmin=420, Vmax=750, Gumb=20)
effSys <- list(ModQual=3, ModDisp=2, OhmDC=1.5, OhmAC=1.5,
               MPP=1, TrafoMT=1, Disp=0.5)
prod <- fProd(inclin = inclin, module = module,
              generator = generator, inverter = inverter,
              effSys = effSys)
show(prod)
```

```
                 Dates       Tc      Voc       Isc      Vmpp      Impp      Vdc       Idc       Pac
                <POSc>    <num>    <num>     <num>    <num>     <num>    <num>     <num>     <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      EffI
        <num>     <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**.

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

```
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  95.36291 105.62767 3.604158
 2: Feb. 2024 101.50809 112.56166 3.836410
 3: Mar. 2024 110.26945 122.11835 4.167538
 4: Apr. 2024 124.53728 138.29836 4.706778
 5: May. 2024 131.48629 145.91065 4.969410
 6: Jun. 2024 135.89421 150.78725 5.136003
 7: Jul. 2024 134.98501 149.81246 5.101641
 8: Aug. 2024 130.25804 144.39951 4.922989
```

```
 9: Sep. 2024 119.91911 132.77648 4.532238
10: Oct. 2024  96.49455 106.99182 3.646928
11: Nov. 2024  90.17737  99.88152 3.408175
12: Dec. 2024  73.89289  81.80967 2.792718

Yearly values:
   Dates     Eac      Edc       Yf
   <int>   <num>    <num>    <num>
1:  2024 41014.8 45473.37 1550.119
-----------------
Mode of tracking:  fixed
    Inclination:  27.2
    Orientation:  0
-----------------
Generator:
    Modules in series:  12
    Modules in parallel:  11
    Nominal power (kWp):  26.5
```

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

```
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 138.6806 153.2566 5.241314
 2: Feb. 2024 143.4987 158.5247 5.423408
 3: Mar. 2024 151.8477 167.7311 5.738952
 4: Apr. 2024 178.6717 197.4274 6.752741
 5: May. 2024 200.8888 222.0523 7.592419
 6: Jun. 2024 223.9959 247.6903 8.465728
 7: Jul. 2024 214.2749 236.9628 8.098332
 8: Aug. 2024 194.6043 215.1439 7.354902
 9: Sep. 2024 168.9824 186.7349 6.386542
10: Oct. 2024 132.2995 146.0747 5.000145
11: Nov. 2024 128.5783 141.9871 4.859507
12: Dec. 2024 102.9116 113.5613 3.889454

Yearly values:
   Dates      Eac      Edc       Yf
   <int>    <num>    <num>    <num>
1:  2024 60369.04 66710.67 2281.595
-----------------
Mode of tracking:  two
    Inclination limit: 90
-----------------
Generator:
    Modules in series:  12
    Modules in parallel:  11
    Nominal power (kWp):  26.5
```

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

```
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  99.43006 109.66074 3.757873
 2: Feb. 2024 116.24796 128.22238 4.393490
 3: Mar. 2024 137.39485 151.61074 5.192719
 4: Apr. 2024 172.03044 189.97488 6.501741
 5: May. 2024 196.91337 217.61396 7.442169
 6: Jun. 2024 219.15566 242.31468 8.282797
 7: Jul. 2024 210.33644 232.56087 7.949482
 8: Aug. 2024 189.03576 208.87993 7.144442
 9: Sep. 2024 156.22909 172.44519 5.904542
10: Oct. 2024 110.69482 122.11859 4.183614
11: Nov. 2024  94.40734 104.14723 3.568043
12: Dec. 2024  69.94550  77.30532 2.643529

Yearly values:
   Dates      Eac      Edc       Yf
   <int>    <num>    <num>    <num>
1:  2024 54052.14 59697.16 2042.854
-----------------
Mode of tracking:  horiz
    Inclination limit: 90
-----------------
Generator:
    Modules in series:  12
    Modules in parallel:  11
    Nominal power (kWp):  26.5
```

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

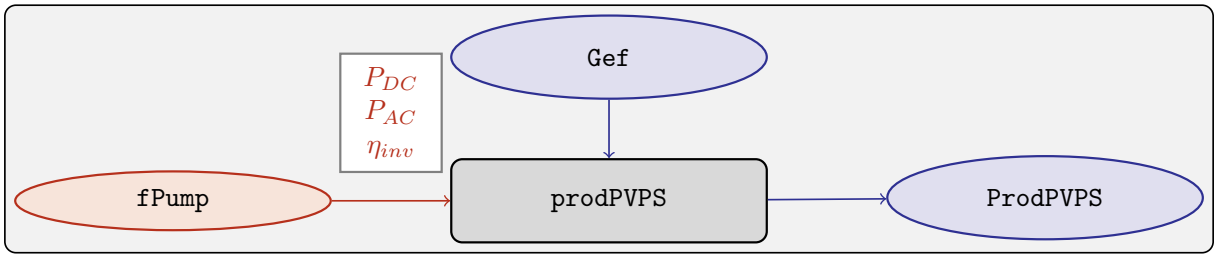


FIGURA 4.7: *Estimación de la producción eléctrica de un SFB mediante la función* ***prodPVPS****, la cual emplea la función* ***fPump*** *para el computo del rendimiento de las diferentes parte de una bomba centrífuga alimentada por un convertidor de frecuencia.*

```
CoefSP8A44 <- pumpCoef[Qn == 8 & stages == 44]
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.

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

Obtiene como resultado los siguientes valores y funciones:

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

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

```
[1]  190.100 4084.218
```

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

```
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: 0x00000276e060f568>
<environment: 0x00000276e060c500>
```

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

```
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: 0x00000276e060f568>
<environment: 0x00000276e0639258>
```

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

```
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: 0x00000276e060f568>
<environment: 0x00000276e063fc68>
```

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

```
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: 0x00000276e060f568>
<environment: 0x00000276e062e928>
```

Se pueden realizar operaciones con este objeto:

```
SP8A44 = with(fSP8A44,{
  Pac = seq(lim[1],lim[2],l=10)
  Pb = fPb(Pac)
  etam = Pb/Pac
  Ph = fPh(Pac)
  etab = Ph/Pb
  f = fFreq(Pac)
  Q = fQ(Pac)
  result = data.table(Q,Pac,Pb,Ph,etam,etab,f)})
show(SP8A44)
```

```
            Q       Pac        Pb         Ph      etam      etab        f
        <num>     <num>     <num>      <num>     <num>     <num>    <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
```

Está función entrega todos estos resultados a **prodPVPS** la cual calcula los resultados en base a la potencia del generador a simular, y devuleve 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**.

```
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, dataRad = prom, modeTrk = 'two',
                   modeShd = c('area', 'prom'),
                   distances = dist2x, struct = struct2x,
                   res = 5,
                   prog = FALSE) #Se quita la barra de progreso
show(ShdM2x)
```

```
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 138.6806 153.2566 5.241314
 2: Feb. 2024 143.4987 158.5247 5.423408
 3: Mar. 2024 151.8477 167.7311 5.738952
 4: Apr. 2024 178.6717 197.4274 6.752741
 5: May. 2024 200.8888 222.0523 7.592419
 6: Jun. 2024 223.9959 247.6903 8.465728
 7: Jul. 2024 214.2749 236.9628 8.098332
 8: Aug. 2024 194.6043 215.1439 7.354902
 9: Sep. 2024 168.9824 186.7349 6.386542
10: Oct. 2024 132.2995 146.0747 5.000145
11: Nov. 2024 128.5783 141.9871 4.859507
12: Dec. 2024 102.9116 113.5613 3.889454

Yearly values:
   Dates      Eac      Edc       Yf
   <int>    <num>    <num>    <num>
1:  2024 60369.04 66710.67 2281.595
```

```
-----------------
Mode of tracking:  two
    Inclination limit: 90
-----------------
Generator:
    Modules in series:  12
    Modules in parallel:  11
    Nominal power (kWp):  26.5

Summary of results:
      Lew             Lns           H           FS               GRR             Yf
 Min.   :30.00   Min.   :20   Min.   :0   Min.   :0.01509   Min.   :2.649   Min.   :2104
 1st Qu.:33.75   1st Qu.:25   1st Qu.:0   1st Qu.:0.02223   1st Qu.:3.946   1st Qu.:2192
 Median :37.50   Median :30   Median :0   Median :0.02870   Median :4.802   Median :2216
 Mean   :37.50   Mean   :30   Mean   :0   Mean   :0.03463   Mean   :4.967   Mean   :2203
 3rd Qu.:41.25   3rd Qu.:35   3rd Qu.:0   3rd Qu.:0.03945   3rd Qu.:6.016   3rd Qu.:2231
 Max.   :45.00   Max.   :40   Max.   :0   Max.   :0.07769   Max.   :7.948   Max.   :2247
```

```r
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',
                         prog = FALSE) #Se quita la barra de progreso
show(Shd12HorizBT)
```

```
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  97.48365 107.53823 3.684309
 2: Feb. 2024 114.31569 126.11751 4.320462
 3: Mar. 2024 135.67629 149.74056 5.127767
 4: Apr. 2024 170.28530 188.06424 6.435785
 5: May. 2024 194.83600 215.33865 7.363657
 6: Jun. 2024 216.37522 239.26256 8.177713
 7: Jul. 2024 208.20413 230.21074 7.868894
 8: Aug. 2024 187.19428 206.84745 7.074845
 9: Sep. 2024 154.37402 170.41035 5.834432
10: Oct. 2024 109.27362 120.57435 4.129901
11: Nov. 2024  92.82584 102.42576 3.508272
12: Dec. 2024  69.13228  76.42401 2.612794
```

```
Yearly values:
   Dates      Eac      Edc       Yf
   <int>    <num>    <num>    <num>
1:  2024 53386.77 58969.19 2017.707
-----------------
Mode of tracking:  horiz
    Inclination limit: 60
-----------------
Generator:
    Modules in series:  12
    Modules in parallel:  11
    Nominal power (kWp):  26.5

Summary of results:
      Lew              H           FS               GRR             Yf
 Min.   : 9.66   Min.   :0   Min.   :0.04804   Min.   :2.000   Min.   :1736
 1st Qu.:13.16   1st Qu.:0   1st Qu.:0.05727   1st Qu.:2.725   1st Qu.:1824
 Median :16.66   Median :0   Median :0.07295   Median :3.449   Median :1871
 Mean   :16.66   Mean   :0   Mean   :0.08078   Mean   :3.449   Mean   :1855
 3rd Qu.:20.16   3rd Qu.:0   3rd Qu.:0.09598   3rd Qu.:4.174   3rd Qu.:1902
 Max.   :23.66   Max.   :0   Max.   :0.13968   Max.   :4.899   Max.   :1921
```

```r
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',
                       prog = FALSE) #Se quita la barra de progreso
show(Shd12Fixed)
```

```
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  95.36291 105.62767 3.604158
 2: Feb. 2024 101.50809 112.56166 3.836410
 3: Mar. 2024 110.26945 122.11835 4.167538
 4: Apr. 2024 124.53728 138.29836 4.706778
 5: May. 2024 131.48629 145.91065 4.969410
 6: Jun. 2024 135.89421 150.78725 5.136003
 7: Jul. 2024 134.98501 149.81246 5.101641
 8: Aug. 2024 130.25804 144.39951 4.922989
```

```
 9: Sep. 2024 119.91911 132.77648 4.532238
10: Oct. 2024  96.49455 106.99182 3.646928
11: Nov. 2024  90.17737  99.88152 3.408175
12: Dec. 2024  73.89289  81.80967 2.792718

Yearly values:
   Dates     Eac      Edc       Yf
   <int>   <num>    <num>    <num>
1:  2024 41014.8 45473.37 1550.119
-----------------
Mode of tracking:  fixed
    Inclination:  27.2
    Orientation:  0
-----------------
Generator:
    Modules in series:  12
    Modules in parallel:  11
    Nominal power (kWp):  26.5

Summary of results:
       D              H           FS                 GRR            Yf
 Min.   : 5.0   Min.   :0   Min.   :0.0008477   Min.   :1.0   Min.   :1364
 1st Qu.: 7.5   1st Qu.:0   1st Qu.:0.0015710   1st Qu.:1.5   1st Qu.:1511
 Median :10.0   Median :0   Median :0.0038992   Median :2.0   Median :1544
 Mean   :10.0   Mean   :0   Mean   :0.0269608   Mean   :2.0   Mean   :1508
 3rd Qu.:12.5   3rd Qu.:0   3rd Qu.:0.0252790   3rd Qu.:2.5   3rd Qu.:1548
 Max.   :15.0   Max.   :0   Max.   :0.1199180   Max.   :3.0   Max.   :1549
```

4.8. Métodos de visualización

Una vez creados todos los objetos, para mejorar la visualización de los mismos, **solaR2** cuanta con una serie de métodos que ayudan a la compresión de los datos obtenidos.

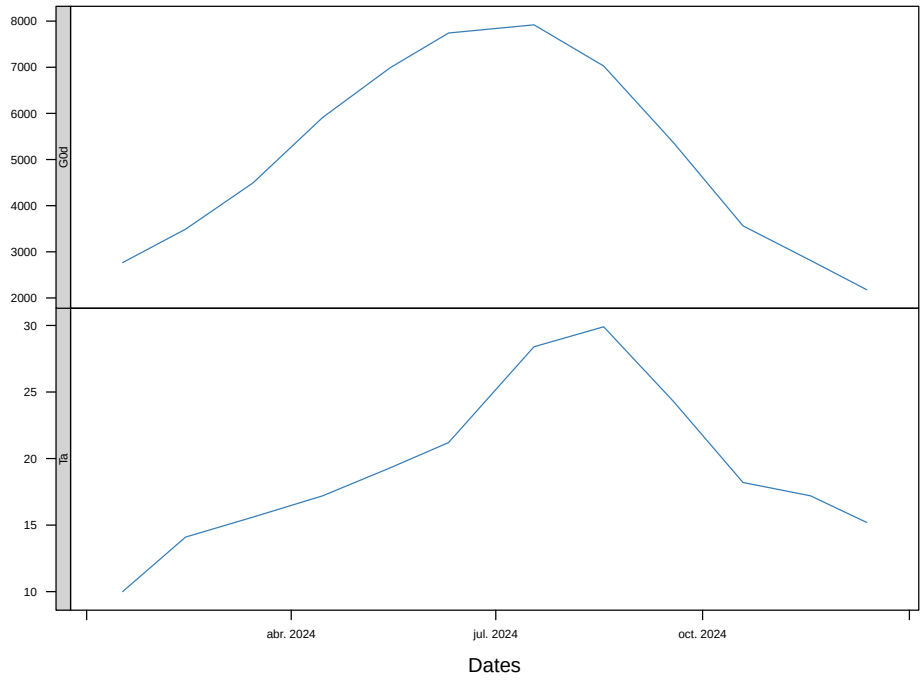
4.8.1. Datos meteorológicos

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

```
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;
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)
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
```

```
xyplot(BD)
```



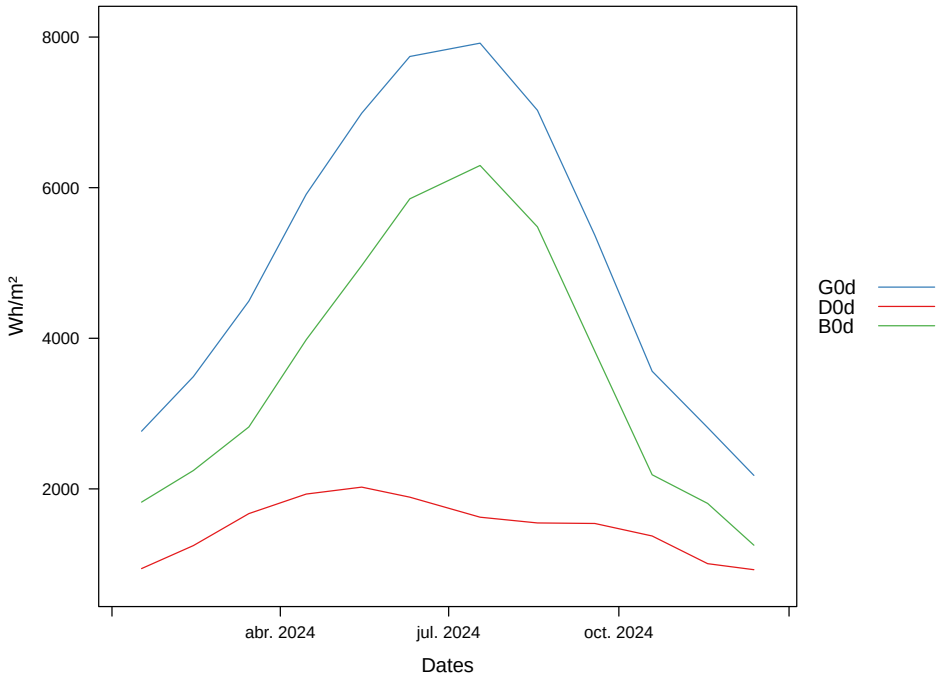
4.8.2. Radiación en el plano horizontal

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

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

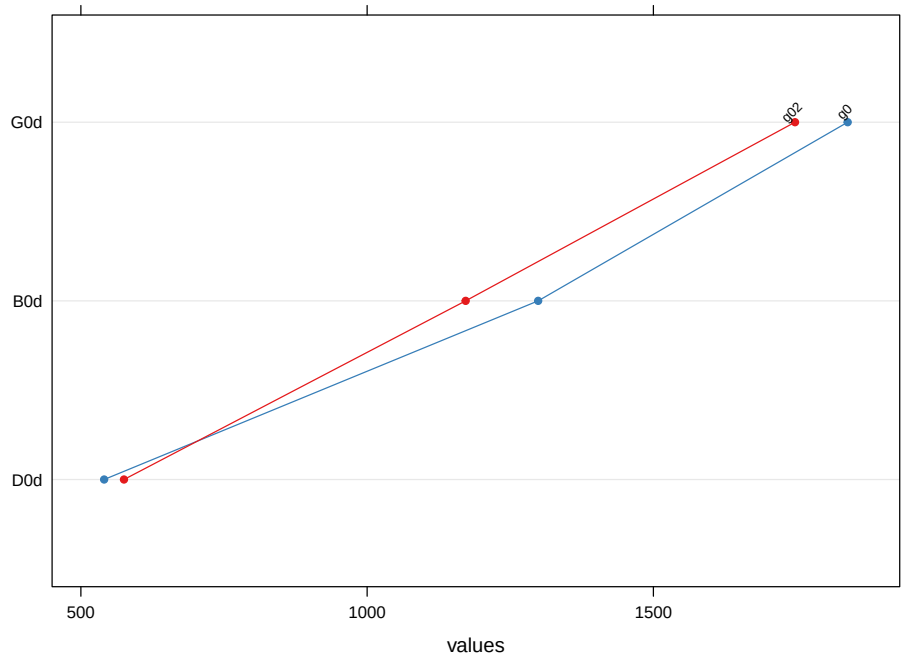
```
Object of class  G0

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
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
```

```
xyplot(g0)
```



Y con un método para **compare**.

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



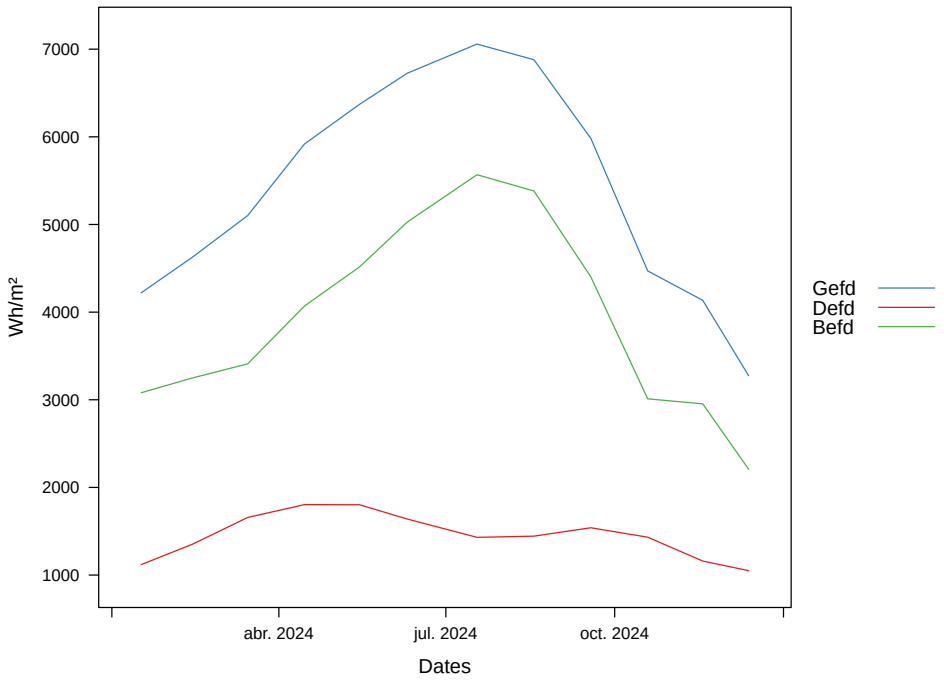
4.8.3. Radiación efectiva en el plano del generador

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

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

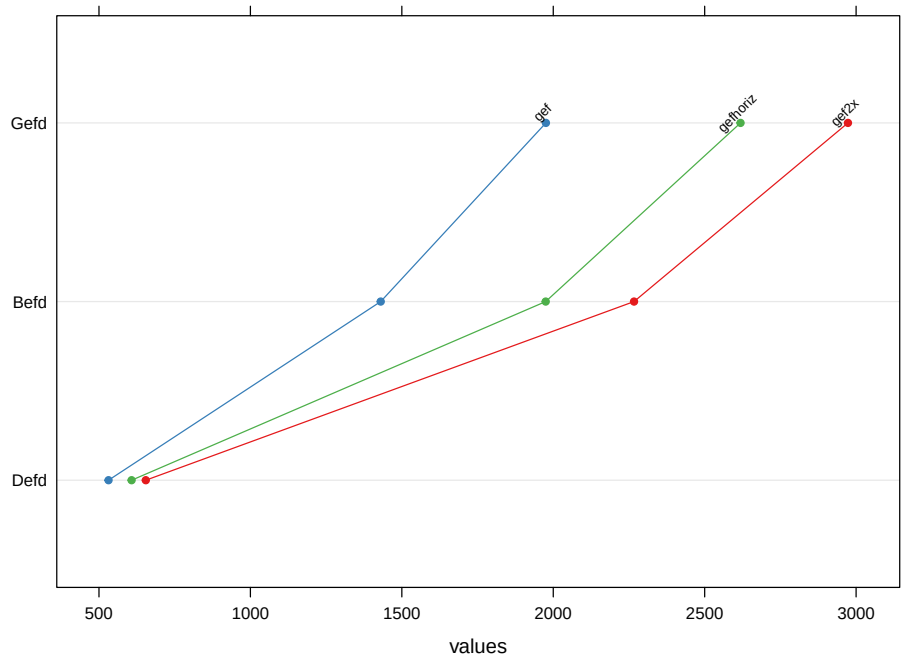
```
Object of class  Gef

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
```

```
xyplot(gef)
```



Y con un método para **compare**.

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



4.8.4. Producción eléctrica de un SFCR

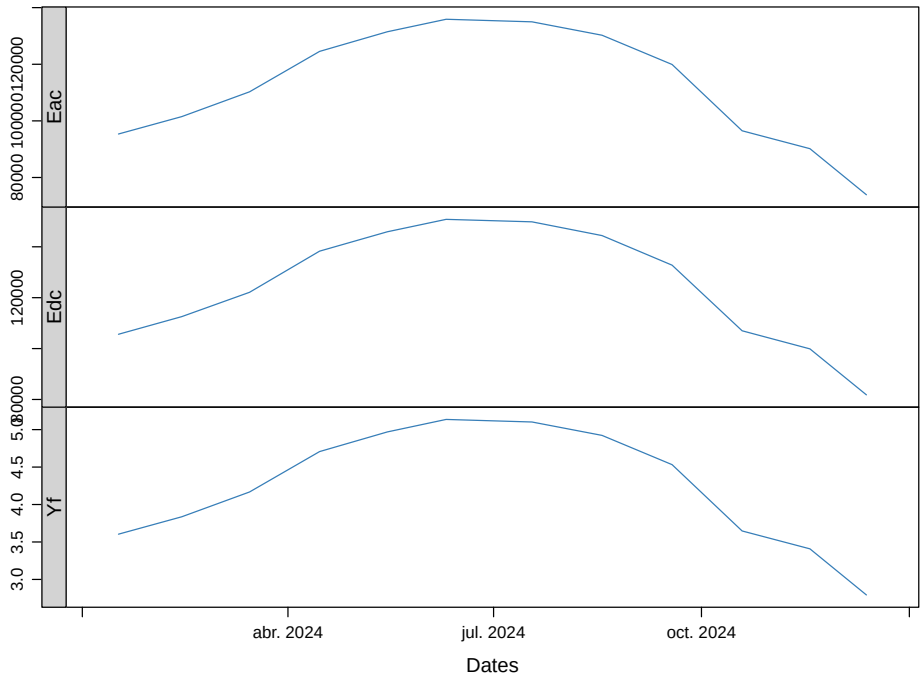
La clase **ProdGCPV** cuenta con un método para **xyplot**.

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

```
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  95.36291 105.62767 3.604158
 2: Feb. 2024 101.50809 112.56166 3.836410
 3: Mar. 2024 110.26945 122.11835 4.167538
 4: Apr. 2024 124.53728 138.29836 4.706778
 5: May. 2024 131.48629 145.91065 4.969410
 6: Jun. 2024 135.89421 150.78725 5.136003
 7: Jul. 2024 134.98501 149.81246 5.101641
 8: Aug. 2024 130.25804 144.39951 4.922989
 9: Sep. 2024 119.91911 132.77648 4.532238
10: Oct. 2024  96.49455 106.99182 3.646928
11: Nov. 2024  90.17737  99.88152 3.408175
12: Dec. 2024  73.89289  81.80967 2.792718
```

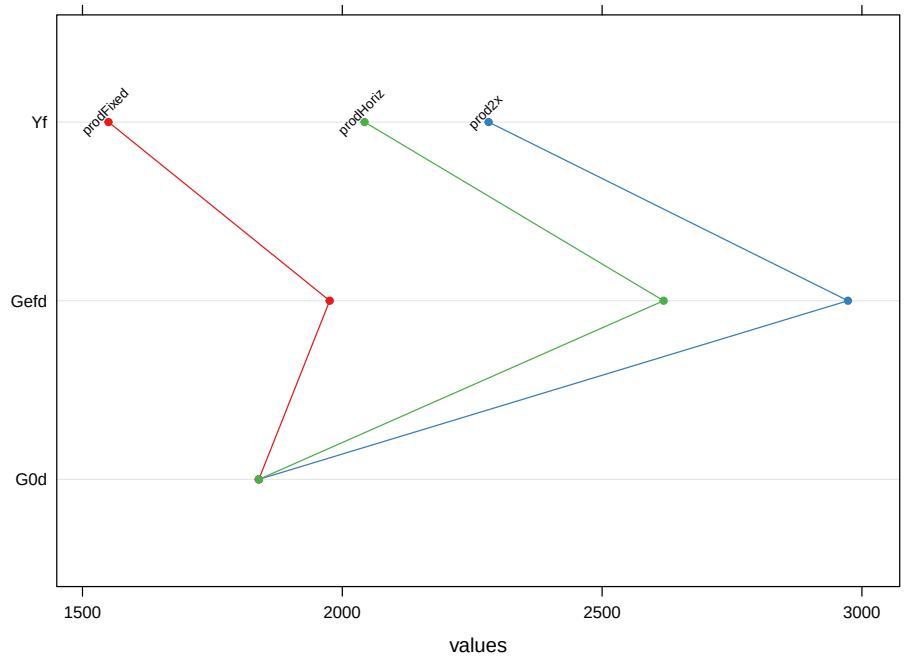
```
Yearly values:
   Dates     Eac      Edc       Yf
   <int>   <num>    <num>    <num>
1:  2024 41014.8 45473.37 1550.119
-----------------
Mode of tracking:  fixed
    Inclination:  27.2
    Orientation:  0
-----------------
Generator:
    Modules in series:  12
    Modules in parallel:  11
    Nominal power (kWp):  26.5
```

```r
xyplot(prodFixed)
```



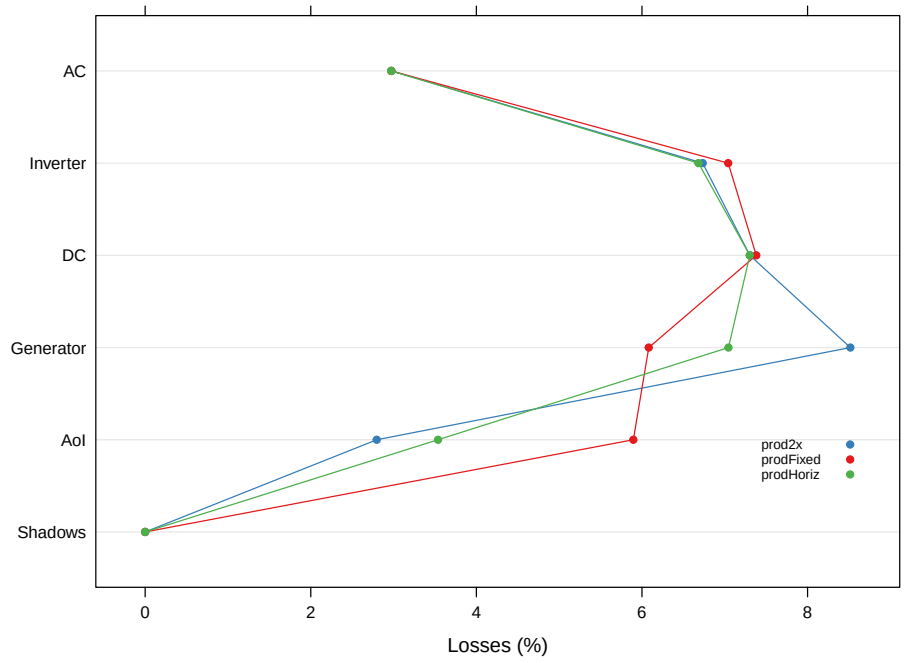
Un método para **compare**.

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



Y un método para **compareLosses**.

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



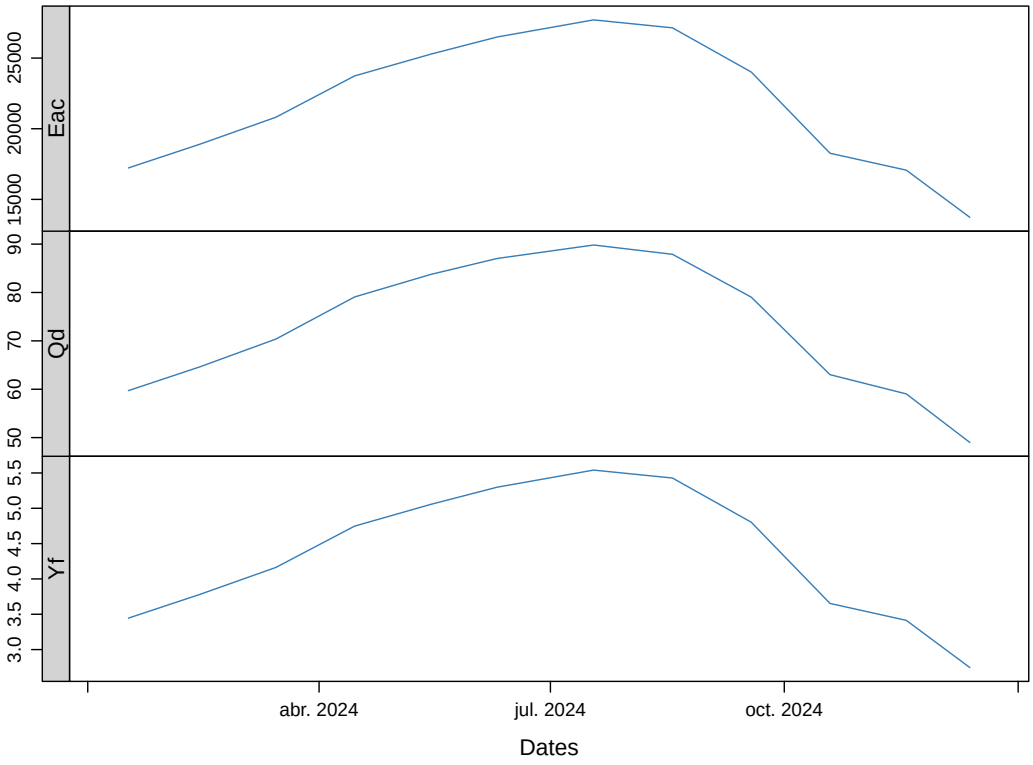
4.8.5. Producción electrica de un SFB

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

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

```
xyplot(pump)
```



4.8.6. Optimización de distancias

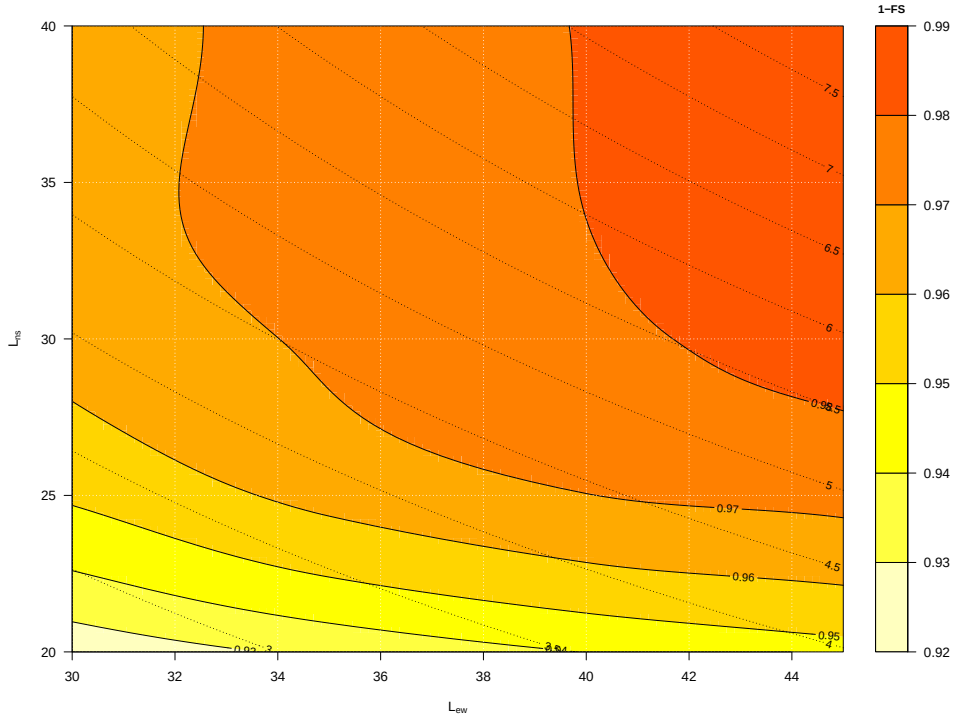
La clase **Shade** cuenta con un método para **shadeplot**.

```
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, prog = FALSE)
show(ShdM2x)
```

```
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 138.6806 153.2566 5.241314
 2: Feb. 2024 143.4987 158.5247 5.423408
 3: Mar. 2024 151.8477 167.7311 5.738952
 4: Apr. 2024 178.6717 197.4274 6.752741
 5: May. 2024 200.8888 222.0523 7.592419
 6: Jun. 2024 223.9959 247.6903 8.465728
 7: Jul. 2024 214.2749 236.9628 8.098332
 8: Aug. 2024 194.6043 215.1439 7.354902
 9: Sep. 2024 168.9824 186.7349 6.386542
10: Oct. 2024 132.2995 146.0747 5.000145
11: Nov. 2024 128.5783 141.9871 4.859507
12: Dec. 2024 102.9116 113.5613 3.889454

Yearly values:
   Dates      Eac      Edc       Yf
   <int>    <num>    <num>    <num>
1:  2024 60369.04 66710.67 2281.595
-----------------
Mode of tracking:  two
    Inclination limit: 90
-----------------
Generator:
    Modules in series:  12
    Modules in parallel:  11
    Nominal power (kWp):  26.5

Summary of results:
      Lew             Lns           H           FS               GRR              Yf
 Min.   :30.00   Min.   :20   Min.   :0   Min.   :0.01509   Min.   :2.649   Min.   :2104
 1st Qu.:33.75   1st Qu.:25   1st Qu.:0   1st Qu.:0.02223   1st Qu.:3.946   1st Qu.:2192
 Median :37.50   Median :30   Median :0   Median :0.02870   Median :4.802   Median :2216
 Mean   :37.50   Mean   :30   Mean   :0   Mean   :0.03463   Mean   :4.967   Mean   :2203
 3rd Qu.:41.25   3rd Qu.:35   3rd Qu.:0   3rd Qu.:0.03945   3rd Qu.:6.016   3rd Qu.:2231
 Max.   :45.00   Max.   :40   Max.   :0   Max.   :0.07769   Max.   :7.948   Max.   :2247
```

```
1 shadeplot(ShdM2x)
```


1–FS
0.99
0.98
0.97
0.96
0.95
0.94
0.93
0.92
40
35
30
25
20
30
32
34
36
38
40
42
44
L_{ss}
L_{ew}
7.5
7
6.5
6
5.5
5
4.5
4
0.97
0.96
0.95

CAPÍTULO 5

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)
```

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                          G0             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.

```
## mc-Si
module1 <- list(Vocn = 37.1,
                Iscn = 8.76,
                Vmn = 29.9,
                Imn = 8.37,
                Ncs = 60,
                Ncp = 1,
                CoefVT = 0.00338,
                TONC = 43.7)
## pc-Si
module2 <- list(Vocn = 36.5,
                Iscn = 8.15,
                Vmn = 29,
                Imn = 7.59,
                Ncs = 60,
                Ncp = 1,
                CoefVT = 0.0037,
                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.

```
## mc-Si
```

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
α_{Isc} (%/K)	0.0043	0.06
β_{Voc} (%/K)	-0.338	-0.37
γ_{Pmpp} (%/K)	-0.469	-0.45
Temperatura NOC (ºC)	43.7	46

TABLA 5.2: *Sistemas fotovoltaicos.*

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

```
generator1 <- list(Nms = 5, Nmp = 1)
## pc-Si
generator2 <- list(Nms = 5, Nmp = 1)
```

Una vez se tienen todos los parémtros 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:

```
inverter <- list(Pinv = 1200,
                 Vmin = 100,
                 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:

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

TABLA 5.3: *Carácteristicas 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 %

```
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
```

```
prod2 <- prodGCPV(lat = 40.4, modeTrk = 'fixed', modeRad = 'bdI',
                  dataRad = enemar13,
                  beta = 30, alfa = -19, iS = 1,
                  module = module2, generator = generator2,
                  inverter = inverter)
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**.

```
library(solaR2)
```

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

```
enemar13 <- readBDi(file = 'TFG/data/ETSIDI/etsidi/EneMar2013_1.csv',
                    lat = 40.4, dates.col = 'Fecha')
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                          G0              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
```

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

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).

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

```
prod2 <- prodGCPV(lat = 40.4, modeTrk = 'fixed', modeRad = 'bdI',
                  dataRad = enemar13,
                  beta = 30, alfa = -19, iS = 1,
                  module = module2, generator = generator2,
                  inverter = inverter)
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 cáculos. Sin embargo, el paquete **solaR2**, a parte de la corrección de algunos erores, 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**.

```r
## Con el paquete solaR
library(microbenchmark)
prodGCPVcustom <- function(){
  prod1 <- prodGCPV(lat = 40.4, modeTrk = 'fixed', modeRad = 'bdI',
                    dataRad = enemar13, beta = 30, alfa =-19,
                    iS = 1, module = module1,
                    generator = generator1, inverter = inverter)
}
microbenchmark(prodGCPVcustom(), times = 50)
```

```
Unit: milliseconds
            expr      min       lq     mean   median       uq      max neval
 prodGCPVcustom() 519.6561 529.6309 537.7213 533.5813 541.5372 588.5352    50
```

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

```
Unit: milliseconds
            expr      min       lq     mean   median       uq      max neval
 prodGCPVcustom() 330.2599 333.759 340.0681 336.0833 340.389 375.635    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 optener 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**.

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

```
Unit: seconds
            expr      min       lq     mean   median       uq      max neval
 optimShdcustom() 6.229458 6.261952 6.297081 6.286866 6.322821 6.456526    20
```

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

```
Unit: seconds
            expr      min       lq     mean   median       uq      max neval
 optimShdcustom() 5.037961 5.056003 5.115279 5.089934 5.099124 5.420153    20
```

APÉNDICE A

Código completo

Todo el código que se muestra a continuación está disponible para descargar, consultar y modificar libremente en el repositorio de Github correspondiente a la versión de desarrollo del paquete: https://github.com/solarization/solaR2.

A.1. Constructores

A.1.1. calcSol

```
calcSol <- function(lat, BTd,
                    sample = 'hour', BTi,
                    EoT = TRUE,
                    keep.night = TRUE,
                    method = 'michalsky')
{
    if(missing(BTd)) BTd <- truncDay(BTi)
    solD <- fSolD(lat, BTd, method = method) #daily values
    solI <- fSolI(solD = solD, sample = sample, #intradaily values
                  BTi = BTi, keep.night = keep.night,
                  EoT = EoT, method = method)

    if(!missing(BTi)){
        sample <- median(diff(solI$Dates))
        sample <- format(sample)
    }

    solD[, lat := NULL]
    solI[, lat := NULL]
    result <- new('Sol',
                  lat = lat,
                  solD = solD,
                  solI = solI,
                  sample = sample,
                  method = method)
    return(result)
}
```

Extracto de código A.1: *calcSol*

A.1.2. calcG0

```
utils::globalVariables('DayOfMonth')

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

    if (missing(lat)) stop('lat missing. You must provide a latitude value.')

    stopifnot(modeRad %in% c('prom', 'aguiar','bd', 'bdI'))


###Radiation data
    if (missing(corr)){
        corr = switch(modeRad,
                      bd = 'CPR', #Correlation between Fd and Kt for daily
    values
                      aguiar = 'CPR', #Correlation between Fd and Kt for daily
    values
                      prom = 'Page',  #Correlation between Fd and Kt for monthly
     averages
                      bdI = 'BRL'     #Correlation between fd and kt for
    intraday values
                      )
    }

    if(is(dataRad, 'Meteo')){BD <- dataRad}
    else{
    BD <- switch(modeRad,
                 bd = {
                     if (!is.list(dataRad)||is.data.frame(dataRad)){
                         dataRad <- list(file = dataRad)
                     }
                         switch(class(dataRad$file)[1],
                                character = {
                                    bd.default=list(file = '', lat = lat)
                                    bd=modifyList(bd.default, dataRad)
                                    res <- do.call('readBDd', bd)
                                    res
                                },
                                data.table = ,
                                data.frame = {
                                    bd.default = list(file = '', lat = lat)
                                    bd=modifyList(bd.default, dataRad)
                                    res <- do.call('dt2Meteo', bd)
                                    res
                                },
                                zoo = {
                                    bd.default = list(file = '', lat = lat,
    source = '')
                                    bd = modifyList(bd.default, dataRad)
                                    res <- do.call('zoo2Meteo', bd)
                                    res
```

```
                                    })
                    }, #End of bd
                prom = {
                    if (!is.list(dataRad)) dataRad <- list(G0dm = dataRad)
                    prom.default <- list(G0dm = numeric(), lat = lat)
                    prom = modifyList(prom.default, dataRad)
                    res <- do.call('readG0dm', prom)
                }, #End of prom
                aguiar = {
                    if (is.list(dataRad)) dataRad <- dataRad$G0dm
                    BTd <- fBTd(mode = 'serie')
                    solD <- fSolD(lat, BTd)
                    G0d <- markovG0(dataRad, solD)
                    res <- dt2Meteo(G0d, lat = lat, source = 'aguiar')
                }, #End of aguiar
                bdI = {
                    if (!is.list(dataRad) || is.data.frame(dataRad)){
                        dataRad <- list(file = dataRad)
                    }
                    switch(class(dataRad$file)[1],
                           character = {
                               bdI.default <- list(file = '', lat = lat)
                               bdI <- modifyList(bdI.default, dataRad)
                               res <- do.call('readBDi', bdI)
                               res
                           },
                           data.table = ,
                           data.frame = {
                               bdI.default <- list(file = '', lat = lat)
                               bdI <- modifyList(bdI.default, dataRad)
                               res <- do.call('dt2Meteo', bdI)
                               res
                           },
                           zoo = {
                               bdI.default <- list(file = '', lat = lat, source
    = '')
                               bdI <- modifyList(bdI.default, dataRad)
                               res <- do.call('zoo2Meteo', bdI)
                               res
                           },
                           stop('dataRad$file should be a character, a data.
   table, a data.frame or a zoo.')
                           )} #End of btI
                )             #End of general switch
    }


### Angulos solares y componentes de irradiancia
    if (modeRad == 'bdI') {
        sol <- calcSol(lat, sample = sample,
                       BTi = indexD(BD), keep.night=keep.night, method=
   sunGeometry)
        compI <- fCompI(sol=sol, G0I=BD, corr=corr, f=f, ...)
        compD <- compI[, lapply(.SD, P2E, sol@sample),
                       .SDcols = c('G0', 'D0', 'B0'),
                       by = truncDay(Dates)]
        names(compD)[1] <- 'Dates'
        names(compD)[-1] <- paste(names(compD)[-1], 'd', sep = '')
```

```
        compD$Fd <- compD$D0d/compD$G0d
        compD$Kt <- compD$G0d/as.data.tableD(sol)$Bo0d
    } else { ##modeRad!='bdI'
        sol <- calcSol(lat, indexD(BD), sample = sample,
                       keep.night = keep.night, method = sunGeometry)
        compD<-fCompD(sol=sol, G0d=BD, corr=corr, f, ...)
        compI<-fCompI(sol=sol, compD=compD, ...)
    }

###Temperature

    Ta = switch(modeRad,
                bd = {
                    if (all(c("TempMax","TempMin") %in% names(BD@data))) {
                        fTemp(sol, BD)
                    } else {
                        if ("Ta" %in% names(getData(BD))) {
                            data.table(Dates = indexD(sol),
                                       Ta = getData(BD)$Ta)
                        } else {
                            warning('No temperature information available!')
                        }
                    }
                },
                bdI={
                    if ("Ta" %in% names(getData(BD))) {
                        data.table(Dates = indexI(sol),
                                   Ta = getData(BD)$Ta)
                    } else {
                        warning('No temperature information available!')
                    }
                },
                prom = {
                    if ("Ta" %in% names(getData(BD))) {
                        data.table(Dates = indexD(sol),
                                   Ta = getData(BD)$Ta)
                    } else {
                        warning('No temperature information available!')
                    }
                },
                aguiar={
                    Dates<-indexI(sol)
                    x <- as.Date(Dates)
                    ind.rep <- cumsum(c(1, diff(x) != 0))
                    data.table(Dates = Dates,
                               Ta = getData(BD)$Ta[ind.rep])
                }
                )

###Medias mensuales y anuales
    nms <- c('G0d', 'D0d', 'B0d')
    G0dm <- compD[, lapply(.SD/1000, mean, na.rm = TRUE),
                  .SDcols = nms,
                  by = .(month(Dates), year(Dates))]

    if(modeRad == 'prom'){
        G0dm[, DayOfMonth := DOM(G0dm)]
        G0y <- G0dm[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
```

```
                    .SDcols = nms,
                    by = .(Dates = year)]
        G0dm[, DayOfMonth := NULL]
    } else{
        G0y <- compD[, lapply(.SD/1000, sum, na.rm = TRUE),
                     .SDcols = nms,
                     by = .(Dates = year(Dates))]
    }
    G0dm[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
    G0dm[, c('month', 'year') := NULL]
    setcolorder(G0dm, 'Dates')

###Result
    result <- new(Class='G0',
                  BD,        #G0 contains "Meteo"
                  sol,       #G0 contains 'Sol'
                  G0D=compD, #results of fCompD
                  G0dm=G0dm, #monthly means
                  G0y=G0y,   #yearly values
                  G0I=compI, #results of fCompD
                  Ta=Ta      #ambient temperature
                  )
    return(result)
}
```

Extracto de código A.2: *calcG0*

A.1.3. calcGef

```
calcGef<-function(lat,
                  modeTrk='fixed',      #c('two','horiz','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='',    #modeShd=c('area','bt','prom')
                  struct=list(), #list(W=23.11, L=9.8, Nrow=2, Ncol=8),
                  distances=data.table(),#data.table(Lew=40, Lns=30, H=0)){
                  ...){

    stopifnot(is.list(struct), is.data.frame(distances))

    if (('bt' %in% modeShd) & (modeTrk!='horiz')) {
        modeShd[which(modeShd=='bt')]='area'
        warning('backtracking is only implemented for modeTrk=horiz')}

    if (modeRad!='prev'){ #not use a prev calculation
        radHoriz <- calcG0(lat=lat, modeRad=modeRad,
                           dataRad=dataRad,
                           sample=sample, keep.night=keep.night,
                           sunGeometry=sunGeometry,
                           corr=corr, f=f, ...)
    } else {                          #use a prev calculation
        radHoriz <- as(dataRad, 'G0')
```

```
30      }
31
32  ### Inclined and effective radiation
33      BT=("bt" %in% modeShd)
34      angGen <- fTheta(radHoriz, beta, alpha, modeTrk, betaLim, BT, struct,
        distances)
35      inclin <- fInclin(radHoriz, angGen, iS, alb, horizBright, HCPV)
36
37  ### Daily, monthly and yearly values
38      by <- radHoriz@sample
39      nms <- c('Bo', 'Bn', 'G', 'D', 'B', 'Gef', 'Def', 'Bef')
40      nmsd <- paste(nms, 'd', sep = '')
41
42
43      if(radHoriz@type == 'prom'){
44          Gefdm <- inclin[, lapply(.SD/1000, P2E, by),
45                          .SDcols = nms,
46                          by = .(month(Dates), year(Dates))]
47          names(Gefdm)[-c(1,2)] <- nmsd
48          GefD <- Gefdm[, .SD*1000,
49                        .SDcols = nmsd,
50                        by = .(Dates = indexD(radHoriz))]
51
52          Gefdm[, DayOfMonth := DOM(Gefdm)]
53          Gefy <- Gefdm[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
54                        .SDcols = nmsd,
55                        by = .(Dates = year)]
56          Gefdm[, DayOfMonth := NULL]
57      } else{
58          GefD <- inclin[, lapply(.SD, P2E, by),
59                         .SDcols = nms,
60                         by = .(Dates = truncDay(Dates))]
61          names(GefD)[-1] <- nmsd
62
63          Gefdm <- GefD[, lapply(.SD/1000, mean, na.rm = TRUE),
64                        .SDcols = nmsd,
65                        by = .(month(indexD(radHoriz)), year(indexD(radHoriz)))]
66          Gefy <- GefD[, lapply(.SD/1000, sum, na.rm = TRUE),
67                       .SDcols = nmsd,
68                       by = .(Dates = year(indexD(radHoriz)))]
69      }
70
71      Gefdm[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
72      Gefdm[, c('month', 'year') := NULL]
73      setcolorder(Gefdm, 'Dates')
74
75  ###Resultado antes de sombras
76      result0=new('Gef',
77                  radHoriz,                              #Gef contains 'G0'
78                  Theta=angGen,
79                  GefD=GefD,
80                  Gefdm=Gefdm,
81                  Gefy=Gefy,
82                  GefI=inclin,
83                  iS=iS,
84                  alb=alb,
85                  modeTrk=modeTrk,
86                  modeShd=modeShd,
```

```
                angGen=list(alpha = alpha, beta=beta, betaLim=betaLim),
                struct=struct,
                distances=distances
                )
###Shadows
    if (isTRUE(modeShd == "") ||        #If modeShd=='' there is no shadow
    calculation
        ('bt' %in% modeShd)) {            #nor if there is backtracking
        return(result0)
    } else {
        result <- calcShd(result0, modeShd, struct, distances)
        return(result)
    }
}
```

Extracto de código A.3: *calcGef*

A.1.4. prodGCPV

```
utils::globalVariables(c('Yf', 'Eac'))

prodGCPV<-function(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(),
                   ...){

    stopifnot(is.list(module),
              is.list(generator),
              is.list(inverter),
              is.list(effSys),
              is.list(struct),
              is.data.table(distances))

  if (('bt' %in% modeShd) & (modeTrk!='horiz')) {
      modeShd[which(modeShd=='bt')]='area'
      warning('backtracking is only implemented for modeTrk=horiz')}

    if (modeRad!='prev'){ #We do not use a previous calculation

    radEf<-calcGef(lat=lat, modeTrk = modeTrk, modeRad = modeRad,
                   dataRad = dataRad,
                   sample = sample, keep.night = keep.night,
                   sunGeometry = sunGeometry,
                   corr = corr, f = f,
```

```
                    betaLim = betaLim, beta = beta, alpha = alpha,
                    iS = iS, alb = alb, horizBright = horizBright, HCPV = HCPV,
                    modeShd = modeShd, struct = struct, distances = distances,
  ...)

} else { #We use a previous calcG0, calcGef or prodGCPV calculation.

    stopifnot(class(dataRad) %in% c('G0', 'Gef', 'ProdGCPV'))
    radEf <- switch(class(dataRad),
                    G0 = calcGef(lat = lat,
                                 modeTrk = modeTrk, modeRad = 'prev',
                                 dataRad = dataRad,
                                 betaLim = betaLim, beta = beta, alpha = alpha
  ,
                                 iS = iS, alb = alb, horizBright = horizBright
  , HCPV = HCPV,
                                 modeShd = modeShd, struct = struct, distances
   = distances, ...),
                    Gef = dataRad,
                    ProdGCPV = as(dataRad, 'Gef')
                    )
}


  ##Production
  prodI <- fProd(radEf,module,generator,inverter,effSys)
  module = attr(prodI, 'module')
  generator = attr(prodI, 'generator')
  inverter = attr(prodI, 'inverter')
  effSys = attr(prodI, 'effSys')

  ##Calculation of daily, monthly and annual values
  Pg = generator$Pg #Wp

  by <- radEf@sample
  nms1 <- c('Pac', 'Pdc')
  nms2 <- c('Eac', 'Edc', 'Yf')


  if(radEf@type == 'prom'){
      prodDm <- prodI[, lapply(.SD/1000, P2E, by),
                      .SDcols = nms1,
                      by = .(month(Dates), year(Dates))]
      names(prodDm)[-c(1,2)] <- nms2[-3]
      prodDm[, Yf := Eac/(Pg/1000)]
      prodD <- prodDm[, .SD*1000,
                      .SDcols = nms2,
                      by = .(Dates = indexD(radEf))]
      prodD[, Yf := Yf/1000]

      prodDm[, DayOfMonth := DOM(prodDm)]
      prody <- prodDm[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
                      .SDcols = nms2,
                      by = .(Dates = year)]
      prodDm[, DayOfMonth := NULL]
  } else {
      prodD <- prodI[, lapply(.SD, P2E, by),
                     .SDcols = nms1,
```

```
                        by = .(Dates = truncDay(Dates))]
        names(prodD)[-1] <- nms2[-3]
        prodD[, Yf := Eac/Pg]

        prodDm <- prodD[, lapply(.SD/1000, mean, na.rm = TRUE),
                        .SDcols = nms2,
                        by = .(month(Dates), year(Dates))]
        prodDm[, Yf := Yf * 1000]
        prody <- prodD[, lapply(.SD/1000, sum, na.rm = TRUE),
                       .SDcols = nms2,
                       by = .(Dates = year(Dates))]
        prody[, Yf := Yf * 1000]
    }

    prodDm[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
    prodDm[, c('month', 'year') := NULL]
    setcolorder(prodDm, 'Dates')

    result <- new('ProdGCPV',
                  radEf,                  #contains 'Gef'
                  prodD=prodD,
                  prodDm=prodDm,
                  prody=prody,
                  prodI=prodI,
                  module=module,
                  generator=generator,
                  inverter=inverter,
                  effSys=effSys
                  )
}
```

Extracto de código A.4: *prodGCPV*

A.1.5. prodPVPS

```
utils::globalVariables('Qd')

prodPVPS<-function(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(), #Pnom=Pg, Ki=c(0.01,0.025,0.05)),
                   effSys=list(),
                   ...){

    stopifnot(is.list(converter),
              is.list(effSys))

    if (modeRad!='prev'){ #We do not use a previous calculation

        radEf<-calcGef(lat=lat, modeTrk=modeTrk, modeRad=modeRad,
```

```
                        dataRad=dataRad,
                        sample=sample, keep.night=keep.night,
                        sunGeometry=sunGeometry,
                        corr=corr, f=f,
                        betaLim=betaLim, beta=beta, alpha = alpha,
                        iS=iS, alb=alb, horizBright=horizBright, HCPV=HCPV,
                    modeShd='', ...)

    } else { #We use a previous calculation of calcG0, calcGef or prodPVPS
        stopifnot(class(dataRad) %in% c('G0', 'Gef', 'ProdPVPS'))
        radEf <- switch(class(dataRad),
                        G0=calcGef(lat=lat,
                                   modeTrk=modeTrk, modeRad='prev',
                       dataRad=dataRad,
                       betaLim=betaLim, beta=beta, alpha = alpha,
                       iS=iS, alb=alb, horizBright=horizBright, HCPV=HCPV,
                       modeShd='', ...),
                       Gef=dataRad,
                       ProdPVPS=as(dataRad, 'Gef')
                       )
    }

###Electric production
    converter.default=list(Ki = c(0.01,0.025,0.05), Pnom=Pg)
    converter=modifyList(converter.default, converter)

    effSys.default=list(ModQual=3,ModDisp=2,OhmDC=1.5,OhmAC=1.5,MPP=1,TrafoMT=1,
    Disp=0.5)
    effSys=modifyList(effSys.default, effSys)

    TONC=47
    Ct=(TONC-20)/800
    lambda=0.0045
    Gef=radEf@GefI$Gef
    night=radEf@solI$night
    Ta=radEf@Ta$Ta

    Tc=Ta+Ct*Gef
    Pdc=Pg*Gef/1000*(1-lambda*(Tc-25))
    Pdc[is.na(Pdc)]=0 #Necessary for the functions provided by fPump
    PdcN=with(effSys,
              Pdc/converter$Pnom*(1-ModQual/100)*(1-ModDisp/100)*(1-OhmDC/100)
              )
    PacN=with(converter,{
        A=Ki[3]
        B=Ki[2]+1
        C=Ki[1]-(PdcN)
        ##AC power normalized to the inverter
        result=(-B+sqrt(B^2-4*A*C))/(2*A)
    })
    PacN[PacN<0]<-0

    Pac=with(converter,
             PacN*Pnom*(1-effSys$OhmAC/100))
    Pdc=PdcN*converter$Pnom*(Pac>0)


###Pump
```

```
    fun<-fPump(pump=pump, H=H)
    ##I limit power to the pump operating range.
    rango=with(fun,Pac>=lim[1] & Pac<=lim[2])
    Pac[!rango]<-0
    Pdc[!rango]<-0
    prodI=data.table(Pac=Pac,Pdc=Pdc,Q=0,Pb=0,Ph=0,f=0)
    prodI=within(prodI,{
        Q[rango]<-fun$fQ(Pac[rango])
        Pb[rango]<-fun$fPb(Pac[rango])
        Ph[rango]<-fun$fPh(Pac[rango])
        f[rango]<-fun$fFreq(Pac[rango])
        etam=Pb/Pac
        etab=Ph/Pb
    })

    prodI[night,]<-NA
    prodI[, Dates := indexI(radEf)]
    setcolorder(prodI, c('Dates', names(prodI)[-length(prodI)]))

###daily, monthly and yearly values

    by <- radEf@sample

    if(radEf@type == 'prom'){
        prodDm <- prodI[, .(Eac = P2E(Pac, by)/1000,
                            Qd = P2E(Q, by)),
                        by = .(month(Dates), year(Dates))]
        prodDm[, Yf := Eac/(Pg/1000)]

        prodD <- prodDm[, .(Eac = Eac*1000,
                            Qd,
                            Yf),
                        by = .(Dates = indexD(radEf))]

        prodDm[, DayOfMonth := DOM(prodDm)]

        prody <- prodDm[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
                        .SDcols = c('Eac', 'Qd', 'Yf'),
                        by = .(Dates = year)]
        prodDm[, DayOfMonth := NULL]
    } else {
        prodD <- prodI[, .(Eac = P2E(Pac, by)/1000,
                           Qd = P2E(Q, by)),
                       by = .(Dates = truncDay(Dates))]
        prodD[, Yf := Eac/Pg*1000]

        prodDm <- prodD[, lapply(.SD, mean, na.rm = TRUE),
                        .SDcols = c('Eac','Qd', 'Yf'),
                        by = .(month(Dates), year(Dates))]
        prody <- prodD[, lapply(.SD, sum, na.rm = TRUE),
                       .SDcols = c('Eac', 'Qd', 'Yf'),
                       by = .(Dates = year(Dates))]

    }

    prodDm[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
    prodDm[, c('month', 'year') := NULL]
    setcolorder(prodDm, 'Dates')
```

```
139
140     result <- new('ProdPVPS',
141                   radEf,                    #contains 'Gef'
142                   prodD=prodD,
143                   prodDm=prodDm,
144                   prody=prody,
145                   prodI=prodI,
146                   pump=pump,
147                   H=H,
148                   Pg=Pg,
149                   converter=converter,
150                   effSys=effSys
151                  )
152 }
```

Extracto de código A.5: *prodGCPV*

A.1.6. calcShd

```
1  calcShd<-function(radEf,##class='Gef'
2                    modeShd='prom',      #modeShd=c('area','bt','prom')
3                    struct=list(), #list(W=23.11, L=9.8, Nrow=2, Ncol=8),
4                    distances=data.table() #data.table(Lew=40, Lns=30, H=0)){
5                    )
6  {
7      stopifnot(is.list(struct), is.data.frame(distances))
8
9      ##For now I only use modeShd = 'area'
10     ##With different modeShd (to be defined) I will be able to calculate Gef in
       a different way
11     ##See macagnan thesis
12     prom=("prom"  %in%  modeShd)
13     prev <- as.data.tableI(radEf, complete=TRUE)
14     ## shadow calculations
15     modeTrk <- radEf@modeTrk
16     sol <- data.table(AzS = prev$AzS,
17                       AlS = prev$AlS)
18     theta <- radEf@Theta
19     AngGen <- data.table(theta, sol)
20     FS <- fSombra(AngGen, distances, struct, modeTrk, prom)
21     ## irradiance calculation
22     gef0 <- radEf@GefI
23     Bef0 <- gef0$Bef
24     Dcef0 <- gef0$Dcef
25     Gef0 <- gef0$Gef
26     Dief0 <- gef0$Dief
27     Ref0 <- gef0$Ref
28     ## calculation
29     Bef <- Bef0*(1-FS)
30     Dcef <- Dcef0*(1-FS)
31     Def <- Dief0+Dcef
32     Gef <- Dief0+Ref0+Bef+Dcef #Including shadows
33     ##Change names
34     nms <- c('Gef', 'Def', 'Dcef', 'Bef')
35     nmsIndex <- which(names(gef0) %in% nms)
36     names(gef0)[nmsIndex]<- paste(names(gef0)[nmsIndex], '0', sep='')
37     GefShd <- gef0
38     GefShd[, c(nms, 'FS') := .(Gef, Def, Dcef, Bef, FS)]
```

```
39
40      ## daily, monthly and yearly values
41      by <- radEf@sample
42      nms <- c('Gef0', 'Def0', 'Bef0', 'G', 'D', 'B', 'Gef', 'Def', 'Bef')
43      nmsd <- paste(nms, 'd', sep = '')
44
45      Gefdm <- GefShd[, lapply(.SD/1000, P2E, by),
46                      by = .(month(truncDay(Dates)), year(truncDay(Dates))),
47                      .SDcols = nms]
48      names(Gefdm)[-c(1, 2)] <- nmsd
49
50      if(radEf@type == 'prom'){
51          GefD <- Gefdm[, .SD[, -c(1, 2)] * 1000,
52                        .SDcols = nmsd,
53                        by = .(Dates = indexD(radEf))]
54
55          Gefdm[, DayOfMonth := DOM(Gefdm)]
56
57          Gefy <- Gefdm[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
58                        .SDcols = nmsd,
59                        by = .(Dates = year)]
60          Gefdm[, DayOfMonth := NULL]
61      } else{
62          GefD <- GefShd[, lapply(.SD/1000, P2E, by),
63                         .SDcols = nms,
64                         by = .(Dates = truncDay(Dates))]
65          names(GefD)[-1] <- nmsd
66
67          Gefy <- GefD[, lapply(.SD[, -1], sum, na.rm = TRUE),
68                       .SDcols = nmsd,
69                       by = .(Dates = year(Dates))]
70      }
71
72      Gefdm[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
73      Gefdm[, c('month', 'year') := NULL]
74      setcolorder(Gefdm, c('Dates', names(Gefdm)[-length(Gefdm)]))
75
76      ## Object of class Gef
77      ## modifying the 'modeShd', 'GefI', 'GefD', 'Gefdm', and 'Gefy' slots
78      ## from the original radEf object
79      radEf@modeShd=modeShd
80      radEf@GefI=GefShd
81      radEf@GefD=GefD
82      radEf@Gefdm=Gefdm
83      radEf@Gefy=Gefy
84      return(radEf)
85  }
```

Extracto de código A.6: *calcShd*

A.1.7. optimShd

```
1  optimShd<-function(lat,
2                     modeTrk='fixed',
3                     modeRad='prom',
4                     dataRad,
5                     sample='hour',
6                     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,      #resolution, distance spacing
                    prog=TRUE){ #Drawing progress bar

    if (('bt' %in% modeShd) & (modeTrk!='horiz')) {
        modeShd[which(modeShd=='bt')]='area'
        warning('backtracking is only implemented for modeTrk=horiz')}

    ##I save function arguments for later use

    listArgs<-list(lat=lat, modeTrk=modeTrk, modeRad=modeRad,
                    dataRad=dataRad,
                    sample=sample, keep.night=keep.night,
                    sunGeometry=sunGeometry,
                    betaLim=betaLim, beta=beta, alpha = alpha,
                    iS=iS, alb=alb, HCPV=HCPV,
                    module=module, generator=generator,
                    inverter=inverter, effSys=effSys,
                    modeShd=modeShd, struct=struct,
                    distances=data.table(Lew=NA, Lns=NA, D=NA))


    ##Create network on which I will do the calculations
    Red=switch(modeTrk,
               horiz=with(distances,
                          data.table(Lew=seq(Lew[1],Lew[2],by=res),
                                     H=0)),
               two=with(distances,
                        data.table(
                        expand.grid(Lew=seq(Lew[1],Lew[2],by=res),
                                    Lns=seq(Lns[1],Lns[2],by=res),
                                    H=0))),
               fixed=with(distances,
                          data.table(D=seq(D[1],D[2],by=res),
                                     H=0))
    )

    casos<-dim(Red)[1] #Number of possibilities to study

    ##I prepare the progress bar
    if (prog) {pb <- txtProgressBar(min = 0, max = casos+1, style = 3)
        setTxtProgressBar(pb, 0)}

###Calculations
    ##Reference: No shadows
    listArgs0 <- modifyList(listArgs,
                            list(modeShd='', struct=NULL, distances=NULL) )
    Prod0<-do.call(prodGCPV, listArgs0)
    YfAnual0=mean(Prod0@prody$Yf) #I use mean in case there are several years
```

```
65      if (prog) {setTxtProgressBar(pb, 1)}
66
67      ##The loop begins
68
69      ##I create an empty vector of the same length as the cases to be studied
70      YfAnual<-numeric(casos)
71
72      BT=('bt' %in% modeShd)
73      if (BT) { ##There is backtracking, then I must start from horizontal
        radiation.
74          RadBT <- as(Prod0, 'G0')
75          for (i in seq_len(casos)){
76              listArgsBT <- modifyList(listArgs,
77                                       list(modeRad='prev', dataRad=RadBT,
78                                            distances=Red[i,]))
79              prod.i <- do.call(prodGCPV, listArgsBT)
80              YfAnual[i]=mean(prod.i@prody$Yf)
81              if (prog) {setTxtProgressBar(pb, i+1)}
82          }
83      } else {
84          prom=('prom' %in% modeShd)
85          for (i in seq_len(casos)){
86              Gef0=as(Prod0, 'Gef')
87              GefShd=calcShd(Gef0, modeShd=modeShd,
88                             struct=struct, distances=Red[i,])
89              listArgsShd <- modifyList(listArgs,
90                                        list(modeRad='prev', dataRad=GefShd)
91                                        )
92              prod.i <- do.call(prodGCPV, listArgsShd)
93              YfAnual[i]=mean(prod.i@prody$Yf)
94              if (prog) {setTxtProgressBar(pb, i+1)}
95          }
96      }
97      if (prog) {close(pb)}
98
99
100 ###Results
101     FS=1-YfAnual/YfAnual0
102     GRR=switch(modeTrk,
103                two=with(Red,Lew*Lns)/with(struct,L*W),
104                fixed=Red$D/struct$L,
105                horiz=Red$Lew/struct$L)
106     SombraDF=data.table(Red,GRR,FS,Yf=YfAnual)
107     FS.loess=switch(modeTrk,
108                     two=loess(FS~Lew*Lns,data=SombraDF),
109                     horiz=loess(FS~Lew,data=SombraDF),
110                     fixed=loess(FS~D,data=SombraDF))
111     Yf.loess=switch(modeTrk,
112                     two=loess(Yf~Lew*Lns,data=SombraDF),
113                     horiz=loess(Yf~Lew,data=SombraDF),
114                     fixed=loess(Yf~D,data=SombraDF))
115     result <- new('Shade',
116                   Prod0, ##contains ProdGCPV
117                   FS=FS,
118                   GRR=GRR,
119                   Yf=YfAnual,
120                   FS.loess=FS.loess,
121                   Yf.loess=Yf.loess,
```

```
                    modeShd=modeShd,
                    struct=struct,
                    distances=Red,
                    res=res
                    )
    result
}
```

Extracto de código A.7: *optimShd*

A.1.8. meteoReaders

```
utils::globalVariables(c('.', 'Dates', 'Bo0d', 'Bo0m', 'G0d',
                         'Bo0', 'Ta', '..cols', 'est_SIAR',
                         'Fecha_Instalacion', 'Fecha_Baja',
                         'Latitud', 'Longitud', 'peso', 'Estacion',
                         'Codigo', 'req_url_query', 'req_url_path',
                         'request', 'req_perform', 'resp_body_json',
                         'HoraMin', 'Fecha', 'Radiacion', 'TempMin',
                         'TempMax', 'TempMedia', 'Year', 'Mes', 'index'))

#### monthly means of irradiation ####
readG0dm <- function(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 = '')
{
    if(missing(lat)){lat <- 0}
    Dates <- as.IDate(paste(year[1], 1:12, promDays, sep = '-'), tz = 'UTC')
    if (length(year)>1){
        for (i in year[-1]){
            x <- as.IDate(paste(i, 1:12, promDays, sep = '-'), tz = 'UTC')
            Dates <- c(Dates, x)
        }
    }
    G0dm.dt <- data.table(Dates = Dates,
                          G0d = G0dm,
                          Ta = Ta)
    setkey(G0dm.dt, 'Dates')
    results <- new(Class = 'Meteo',
                   latm = lat,
                   data = G0dm.dt,
                   type = 'prom',
                   source = source)
}

#### file to Meteo (daily) ####
readBDd <- function(file, lat,
                    format = "%d/%m/%Y",header = TRUE,
                    fill = TRUE, dec = '.', sep = ';',
                    dates.col = 'Dates', ta.col = 'Ta',
                    g0.col = 'G0', keep.cols = FALSE, ...)
{
    #stops if the arguments are not characters or numerics
    stopifnot(is.character(dates.col) || is.numeric(dates.col))
    stopifnot(is.character(ta.col) || is.numeric(ta.col))
    stopifnot(is.character(g0.col) || is.numeric(g0.col))
```

```
46
47      #read from file and set it in a data.table
48      bd <- fread(file, header = header, fill = fill, dec = dec, sep = sep, ...)
49
50      if(dates.col == ''){
51          names(bd)[1] <- 'Dates'
52          dates.col <- 'Dates'
53      }
54
55      #check the columns
56      if(!(dates.col %in% names(bd))) stop(paste('The column', dates.col, 'is not
         in the file'))
57      if(!(g0.col %in% names(bd))) stop(paste('The column', g0.col, 'is not in
        the file'))
58      if(!(ta.col %in% names(bd))) stop(paste('The column', ta.col, 'is not in
        the file'))
59
60      #name the dates column by Dates
61      Dates <- bd[[dates.col]]
62      bd[,(dates.col) := NULL]
63      bd[, Dates := as.IDate(Dates, format = format)]
64
65      #name the g0 column by G0
66      G0 <- bd[[g0.col]]
67      bd[, (g0.col) := NULL]
68      bd[, G0 := as.numeric(G0)]
69
70      #name the ta column by Ta
71      Ta <- bd[[ta.col]]
72      bd[, (ta.col) := NULL]
73      bd[, Ta := as.numeric(Ta)]
74
75      names0 <- NULL
76      if(all(c('D0', 'B0') %in% names(bd))){
77          names0 <- c(names0, 'D0', 'B0')
78      }
79
80      names0 <- c(names0, 'Ta')
81
82      if(all(c('TempMin', 'TempMax') %in% names(bd))){
83          names0 <- c(names0, 'TempMin', 'TempMax')
84      }
85      if(keep.cols)
86      {
87          #keep the rest of the columns but reorder the columns
88          setcolorder(bd, c('Dates', 'G0', names0))
89      }
90      else
91      {
92          #erase the rest of the columns
93          cols <- c('Dates', 'G0', names0)
94          bd <- bd[, ..cols]
95      }
96
97      setkey(bd, 'Dates')
98      result <- new(Class = 'Meteo',
99                    latm = lat,
100                   data = bd,
```

```
                    type = 'bd',
                    source = file)
}

#### file to Meteo (intradaily) ####
readBDi <- function(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, ...)
{
    #stops if the arguments are not characters or numerics
    stopifnot(is.character(dates.col) || is.numeric(dates.col))
    stopifnot(is.character(ta.col) || is.numeric(ta.col))
    stopifnot(is.character(g0.col) || is.numeric(g0.col))

    #read from file and set it in a data.table
    bd <- fread(file, header = header, fill = fill, dec = dec, sep = sep, ...)

    if(dates.col == ''){
        names(bd)[1] <- 'Dates'
        dates.col <- 'Dates'
    }

    #check the columns
    if(!(dates.col %in% names(bd))) stop(paste('The column', dates.col, 'is not
     in the file'))
    if(!(g0.col %in% names(bd))) stop(paste('The column', g0.col, 'is not in
    the file'))
    if(!(ta.col %in% names(bd))) stop(paste('The column', ta.col, 'is not in
    the file'))

    if(!missing(times.col)){
        stopifnot(is.character(times.col) || is.numeric(times.col))
        if(!(times.col %in% names(bd))) stop(paste('The column', times.col, 'is
     not in the file'))

        #name the dates column by Dates
        format <- strsplit(format, ' ')
        dd <- as.IDate(bd[[dates.col]], format = format[[1]][1])
        tt <- as.ITime(bd[[times.col]], format = format[[1]][2])
        bd[,(dates.col) := NULL]
        bd[,(times.col) := NULL]
        bd[, Dates := as.POSIXct(dd, tt, tz = 'UTC')]
    }

    else
    {
        dd <- as.POSIXct(bd[[dates.col]], format = format, tz = 'UTC')
        bd[, (dates.col) := NULL]
        bd[, Dates := dd]
    }

    #name the g0 column by G0
    G0 <- bd[[g0.col]]
    bd[, (g0.col) := NULL]
    bd[, G0 := as.numeric(G0)]

```

```
155     #name the ta column by Ta
156     Ta <- bd[[ta.col]]
157     bd[, (ta.col) := NULL]
158     bd[, Ta := as.numeric(Ta)]
159 
160     names0 <- NULL
161     if(all(c('D0', 'B0') %in% names(bd))){
162         names0 <- c(names0, 'D0', 'B0')
163     }
164 
165     names0 <- c(names0, 'Ta')
166 
167     if(keep.cols)
168     {
169         #keep the rest of the columns but reorder the columns
170         setcolorder(bd, c('Dates', 'G0', names0))
171     }
172     else
173     {
174         #erase the rest of the columns
175         cols <- c('Dates', 'G0', names0)
176         bd <- bd[, ..cols]
177     }
178 
179     setkey(bd, 'Dates')
180     result <- new(Class = 'Meteo',
181                   latm = lat,
182                   data = bd,
183                   type = 'bdI',
184                   source = file)
185 }
186 
187 
188 dt2Meteo <- function(file, lat, source = '', type){
189     if(missing(lat)) stop('lat is missing')
190 
191     if(source == '') source <- class(file)[1]
192 
193     ## Make sure its a data.table
194     bd <- data.table(file)
195 
196     ## Dates is an as.POSIX element
197     bd[, Dates := as.POSIXct(Dates, tz = 'UTC')]
198 
199     ## type
200     if(missing(type)){
201         sample <- median(diff(bd$Dates))
202         IsDaily <- as.numeric(sample, units = 'days')
203         if(is.na(IsDaily)) IsDaily <- ifelse('G0d' %in% names(bd),
204                                              1, 0)
205         if(IsDaily >= 30) type <- 'prom'
206         else{
207             type <- ifelse(IsDaily >= 1, 'bd', 'bdI')
208         }
209 
210     }
211     ## Columns of the data.table
212     nms0 <- switch(type,
```

```
                    bd = ,
                    prom = {
                        nms0 <- 'G0d'
                        if(all(c('D0d', 'B0d') %in% names(bd))){
                            nms0 <- c(nms0, 'D0d', 'B0d')
                        }
                        if('Ta' %in% names(bd)) nms0 <- c(nms0, 'Ta')
                        if(all(c('TempMin', 'TempMax') %in% names(bd))){
                            nms0 <- c(nms0, 'TempMin', 'TempMax')
                        }
                        nms0
                    },
                    bdI = {
                        nms0 <- 'G0'
                        if(all(c('D0', 'B0') %in% names(bd))){
                            nms0 <- c(nms0, 'D0', 'B0')
                        }
                        if('Ta' %in% names(bd)) nms0 <- c(nms0, 'Ta')
                        nms0
                    })
    ## Columns order and set key
    setcolorder(bd, c('Dates', nms0))
    setkey(bd, 'Dates')
    ## Result
    result <- new(Class = 'Meteo',
                  latm = lat,
                  data = bd,
                  type = type,
                  source = source)

    if(!('Ta' %in% names(bd))){
        if(all(c('TempMin', 'TempMax') %in% names(bd))){
            sol <- calcSol(lat = lat, BTi = indexD(result))
            bd[, Ta := fTemp(sol, result)$Ta]
        }
        else bd[, Ta := 25]
        result@data <- bd
    }
    return(result)
}

#### Liu and Jordan, Collares-Pereira and Rabl proposals ####
collper <- function(sol, compD)
{
    Dates <- indexI(sol)
    x <- as.Date(Dates)
    ind.rep <- cumsum(c(1, diff(x) != 0))
    solI <- as.data.tableI(sol, complete = T)
    ws <- solI$ws
    w <- solI$w

    a <- 0.409-0.5016*sin(ws+pi/3)
    b <- 0.6609+0.4767*sin(ws+pi/3)

    rd <- solI[, Bo0/Bo0d]
    rg <- rd * (a + b * cos(w))

    # Daily irradiation components
```

```
271     G0d <- compD$G0d[ind.rep]
272     B0d <- compD$B0d[ind.rep]
273     D0d <- compD$D0d[ind.rep]
274 
275     # Daily profile
276     G0 <- G0d * rg
277     D0 <- D0d * rd
278 
279     # This method may produce diffuse irradiance higher than
280     # global irradiance
281     G0 <- pmax(G0, D0, na.rm = TRUE)
282     B0 <- G0 - D0
283 
284     # Negative values are set to NA
285     neg <- (B0 < 0) | (D0 < 0) | (G0 < 0)
286     is.na(G0) <- neg
287     is.na(B0) <- neg
288     is.na(D0) <- neg
289 
290     # Daily profiles are scaled to keep daily irradiation values
291     day <- truncDay(indexI(sol))
292     sample <- sol@sample
293 
294     G0dCP <- ave(G0, day, FUN=function(x) P2E(x, sample))
295     B0dCP <- ave(B0, day, FUN=function(x) P2E(x, sample))
296     D0dCP <- ave(D0, day, FUN=function(x) P2E(x, sample))
297 
298     G0 <- G0 * G0d/G0dCP
299     B0 <- B0 * B0d/B0dCP
300     D0 <- D0 * D0d/D0dCP
301 
302     res <- data.table(G0, B0, D0)
303     return(res)
304 }
305 
306 
307 #### intradaily Meteo to daily Meteo ####
308 Meteoi2Meteod <- function(G0i)
309 {
310     lat <- G0i@latm
311     source <- G0i@source
312 
313     dt0 <- getData(G0i)
314     dt <- dt0[, lapply(.SD, sum, na.rm = TRUE),
315               .SDcols = 'G0',
316              by = .(Dates = as.IDate(Dates))]
317     if('Ta' %in% names(dt0)){
318         Ta <- dt0[, .(Ta = mean(Ta),
319                       TempMin = min(Ta),
320                       TempMax = max(Ta)),
321                   by = .(Dates = as.IDate(Dates))]
322         if(all(Ta$Ta == c(Ta$TempMin, Ta$TempMax))) Ta[, c('TempMin', 'TempMax')
     := NULL]
323         dt <- merge(dt, Ta)
324     }
325     if('G0' %in% names(dt)){
326         names(dt)[names(dt) == 'G0'] <- 'G0d'
327     }
```

```
328     if('D0' %in% names(dt)){
329         names(dt)[names(dt) == 'D0'] <- 'D0d'
330     }
331     if('B0' %in% names(dt)){
332         names(dt)[names(dt) == 'B0'] <- 'B0d'
333     }
334     G0d <- dt2Meteo(dt, lat, source, type = 'bd')
335     return(G0d)
336 }
337 
338 #### daily Meteo to monthly Meteo ####
339 Meteod2Meteom <- function(G0d)
340 {
341     lat <- G0d@latm
342     source <- G0d@source
343 
344     dt <- getData(G0d)
345     nms <- names(dt)[-1]
346     dt <- dt[, lapply(.SD, mean),
347              .SDcols = nms,
348              by = .(month(Dates), year(Dates))]
349     dt[, Dates := fBTd()]
350     dt <- dt[, c('month', 'year') := NULL]
351 
352     setcolorder(dt, 'Dates')
353 
354     G0m <- dt2Meteo(dt, lat, source, type = 'prom')
355     return(G0m)
356 }
357 
358 zoo2Meteo <- function(file, lat, source = '')
359 {
360     if(source == ''){
361         name <- deparse(substitute(file))
362         cl <- class(file)
363         source <- paste(cl, name, sep = '-')
364     }
365     bd <- data.table(file)
366     sample <- median(diff(index(file)))
367     IsDaily <- as.numeric(sample, units = 'days')>=1
368     type <- ifelse(IsDaily, 'bd', 'bdI')
369     result <- new(Class = 'Meteo',
370                   latm = lat,
371                   data = bd,
372                   type = type,
373                   source = source)
374 }
375 
376 siarGET <- function(id, inicio, final, tipo = 'Mensuales', ambito = 'Estacion'){
377     if(!(tipo %in% c('Horarios', 'Diarios', 'Semanales', 'Mensuales'))){
378         stop('argument \'tipo\' must be: Horarios, Diarios, Semanales or
    Mensuales')
379     }
380     if(!(ambito %in% c('CCAA', 'Provincia', 'Estacion'))){
381         stop('argument \'ambito\' must be: CCAA, Provincia or Estacion')
382     }
383 
384     mainURL <- "https://servicio.mapama.gob.es"
```

```
385
386     path <- paste('/apisiar/API/v1/Datos', tipo, ambito, sep = '/')
387
388     ## prepare the APIsiar
389     req <- request(mainURL) |>
390         req_url_path(path) |>
391         req_url_query(Id = id,
392                       FechaInicial = inicio,
393                       FechaFinal = final,
394                       ClaveAPI = '_Q8L_niYFBBmBs-
    vB3UomUqdUYy98FTRX1aYbrZ8n2FXuHYGTV')
395     ## execute it
396     resp <- req_perform(req)
397
398     ##JSON to R
399     respJSON <- resp_body_json(resp, simplifyVector = TRUE)
400
401     if(!is.null(respJSON$MensajeRespuesta)){
402         stop(respJSON$MensajeRespuesta)
403     }
404
405     res0 <- data.table(respJSON$Datos)
406
407     res <- switch(tipo,
408                   Horarios = {
409                       res0[, HoraMin := as.ITime(sprintf('%04d', HoraMin),
410                                                  format = '%H%M')]
411                       res0[, Fecha := as.IDate(Fecha, format = '%Y-%m-%d')]
412                       res0[, Fecha := as.IDate(ifelse(HoraMin == as.ITime(0),
413                                                       Fecha+1, Fecha))]
414                       res0[, Dates := as.POSIXct(HoraMin, Fecha,
415                                                  tz = 'Europe/Madrid')]
416                       res0 <- res0[, .(Dates,
417                                        G0 = Radiacion,
418                                        Ta = TempMedia)]
419                       return(res0)
420                   },
421                   Diarios = {
422                       res0[, Dates := as.IDate(Fecha)]
423                       res0 <- res0[, .(Dates,
424                                        G0d = Radiacion * 277.78,
425                                        Ta = TempMedia,
426                                        TempMin,
427                                        TempMax)]
428                       return(res0)
429                   },
430                   Semanales = res0,
431                   Mensuales = {
432                       promDays<-c(17,14,15,15,15,10,18,18,18,19,18,13)
433                       names(res0)[1] <- 'Year'
434                       res0[, Dates := as.IDate(paste(Year, Mes,
435                                                      promDays[Mes],
436                                                      sep = '-'))]
437                       res0 <- res0[, .(Dates,
438                                        G0d = Radiacion * 277.78,
439                                        Ta = TempMedia,
440                                        TempMin,
441                                        TempMax)]
```

```
                  })

    return(res)
}

haversine <- function(lat1, lon1, lat2, lon2) {
    R <- 6371  # Radius of the Earth in kilometers
    dLat <- (lat2 - lat1) * pi / 180
    dLon <- (lon2 - lon1) * pi / 180
    a <- sin(dLat / 2) * sin(dLat / 2) + cos(lat1 * pi / 180) *
        cos(lat2 * pi / 180) * sin(dLon / 2) * sin(dLon / 2)
    c <- 2 * atan2(sqrt(a), sqrt(1 - a))
    d <- R * c
    return(d)
}

readSIAR <- function(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){
    inicio <- as.Date(inicio)
    final <- as.Date(final)

    n_reg <- switch(tipo,
                    Horarios = {
                        tt <- difftime(final, inicio, units = 'days')
                        tt <- (as.numeric(tt)+1)*48
                        tt <- tt*n_est
                        tt
                    },
                    Diarios = {
                        tt <- difftime(final, inicio, units = 'days')
                        tt <- as.numeric(tt)+1
                        tt <- tt*n_est
                        tt
                    },
                    Semanales = {
                        tt <- difftime(final, inicio, units = 'weeks')
                        tt <- as.numeric(tt)
                        tt <- tt*n_est
                        tt
                    },
                    Mensuales = {
                        tt <- difftime(final, inicio, units = 'weeks')
                        tt <- as.numeric(tt)/4.34524
                        tt <- ceiling(tt)
                        tt <- tt*n_est
                        tt
                    })
    if(n_reg > 100) stop(paste('Number of requested records (', n_reg,
                               ') exceeds the maximum allowed (100)', sep = '')
    )
    ## Obtain the nearest stations
    siar <- est_SIAR[
        Fecha_Instalacion <= final & (is.na(Fecha_Baja) | Fecha_Baja >= inicio)
    ]

    ## Weigths for the interpolation
```

```
    siar[, dist := haversine(Latitud, Longitud, Lat, Lon)]
    siar <- siar[order(dist)][1:n_est]
    siar[, peso := 1/dist]
    siar[, peso := peso/sum(peso)]
    ## Is the given location within the polygon formed by the stations?
    siar <- siar[, .(Estacion, Codigo, dist, peso)]

    ## List for the data.tables of siarGET
    siar_list <- list()
    for(codigo in siar$Codigo){
        siar_list[[codigo]] <- siarGET(id = codigo,
                                       inicio = as.character(inicio),
                                       final = as.character(final),
                                       tipo = tipo)
        siar_list[[codigo]]$peso <- siar[Codigo == codigo, peso]
    }

    ## Bind the data.tables
    s_comb <- rbindlist(siar_list, use.names = TRUE, fill = TRUE)

    nms <- names(s_comb)
    nms <- nms[-c(1, length(nms))]

    ## Interpole
    res <- s_comb[, lapply(.SD * peso, sum, na.rm = TRUE),
                  .SDcols = nms,
                  by = Dates]

    ## Source
    mainURL <- "https://servicio.mapama.gob.es"
    Estaciones <- siar[, paste(Estacion, '(', Codigo, ')', sep = '')]
    Estaciones <- paste(Estaciones, collapse = ', ')
    source <- paste(mainURL, '\n  -Estaciones:', Estaciones, sep = ' ')

    res <- switch(tipo,
                  Horarios = {dt2Meteo(res, lat = Lat, source = mainURL, type =
    'bdI')},
                  Diarios = {dt2Meteo(res, lat = Lat, source = mainURL, type = '
    bd')},
                  Semanales = {res},
                  Mensuales = {dt2Meteo(res, lat = Lat, source = source, type =
    'prom')})
    return(res)
}
```

Extracto de código A.8: *meteoReaders*

A.2. Clases

A.2.1. Sol

```
setClass(
         Class='Sol', ##Solar angles
         slots = c(
             lat='numeric',#latitud in degrees, >0 if North
             solD='data.table',#daily angles
             solI='data.table',#intradaily angles
             sample='character',#sample of time
```

```
            method='character'#method used for geometry calculations
        ),
    validity=function(object) {return(TRUE)}
)
```

Extracto de código A.9: *Clase* **Sol**

A.2.2. Meteo

```
setClass(
    Class = 'Meteo', ##radiation and temperature data
    slots = c(
        latm='numeric',#latitud in degrees, >0 if North
        data='data.table',#data, incluying G (Wh/m2) and Ta (ºC)
        type='character',#choose between 'prom', 'bd' and 'bdI'
        source='character'#origin of the data
    ),
    validity=function(object) {return(TRUE)}
)
```

Extracto de código A.10: *Clase* **Meteo**

A.2.3. G0

```
setClass(
    Class = 'G0',
    slots = c(
        G0D = 'data.table',  #result of fCompD
        G0dm = 'data.table', #monthly means
        G0y = 'data.table',  #yearly values
        G0I = 'data.table',  #result of fCompI
        Ta = 'data.table'    #Ambient temperature
    ),
    contains = c('Sol', 'Meteo'),
    validity = function(object) {return(TRUE)}
)

```

Extracto de código A.11: *Clase* **G0**

A.2.4. Gef

```
setClass(
         Class='Gef',
         slots = c(
           GefD='data.table',  #daily values
           Gefdm='data.table', #monthly means
           Gefy='data.table',  #yearly values
           GefI='data.table',  #result of fInclin
           Theta='data.table', #result of fTheta
           iS='numeric',       #dirt index
           alb='numeric',      #albedo
           modeTrk='character',   #tracking mode
           modeShd='character',   #shadow mode
           angGen='list',         #includes alpha, beta and betaLim
           struct='list',         #structure dimensions
           distances='data.frame' #distances between structures
           ),
```

```
         contains='G0',
         validity=function(object) {return(TRUE)}
)
```

Extracto de código A.12: *Clase* **Gef**

A.2.5. ProdGCPV

```
setClass(
         Class='ProdGCPV',
         slots = c(
           prodD='data.table',  #daily values
           prodDm='data.table', #monthly means
           prody='data.table',  #yearly values
           prodI='data.table',  #results of fProd
           module='list',       #module characteristics
           generator='list',    #generator characteristics
           inverter='list',     #inverter characteristics
           effSys='list'        #efficiency values of the system
           ),
         contains='Gef',
         validity=function(object) {return(TRUE)}
)
```

Extracto de código A.13: *Clase* **ProdGCPV**

A.2.6. ProdPVPS

```
setClass(
         Class='ProdPVPS',
         slots = c(
           prodD='data.table',  #daily values
           prodDm='data.table', #monthly means
           prody='data.table',  #yearly values
           prodI='data.table',  #results of fPump
           Pg='numeric',        #generator power
           H='numeric',         #manometric head
           pump='list',         #parameters of the pump
           converter='list',    #inverter characteristics
           effSys='list'        #efficiency values of the system
           ),
         contains='Gef',
         validity=function(object) {return(TRUE)}
)
```

Extracto de código A.14: *Clase* **ProdPVPS**

A.2.7. Shade

```
setClass(
         Class='Shade',
         slots = c(
           FS='numeric',  #shadows factor values
           GRR='numeric', #Ground Requirement Ratio
           Yf='numeric',  #final productivity
           FS.loess='loess', #local fitting of FS with loess
           Yf.loess='loess', #local fitting of Yf with loess
           modeShd='character', #mode of shadow
```

```
            struct='list',       #dimensions of the structures
            distances='data.frame', #distances between structures
            res='numeric'           #difference between the different steps of
    the calculations
            ),
          contains='ProdGCPV',##Resultado de prodGCPV sin sombras (Prod0)
          validity=function(object) {return(TRUE)}
)
```

Extracto de código A.15: *Clase* **Shade**

A.3. Funciones

A.3.1. corrFdKt

```
utils::globalVariables(c('G0', 'lag1', 'lag2'))

#### monthly Kt ####
Ktm <- function(sol, G0dm){
    solf <- sol@solD[, .(Dates, Bo0d)]
    solf[, c('month', 'year') := .(month(Dates), year(Dates))]
    solf[,Bo0m := mean(Bo0d), by = .(month, year)]
    G0df <- G0dm@data[, .(Dates, G0d)]
    G0df[, c('month', 'year') := .(month(Dates), year(Dates))]
    G0df[, G0d := mean(G0d), by = .(month, year)]
    Ktm <- G0df$G0d/solf$Bo0m
    return(Ktm)
}

#### daily Kt ####
Ktd <- function(sol, G0d){
    Bo0d <- sol@solD$Bo0d
    G0d <- getG0(G0d)
    Ktd <- G0d/Bo0d
    return(Ktd)
}

### intradaily
Kti <- function(sol, G0i){
    Bo0 <- sol@solI$Bo0
    G0i <- getG0(G0i)
    Kti <- G0i/Bo0
    return(Kti)
}


#### monthly correlations ####

### Page ###
FdKtPage <- function(sol, G0dm){
    Kt <- Ktm(sol, G0dm)
    Fd=1-1.13*Kt
    return(data.table(Fd, Kt))
}

### Liu and Jordan ###
FdKtLJ <- function(sol, G0dm){
    Kt <- Ktm(sol, G0dm)
```

```
    Fd=(Kt<0.3)*0.595774 +
        (Kt>=0.3 & Kt<=0.7)*(1.39-4.027*Kt+5.531*Kt^2-3.108*Kt^3)+
        (Kt>0.7)*0.215246
    return(data.table(Fd, Kt))
}


#### daily correlations ####

### Collares-Pereira and Rabl
FdKtCPR <- function(sol, G0d){
    Kt <- Ktd(sol, G0d)
    Fd=(0.99*(Kt<=0.17))+(Kt>0.17 & Kt<0.8)*
        (1.188-2.272*Kt+9.473*Kt^2-21.856*Kt^3+14.648*Kt^4)+
        (Kt>=0.8)*0.2426688
    return(data.table(Fd, Kt))
}

### Erbs, Klein and Duffie ###
FdKtEKDd <- function(sol, G0d){
    ws <- sol@solD$ws
    Kt <- Ktd(sol, G0d)

    WS1=(abs(ws)<1.4208)
    Fd=WS1*((Kt<0.715)*(1-0.2727*Kt+2.4495*Kt^2-11.9514*Kt^3+9.3879*Kt^4)+
            (Kt>=0.715)*(0.143))+
        !WS1*((Kt<0.722)*(1+0.2832*Kt-2.5557*Kt^2+0.8448*Kt^3)+
              (Kt>=0.722)*(0.175))
  return(data.table(Fd, Kt))
}

### CLIMED1 ###
FdKtCLIMEDd <- function(sol, G0d){
    Kt <- Ktd(sol, G0d)
    Fd=(Kt<=0.13)*(0.952)+
    (Kt>0.13 & Kt<=0.8)*(0.868+1.335*Kt-5.782*Kt^2+3.721*Kt^3)+
      (Kt>0.8)*0.141
  return(data.table(Fd, Kt))
}

#### intradaily correlations ####

### intradaily EKD ###
FdKtEKDh <- function(sol, G0i){
    Kt <- Kti(sol, G0i)
    Fd=(Kt<=0.22)*(1-0.09*Kt)+
    (Kt>0.22 & Kt<=0.8)*(0.9511-0.1604*Kt+4.388*Kt^2-16.638*Kt^3+12.336*Kt^4)+
      (Kt>0.8)*0.165
  return(data.table(Fd, Kt))
}

### intradaily CLIMED
FdKtCLIMEDh <- function(sol, G0i){
    Kt <- Kti(sol, G0i)
    Fd=(Kt<=0.21)*(0.995-0.081*Kt)+
        (Kt>0.21 & Kt<=0.76)*(0.724+2.738*Kt-8.32*Kt^2+4.967*Kt^3)+
        (Kt>0.76)*0.180
    return(data.table(Fd, Kt))
```

```
}

### intradaily Boland, Ridley and Lauret ###
FdKtBRL <- function(sol, G0i){
    Kt <- Kti(sol, G0i)
    sample <- sol@sample
    ind <- indexI(sol)

    solI <- as.data.tableI(sol, complete = TRUE)
    w <- solI$w
    night <- solI$night
    AlS <- solI$AlS
    Bo0 <- solI$Bo0

    G0d <- data.table(ind,
                      G0 = getG0(G0i),
                      Bo0 = Bo0)
    G0d[, G0d := P2E(G0, sample), by = truncDay(ind)]
    G0d[, Bo0d := P2E(Bo0, sample), by = truncDay(ind)]
    ktd <- G0d[, ifelse(night, 0, G0d/Bo0d)]

    ##persistence
    pers <- persistence(sol, Kt)


    ##fd calculation
    Fd=(1+exp(-5.38+6.63*Kt+0.006*r2h(w)-0.007*r2d(AlS)+1.75*ktd+1.31*pers))
    ^(-1)

    return(data.table(Fd, Kt))
}

persistence <- function(sol, kt){
    kt <- data.table(ind = indexI(sol), kt)
    ktNA <- na.omit(copy(kt))
    iDay <- truncDay(ktNA[[1]])

    x <- rle(as.numeric(iDay))$lengths
    xLast <- cumsum(x)
    xFirst <- xLast-x+1

    ktNA[, lag1 := shift(kt, n = -1, type = 'lag', fill = NA)]
    ktNA[xLast, lag1 := ktNA[xLast-1, kt]]

    ktNA[, lag2 := shift(kt, n = 1, type = 'lag', fill = NA)]
    ktNA[xFirst, lag2 := ktNA[xFirst + 1, kt]]

    pers <- merge(kt, ktNA, by = 'ind', all = TRUE)
    return(pers[, 1/2*(lag1+lag2)])
}
```

Extracto de código A.16: *corrFdKt*

A.3.2. fBTd

```
fBTd<-function(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'){
    promDays<-c(17,14,15,15,15,10,18,18,18,19,18,13)
    BTd=switch(mode,
                serie={
                    start.<-as.POSIXct(start, format=format, tz='UTC')
                    end.<-as.POSIXct(end, format=format, tz='UTC')
                    res<-seq(start., end., by="1 day")
                },
                prom=as.POSIXct(paste(year, 1:12, promDays, sep='-'), tz='UTC')
                )
    BTd
}
```

Extracto de código A.17: *fBTd*

A.3.3. fBTi

```
intervalo <- function(day, sample){
    intervalo <- seq.POSIXt(from = as.POSIXct(paste(day, '00:00:00'), tz = 'UTC'
    ),
                        to = as.POSIXct(paste(day, '23:59:59'), tz = 'UTC'),
                        by = sample)
    return(intervalo)
}

fBTi <- function(BTd, sample = 'hour'){
    BTi <- lapply(BTd, intervalo, sample)
    BTi <- do.call(c, BTi)
    return(BTi)
}
```

Extracto de código A.18: *fBTi*

A.3.4. fCompD

```
utils::globalVariables('lat')

fCompD <- function(sol, GOd, corr = 'CPR', f)
{
    if(!(corr %in% c('CPR', 'Page', 'LJ', 'EKDd', 'CLIMEDd', 'user', 'none'))){
        warning('Wrong descriptor of correlation Fd-Ktd. Set CPR.')
        corr <- 'CPR'
    }
    if(class(sol)[1] != 'Sol'){
        sol <- sol[, calcSol(lat = unique(lat), BTi = Dates)]
    }
    if(class(GOd)[1] != 'Meteo'){
        dt <- copy(data.table(GOd))
        if(!('Dates' %in% names(dt))){
            dt[, Dates := indexD(sol)]
            setcolorder(dt, 'Dates')
            setkey(dt, 'Dates')
        }
        if('lat' %in% names(dt)){
            latg <- unique(dt$lat)
            dt[, lat := NULL]
        }else{latg <- getLat(sol)}
```

```
        G0d <- dt2Meteo(dt, latg)
    }

    stopifnot(indexD(sol) == indexD(G0d))
    Bo0d <- sol@solD$Bo0d
    G0 <- getData(G0d)$G0

    is.na(G0) <- (G0>Bo0d)

    ### the Direct and Difuse data is not given
    if(corr != 'none'){
        Fd <- switch(corr,
                     CPR = FdKtCPR(sol, G0d),
                     Page = FdKtPage(sol, G0d),
                     LJ = FdKtLJ(sol, G0d),
                     EKDd = FdKtEKDd(sol, G0d),
                     CLIMEDd = FdKtCLIMEDd(sol, G0d),
                     user = f(sol, G0d))
        Kt <- Fd$Kt
        Fd <- Fd$Fd
        D0d <- Fd * G0
        B0d <- G0 - D0d
    }
    ### the Direct and Difuse data is given
    else {
        G0 <- getData(G0d)$G0d
        D0d <- getData(G0d)[['D0d']]
        B0d <- getData(G0d)[['B0d']]
        Fd <- D0d/G0
        Kt <- G0/Bo0d
    }

    result <- data.table(Dates = indexD(sol), Fd, Kt, G0d = G0, D0d, B0d)
    setkey(result, 'Dates')
    result
}
```

Extracto de código A.19: *fCompD*

A.3.5. fCompI

```
fCompI <- function(sol, compD, G0I,
                   corr = 'none', f,
                   filterG0 = TRUE){
    if(!(corr %in% c('EKDh', 'CLIMEDh', 'BRL', 'user', 'none'))){
        warning('Wrong descriptor of correlation Fd-Ktd. Set EKDh.')
        corr <- 'EKDh'
    }

    if(class(sol)[1] != 'Sol'){
        sol <- sol[, calcSol(lat = unique(lat), BTi = Dates)]
    }

    lat <- sol@lat
    sample <- sol@sample
    night <- sol@solI$night
    Bo0 <- sol@solI$Bo0
    Dates <- indexI(sol)
```

```
18
19      ## If instantaneous values are not provided, compD is used instead.
20      if (missing(G0I)) {
21
22          G0I <- collper(sol, compD)
23          G0 <- G0I$G0
24          B0 <- G0I$B0
25          D0 <- G0I$D0
26
27          Fd <- D0/G0
28          Kt <- G0/Bo0
29
30      } else { ## Use instantaneous values if provided through G0I
31
32          if(class(G0I)[1] != 'Meteo'){
33              dt <- copy(data.table(G0I))
34              if(!('Dates' %in% names(dt))){
35                  if(length(dt) == 1) names(dt) <- 'G0'
36                  dt[, Dates := indexI(sol)]
37                  setcolorder(dt, 'Dates')
38                  setkey(dt, 'Dates')
39              }
40              if('lat' %in% names(G0I)){latg <- unique(G0I$lat)}
41              else{latg <- lat}
42              G0I <- dt2Meteo(dt, latg)
43          }
44
45          if (corr!='none'){
46              ## Filter values: surface irradiation must be lower than
47              ## extraterrestial;
48              if (filterG0) {
49                  G0 <- getG0(G0I)
50                  is.na(G0) <- (G0 > Bo0)
51                  G0I <- dt2Meteo(data.table(Dates = indexD(G0I),
52                                             G0 = G0),
53                                  lat = G0I@latm,
54                                  source = G0I@source,
55                                  type = G0I@type)
56              }
57
58              ## Fd-Kt correlation
59              Fd <- switch(corr,
60                           EKDh = FdKtEKDh(sol, G0I),
61                           CLIMEDh = FdKtCLIMEDh(sol, G0I),
62                           BRL = FdKtBRL(sol, G0I),
63                           user = f(sol, G0I))
64
65              Kt <- Fd$Kt
66              Fd <- Fd$Fd
67              D0 <- Fd * G0
68              B0 <- G0 - D0
69
70          } else {
71              G0 <- getG0(G0I)
72              D0 <- getData(G0I)[['D0']]
73              B0 <- getData(G0I)[['B0']]
74              ## Filter values: surface irradiation must be lower than
75              ## extraterrestial;
```

```
            if (isTRUE(filterG0)) is.na(G0) <- is.na(D0) <- is.na(B0) <- (G0 >
    Bo0)

            Fd <- D0/G0
            Kt <- G0/Bo0
        }
    }
    ## Values outside sunrise-sunset are set to zero
    G0[night] <- D0[night] <- B0[night] <- Kt[night] <- Fd[night] <- 0

    result <- data.table(Dates, Fd, Kt, G0, D0, B0)
    setkey(result, 'Dates')
    result
}
```

Extracto de código A.20: *fCompI*

A.3.6. fInclin

```
fInclin <- function(compI, angGen, iS = 2, alb = 0.2, horizBright = TRUE, HCPV =
    FALSE){
    ##compI es class='G0'

    ##Arguments
    stopifnot(iS %in% 1:4)
    Beta <- angGen$Beta
    Alpha <- angGen$Alpha
    cosTheta <- angGen$cosTheta

    comp <- as.data.tableI(compI, complete=TRUE)
    night <- comp$night
    B0 <- comp$B0
    Bo0 <- comp$Bo0
    D0 <- comp$D0
    G0 <- comp$G0
    cosThzS <- comp$cosThzS
    is.na(cosThzS) <- night

    ##N.Martin method for dirt and non-perpendicular incidence
    Suc <- rbind(c(1, 0.17, -0.069),
                 c(0.98,.2,-0.054),
                 c(0.97,0.21,-0.049),
                 c(0.92,0.27,-0.023))
    FTb <- (exp(-cosTheta/Suc[iS,2]) - exp(-1/Suc[iS,2]))/(1 - exp(-1/Suc[iS,2])
    )
    FTd <- exp(-1/Suc[iS,2] * (4/(3*pi) * (sin(Beta) + (pi - Beta - sin(Beta))/
    (1 + cos(Beta))) +
                               Suc[iS,3] * (sin(Beta) + (pi - Beta - sin(Beta))/
    (1 + cos(Beta)))^2))
    FTr <- exp(-1/Suc[iS,2] * (4/(3*pi) * (sin(Beta) + (Beta - sin(Beta))/(1 -
    cos(Beta))) +
                               Suc[iS,3] * (sin(Beta) + (Beta - sin(Beta))/(1 -
    cos(Beta)))^2))

    ##Hay and Davies method for diffuse treatment
    B <- B0 * cosTheta/cosThzS * (cosThzS>0.007) #The factor cosThzS>0.007 is
    needed to eliminate erroneous results near dawn
    k1 <- B0/(Bo0)
```

```
    Di <- D0 * (1-k1) * (1+cos(Beta))/2
    if (horizBright) Di <- Di * (1+sqrt(B0/G0) * sin(Beta/2)^3)
    Dc <- D0 * k1 * cosTheta/cosThzS * (cosThzS>0.007)
    R <- alb * G0 * (1-cos(Beta))/2
    D <- (Di + Dc)
    ##Extraterrestrial irradiance on the inclined plane
    Bo <- Bo0 * cosTheta/cosThzS * (cosThzS>0.007)
    ##Normal direct irradiance (DNI)
    Bn <- B0/cosThzS
    ##Sum of components
    G <- B + D + R
    Ref <- R * Suc[iS,1] * (1-FTr) * (!HCPV)
    Ref[is.nan(FTr)] <- 0 #When cos(Beta)=1, FTr=NaN. Cancel Ref.
    Dief <- Di * Suc[iS,1] * (1 - FTd) * (!HCPV)
    Dcef <- Dc * Suc[iS,1] * (1 - FTb) * (!HCPV)
    Def <- Dief + Dcef
    Bef <- B * Suc[iS,1] * (1 - FTb)
    Gef <- Bef + Def + Ref

    result <- data.table(Bo, Bn,
                         G, D, Di, Dc, B, R,
                         FTb, FTd, FTr,
                         Dief, Dcef, Gef, Def, Bef, Ref)

    ## Use 0 instead of NA for irradiance values
    result[night] <- 0
    result[, Dates := indexI(compI)]
    result[, .SD, by = Dates]
    setcolorder(result, c('Dates', names(result)[-length(result)]))
    result
}
```

Extracto de código A.21: *fInclin*

A.3.7. fProd

```
## voc, isc, vmpp, impp : *cell* values
## Voc, Isc, Vmpp, Impp: *module/generator* values

## Compute Current - Voltage characteristic of a solar *cell* with Gef
## and Ta
iv <- function(vocn, iscn, vmn, imn,
               TONC, CoefVT = 2.3e-3,
               Ta, Gef,
               vmin = NULL, vmax = NULL)
{
    ##Cell Constants
    Gstc <- 1000
    Ct <- (TONC - 20) / 800
    Vtn <- 0.025 * (273 + 25) / 300
    m <- 1.3

    ##Cell temperature
    Tc <- Ta + Ct * Gef
    Vt <- 0.025 * (Tc + 273)/300

    ## Series resistance
    Rs <- (vocn - vmn + m * Vtn * log(1 - imn/iscn)) / imn
```

```
23
24      ## Voc and Isc at ambient conditions
25      voc <- vocn - CoefVT * (Tc - 25)
26      isc <- iscn * Gef/Gstc
27
28      ## Ruiz method for computing voltage and current characteristic of a *cell*
29      rs <- Rs * isc/voc
30      koc <- voc/(m * Vt)
31
32      ## Maximum Power Point
33      Dm0 <- (koc - 1)/(koc - log(koc))
34      Dm <- Dm0 + 2 * rs * Dm0^2
35
36      impp <- isc * (1 - Dm/koc)
37      vmpp <- voc * (1 - log(koc/Dm)/koc - rs * (1 - Dm/koc))
38
39      vdc <- vmpp
40      idc <- impp
41
42      ## When the MPP is below/above the inverter voltage limits, it
43      ## sets the voltage point at the corresponding limit.
44
45
46      ## Auxiliary functions for computing the current at a defined
47      ## voltage.
48      ilimit <- function(v, koc, rs)
49      {
50          if (is.na(koc))
51              result <- NA
52          else
53          {
54              ## The IV characteristic is an implicit equation. The starting
55              ## point is the voltage of the cell (imposed by the inverter
56              ## limit).
57
58              izero <- function(i , v, koc, rs)
59              {
60                  vp <- v + i * rs
61                  Is <- 1/(1 - exp(-koc * (1 - rs)))
62                  result <- i - (1 - Is * (exp(-koc * (1 - vp)) - exp(-koc * (1 -
    rs))))
63              }
64
65              result <- uniroot(f = izero,
66                                interval = c(0,1),
67                                v = v,
68                                koc = koc,
69                                rs = rs)$root
70          }
71          result
72      }
73      ## Inverter minimum voltage
74      if (!is.null(vmin))
75      {
76          if (any(vmpp < vmin, na.rm = TRUE))
77          {
78              indMIN <- which(vmpp < vmin)
79              imin <- sapply(indMIN, function(i)
```

```
            {
                vocMIN <- voc[i]
                kocMIN <- koc[i]
                rsMIN <- rs[i]
                vmin <- vmin/vocMIN
                ##v debe estar entre 0 y 1
                vmin[vmin < 0] <- 0
                vmin[vmin > 1] <- 1
                ilimit(vmin, kocMIN, rsMIN)
            })
            iscMIN <- isc[indMIN]
            idc[indMIN] <- imin * iscMIN
            vdc[indMIN] <- vmin
            warning('Minimum MPP voltage of the inverter has been reached')}
    }

    if (!is.null(vmax))
    {
        if (any(vmpp > vmax, na.rm = TRUE))
        {
            indMAX <- which(vmpp > vmax)
            imax <- sapply(indMAX, function(i)
            {
                vocMAX <- voc[i]
                kocMAX <- koc[i]
                rsMAX <- rs[i]
                vmax <- vmax / vocMAX
                ##v debe estar entre 0 y 1
                vmax[vmax < 0] <- 0
                vmax[vmax > 1] <- 1
                ilimit(vmax, kocMAX, rsMAX)
            })
            iscMAX <- isc[indMAX]
            idc[indMAX] <- imax * iscMAX
            vdc[indMAX] <- vmax
            warning('Maximum MPP voltage of the inverter has been reached')
        }
    }
    data.table(Ta, Tc, Gef, voc, isc, vmpp, impp, vdc, idc)
}

fProd <- function(inclin,
                  module=list(),
                  generator=list(),
                  inverter=list(),
                  effSys=list()
                  )
{

    stopifnot(is.list(module),
              is.list(generator),
              is.list(inverter),
              is.list(effSys)
              )
    ## Extract data from objects
    if (class(inclin)[1]=='Gef') {
        indInclin <- indexI(inclin)
        gefI <- as.data.tableI(inclin, complete = TRUE)
```

```
138         Gef <- gefI$Gef
139         Ta <- gefI$Ta
140     } else {
141         Gef <- inclin$Gef
142         Ta <- inclin$Ta
143     }
144 
145     ## Module, generator, and inverter parameters
146     module.default <- list(Vocn = 57.6,
147                            Iscn = 4.7,
148                            Vmn = 46.08,
149                            Imn = 4.35,
150                            Ncs = 96,
151                            Ncp = 1,
152                            CoefVT = 0.0023,
153                            TONC = 47)
154     module <- modifyList(module.default, module)
155     ## Make these parameters visible because they will be used often.
156     Ncs <- module$Ncs
157     Ncp <- module$Ncp
158 
159     generator.default <- list(Nms = 12,
160                               Nmp = 11)
161     generator <- modifyList(generator.default, generator)
162     generator$Pg <- (module$Vmn * generator$Nms) *
163         (module$Imn * generator$Nmp)
164     Nms <- generator$Nms
165     Nmp <- generator$Nmp
166 
167     inverter.default <- list(Ki = c(0.01,0.025,0.05),
168                              Pinv = 25000,
169                              Vmin = 420,
170                              Vmax = 750,
171                              Gumb = 20)
172     inverter <- modifyList(inverter.default, inverter)
173     Pinv <- inverter$Pinv
174 
175     effSys.default <- list(ModQual = 3,
176                            ModDisp = 2,
177                            OhmDC = 1.5,
178                            OhmAC = 1.5,
179                            MPP = 1,
180                            TrafoMT = 1,
181                            Disp = 0.5)
182     effSys <- modifyList(effSys.default, effSys)
183 
184     ## Solar Cell i-v
185     vocn <- with(module, Vocn / Ncs)
186     iscn <- with(module, Iscn/ Ncp)
187     vmn <- with(module, Vmn / Ncs)
188     imn <- with(module, Imn / Ncp)
189     vmin <- with(inverter, Vmin / (Ncs * Nms))
190     vmax <- with(inverter, Vmax / (Ncs * Nms))
191 
192     cell <- iv(vocn, iscn,
193                vmn, imn,
194                module$TONC, module$CoefVT,
195                Ta, Gef,
```

```
196                 vmin, vmax)
197
198     ## Generator voltage and current
199     Idc <- Nmp * Ncp * cell$idc
200     Isc <- Nmp * Ncp * cell$isc
201     Impp <- Nmp * Ncp * cell$impp
202     Vdc <- Nms * Ncs * cell$vdc
203     Voc <- Nms * Ncs * cell$voc
204     Vmpp <- Nms * Ncs * cell$vmpp
205
206     ##DC power (normalization with nominal power of inverter)
207     ##including losses
208     PdcN <- with(effSys, (Idc * Vdc) / Pinv *
209                          (1 - ModQual / 100) *
210                          (1 - ModDisp / 100) *
211                          (1 - MPP / 100) *
212                          (1 - OhmDC / 100)
213                  )
214
215     ##Normalized AC power to the inverter
216     Ki <- inverter$Ki
217     if (is.matrix(Ki)) { #Ki is a matrix of nine coefficients-->dependence with
    tension
218         VP <- cbind(Vdc, PdcN)
219         PacN <- apply(VP, 1, solvePac, Ki)
220     } else { #Ki is a vector of three coefficients-->without dependence on
    voltage
221         A <- Ki[3]
222         B <- Ki[2] + 1
223         C <- Ki[1] - (PdcN)
224         PacN <- (-B + sqrt(B^2 - 4 * A * C))/(2 * A)
225     }
226     EffI <- PacN / PdcN
227     pacNeg <- PacN <= 0
228     PacN[pacNeg] <- PdcN[pacNeg] <- EffI[pacNeg] <- 0
229
230
231     ##AC and DC power without normalization
232     Pac <- with(effSys, PacN * Pinv *
233                         (Gef > inverter$Gumb) *
234                         (1 - OhmAC / 100) *
235                         (1 - TrafoMT / 100) *
236                         (1 - Disp / 100))
237     Pdc <- PdcN * Pinv * (Pac > 0)
238
239
240     ## Result
241     resProd <- data.table(Tc = cell$Tc,
242                           Voc, Isc,
243                           Vmpp, Impp,
244                           Vdc, Idc,
245                           Pac, Pdc,
246                           EffI)
247     if (class(inclin)[1] %in% 'Gef'){
248         result <- resProd[, .SD,
249                           by=.(Dates = indInclin)]
250         attr(result, 'generator') <- generator
251         attr(result, 'module') <- module
```

```
        attr(result, 'inverter') <- inverter
        attr(result, 'effSys') <- effSys
        return(result)
    } else {
        result <- cbind(inclin, resProd)
        return(result)
    }
}
```

Extracto de código A.22: *fProd*

A.3.8. fPump

```
fPump <- function(pump, H){

    w1=3000 ##synchronous rpm frequency
    wm=2870 ##rpm frequency with slip when applying voltage at 50 Hz
    s=(w1-wm)/w1
    fen=50 ##Nominal electrical frequency
    fmin=sqrt(H/pump$a)
    fmax=with(pump, (-b*Qmax+sqrt(b^2*Qmax^2-4*a*(c*Qmax^2-H)))/(2*a))
    ##fb is rotation frequency (Hz) of the pump,
    ##fe is the electrical frequency applied to the motor
    ##which makes it rotate at a frequency fb (and therefore also the pump).
    fb=seq(fmin,min(60,fmax),length=1000) #The maximum frequency is 60
    fe=fb/(1-s)

###Flow
    Q=with(pump, (-b*fb-sqrt(b^2*fb^2-4*c*(a*fb^2-H)))/(2*c))
    Qmin=0.1*pump$Qn*fb/50
    Q=Q+(Qmin-Q)*(Q<Qmin)

###Hydraulic power
    Ph=2.725*Q*H

###Mechanical power
    Q50=50*Q/fb
    H50=H*(50/fb)^2
    etab=with(pump, j*Q50^2+k*Q50+l)
    Pb50=2.725*H50*Q50/etab
    Pb=Pb50*(fb/50)^3

###Electrical power
    Pbc=Pb*50/fe
    etam=with(pump, g*(Pbc/Pmn)^2+h*(Pbc/Pmn)+i)
    Pmc=Pbc/etam
    Pm=Pmc*fe/50
    Pac=Pm
    ##Pdc=Pm/(etac*(1-cab))

###I build functions for flow, frequency and powers
###to adjust the AC power.
    fQ<-splinefun(Pac,Q)
    fFreq<-splinefun(Pac,fe)
    fPb<-splinefun(Pac,Pb)
    fPh<-splinefun(Pac,Ph)
    lim=c(min(Pac),max(Pac))
    ##lim marks the operating range of the pump
```

```
    result<-list(lim = lim,
                 fQ = fQ,
                 fPb = fPb,
                 fPh = fPh,
                 fFreq = fFreq)
}
```

Extracto de código A.23: *fPump*

A.3.9. fSolD

```
utils::globalVariables(c('decl', 'eo', 'EoT', 'ws'))

fSolD <- function(lat, BTd, method = 'michalsky'){
    if (abs(lat) > 90){
        lat <- sign(lat) * 90
        warning(paste('Latitude outside acceptable values. Set to', lat))
    }
    sun <- data.table(Dates = unique(as.IDate(BTd)),
                      lat = lat)

    #### solarAngles ####

    ##Declination
    sun[, decl := declination(Dates, method = method)]
    ##Eccentricity
    sun[, eo := eccentricity(Dates, method = method)]
    ##Equation of time
    sun[, EoT := eot(Dates)]
    ##Solar time
    sun[, ws := sunrise(Dates, lat, method = method,
                        decl = decl)]
    ##Extraterrestrial irradiance
    sun[, BoOd := boOd(Dates, lat, method = method,
                       decl = decl,
                       eo = eo,
                       ws = ws
                       )]
    setkey(sun, Dates)
    return(sun)
}
```

Extracto de código A.24: *fSolD*

A.3.10. fSolI

```
utils::globalVariables(c('eqtime', 'w', 'night', 'cosThzS',
                         'AlS', 'AzS', 'Times'))

fSolI <- function(solD, sample = 'hour', BTi,
                  EoT = TRUE, keep.night = TRUE, method = 'michalsky')
{
    #Solar constant
    Bo <- 1367

    if(missing(BTi)){
        BTd <- solD$Dates
        BTi <- fBTi(BTd, sample)
```

```
    }
    sun <- data.table(Dates = as.IDate(BTi),
                      Times = as.ITime(BTi))
    sun <- merge(solD, sun, by = 'Dates')
    sun[, eqtime := EoT]
    sun[, EoT := NULL]

    #sun hour angle
    sun[, w := sunHour(Dates, BTi, EoT = EoT, method = method, eqtime = eqtime)]

    #classify night elements
    sun[, night := abs(w) >= abs(ws)]

    #zenith angle
    sun[, cosThzS := zenith(Dates, lat, BTi,
                            method = method,
                            decl = decl,
                            w = w
                            )]

    #solar altitude angle
    sun[, AlS := asin(cosThzS)]

    #azimuth
    sun[, AzS := azimuth(Dates, lat, BTi, sample,
                         method = method,
                         decl = decl,
                         w = w,
                         cosThzS = cosThzS)]

    #Extraterrestrial irradiance
    sun[, Bo0 := Bo * eo * cosThzS]

    #When it is night there is no irradiance
    sun[night == TRUE, Bo0 := 0]

    #Erase columns that are in solD
    sun[, decl := NULL]
    sun[, eo := NULL]
    sun[, eqtime := NULL]
    sun[, ws := NULL]
    sun[, Bo0d := NULL]

    #Column Dates with Times
    sun[, Dates := as.POSIXct(Dates, Times, tz = 'UTC')]
    sun[, Times := NULL]

    #keep night
    if(!keep.night){
        sun <- sun[night == FALSE]
    }

    return(sun)
}
```

Extracto de código A.25: *fSolI*

A.3.11. fSombra

```r
fSombra<-function(angGen, distances, struct, modeTrk='fixed',prom=TRUE){

    stopifnot(modeTrk %in% c('two','horiz','fixed'))
    res=switch(modeTrk,
               two={fSombra6(angGen, distances, struct, prom)},
               horiz={fSombraHoriz(angGen, distances, struct)},
               fixed= {fSombraEst(angGen, distances, struct)}
               )
    return(res)
}
```

Extracto de código A.26: *fSombra*

```r
fSombra2X<-function(angGen,distances,struct)
{
    stopifnot(is.list(struct),is.data.frame(distances))
    ##I prepare starting data
    P=with(struct,distances/W)
    b=with(struct,L/W)
    AzS=angGen$AzS
    Beta=angGen$Beta
    AlS=angGen$AlS

    d1=abs(P$Lew*cos(AzS)-P$Lns*sin(AzS))
    d2=abs(P$Lew*sin(AzS)+P$Lns*cos(AzS))
    FC=sin(AlS)/sin(Beta+AlS)
    s=b*cos(Beta)+(b*sin(Beta)+P$H)/tan(AlS)
    FS1=1-d1
    FS2=s-d2
    SombraCond=(FS1>0)*(FS2>0)*(P$Lew*AzS>=0)
    SombraCond[is.na(SombraCond)]<-FALSE #NAs are of no use to me in a logical vector. I replace them with FALSE
    ## Result
    FS=SombraCond*(FS1*FS2*FC)/b
    FS[FS>1]<-1
    return(FS)
}
```

Extracto de código A.27: *fSombra2X*

```r
utils::globalVariables(c('Lew', 'Lns', 'H'))

fSombra6<-function(angGen, distances, struct, prom=TRUE)
{
    stopifnot(is.list(struct),
              is.data.frame(distances))
    ##distances only has three distances, so I generate a grid
    if (dim(distances)[1]==1){
        Red <- distances[, .(Lew = c(-Lew, 0, Lew, -Lew, Lew),
                             Lns = c(Lns, Lns, Lns, 0, 0),
                             H=H)]
    } else { #distances is an array, so there is no need to generate the grid
        Red<-distances[1:5,]} #I only need the first 5 rows...necessary in case a wrong data.frame is delivered

    ## I calculate the shadow due to each of the 5 followers
    SombraGrupo<-matrix(ncol=5,nrow=dim(angGen)[1]) ###VECTORIZE
    for (i in 1:5) {SombraGrupo[,i]<-fSombra2X(angGen,Red[i,],struct)}
```

```
    ##To calculate the Average Shadow, I need the number of followers in each
    position (distrib)
    distrib=with(struct,c(1,Ncol-2,1,Nrow-1,(Ncol-2)*(Nrow-1),Nrow-1))
    vProm=c(sum(distrib[c(5,6)]),
            sum(distrib[c(4,5,6)]),
            sum(distrib[c(4,5)]),
            sum(distrib[c(2,3,5,6)]),
            sum(distrib[c(1,2,4,5)]))
    Nseg=sum(distrib) ##Total number of followers
    ##With the SWEEP function I multiply the Shadow Factor of each type (
    ShadowGroup columns) by the vProm result

    if (prom==TRUE){
        ## Average Shadow Factor in the group of SIX followers taking into
    account distribution
        FS=rowSums(sweep(SombraGrupo,2,vProm,'*'))/Nseg
        FS[FS>1]<-1
    } else {
        ## Shadow factor on follower #5 due to the other 5 followers
        FS=rowSums(SombraGrupo)
        FS[FS>1]<-1}
    return(FS)
}
```

Extracto de código A.28: *fSombra6*

```
fSombraEst<-function(angGen, distances, struct)
{
    stopifnot(is.list(struct),is.data.frame(distances))
    ## I prepare starting data
    dist <- with(struct, distances/L)
    Alpha <- angGen$Alpha
    Beta <- angGen$Beta
    AlS <- angGen$AlS
    AzS <- angGen$AzS
    cosTheta <- angGen$cosTheta
    h <- dist$H #It must be previously normalized
    if(is.null(h)) h <- 0
    d <- dist$D
    ## Calculations
    s=cos(Beta)+cos(Alpha-AzS)*(sin(Beta)+h)/tan(AlS)
    FC=sin(AlS)/sin(Beta+AlS)
    SombraCond=(s-d>0)
    FS=(s-d)*SombraCond*FC*(cosTheta>0)
    ## Result
    FS=FS*(FS>0)
    FS[FS>1]<-1
    return(FS)
}
```

Extracto de código A.29: *fSombraEst*

```
fSombraHoriz<-function(angGen, distances, struct)
{
    stopifnot(is.list(struct),is.data.frame(distances))
    ## I prepare starting data
    d <- with(struct, distances/L)
    AzS <- angGen$AzS
    AlS <- angGen$AlS
```

```
    Beta <- angGen$Beta
    lew <- d$Lew #It must be previously normalized
    ## Calculations
    Beta0=atan(abs(sin(AzS)/tan(AlS)))
    FS=1-lew*cos(Beta0)/cos(Beta-Beta0)
    SombraCond=(FS>0)
    ## Result
    FS=FS*SombraCond
    FS[FS>1]<-1
    return(FS)
}
```

Extracto de código A.30: *fSombraHoriz*

A.3.12. fTemp

```
fTemp<-function(sol, BD)
{
    ##sol is an object with class='Sol'
    ##BD is an object with class='Meteo', whose 'data' slot contains two columns
     called "TempMax" and "TempMin"

    stopifnot(class(sol)=='Sol')
    stopifnot(class(BD)=='Meteo')

    checkIndexD(indexD(sol), indexD(BD))

    Dates<-indexI(sol)
    x <- as.Date(Dates)
    ind.rep <- cumsum(c(1, diff(x) != 0))

    TempMax <-  BD@data$TempMax[ind.rep]
    TempMin <-  BD@data$TempMin[ind.rep]
    ws <- sol@solD$ws[ind.rep]
    w <- sol@solI$w

    ##Generate temperature sequence from database Maxima and Minima

    Tm=(TempMin+TempMax)/2
    Tr=(TempMax-TempMin)/2

    wp=pi/4

    a1=pi*12*(ws-w)/(21*pi+12*ws)
    a2=pi*(3*pi-12*w)/(3*pi-12*ws)
    a3=pi*(24*pi+12*(ws-w))/(21*pi+12*ws)

    T1=Tm-Tr*cos(a1)
    T2=Tm+Tr*cos(a2)
    T3=Tm-Tr*cos(a3)

    Ta=T1*(w<=ws)+T2*(w>ws&w<=wp)+T3*(w>wp)

    ##Result
    result<-data.table(Dates, Ta)
}
```

Extracto de código A.31: *fTemp*

A.3.13. fTheta

```
fTheta<-function(sol, beta, alpha = 0, modeTrk='fixed', betaLim=90,
                 BT=FALSE, struct, dist)
{
    stopifnot(modeTrk %in% c('two','horiz','fixed'))
    if (!missing(struct)) {stopifnot(is.list(struct))}
    if (!missing(dist)) {stopifnot(is.data.frame(dist))}

    betaLim=d2r(betaLim)
    lat=getLat(sol, 'rad')
    signLat=ifelse(sign(lat)==0, 1, sign(lat)) ##When lat=0, sign(lat)=0. I
    change it to sign(lat)=1

    solI<-as.data.tableI(sol, complete=TRUE, day = TRUE)
    AlS=solI$AlS
    AzS=solI$AzS
    decl=solI$decl
    w<-solI$w

    night<-solI$night

    Beta<-switch(modeTrk,
                 two = {Beta2x=pi/2-AlS
                     Beta=Beta2x+(betaLim-Beta2x)*(Beta2x>betaLim)},
                 fixed = rep(d2r(beta), length(w)),
                 horiz={BetaHoriz0=atan(abs(sin(AzS)/tan(AlS)))
                     if (BT){lew=dist$Lew/struct$L
                         Longitud=lew*cos(BetaHoriz0)
                         Cond=(Longitud>=1)
                         Longitud[Cond]=1
                         ## When Cond==TRUE Length=1
                         ## and therefore asin(Length)=pi/2,
                         ## so that BetaHoriz=BetaHoriz0
                         BetaHoriz=BetaHoriz0+asin(Longitud)-pi/2
                     } else {
                         BetaHoriz=BetaHoriz0
                         rm(BetaHoriz0)}
                     Beta=ifelse(BetaHoriz>betaLim,betaLim,BetaHoriz)}
                 )
    is.na(Beta) <- night

    Alpha<-switch(modeTrk,
                 two = AzS,
                 fixed = rep(d2r(alpha), length(w)),
                 horiz=pi/2*sign(AzS))
    is.na(Alpha) <- night

    cosTheta<-switch(modeTrk,
                     two=cos(Beta-(pi/2-AlS)),
                     horiz={
                         t1=sin(decl)*sin(lat)*cos(Beta)
                         t2=cos(decl)*cos(w)*cos(lat)*cos(Beta)
                         t3=cos(decl)*abs(sin(w))*sin(Beta)
                         cosTheta=t1+t2+t3
                         rm(t1,t2,t3)
                         cosTheta
                     },
                     fixed={
```

```
                        t1=sin(decl)*sin(lat)*cos(Beta)
                        t2=-signLat*sin(decl)*cos(lat)*sin(Beta)*cos(Alpha)
                        t3=cos(decl)*cos(w)*cos(lat)*cos(Beta)
                        t4=signLat*cos(decl)*cos(w)*sin(lat)*sin(Beta)*cos(
    Alpha)
                        t5=cos(decl)*sin(w)*sin(Alpha)*sin(Beta)
                        cosTheta=t1+t2+t3+t4+t5
                        rm(t1,t2,t3,t4,t5)
                        cosTheta
                    }
                    )
    is.na(cosTheta) <- night
    cosTheta=cosTheta*(cosTheta>0) #when cosTheta<0, Theta is greater than 90º,
    and therefore the Sun is behind the panel.

    result <- data.table(Dates = indexI(sol),
                        Beta, Alpha, cosTheta)
    return(result)
}
```

Extracto de código A.32: *fTheta*

A.3.14. HQCurve

```
## HQCurve: no visible binding for global variable ‘fb'
## HQCurve: no visible binding for global variable ‘Q'
## HQCurve: no visible binding for global variable ‘x'
## HQCurve: no visible binding for global variable ‘y'
## HQCurve: no visible binding for global variable ‘group.value'

if(getRversion() >= "2.15.1") globalVariables(c('fb', 'Q', 'x', 'y', 'group.
    value'))

HQCurve<-function(pump){
  w1=3000 #synchronous rpm frequency
  wm=2870 #rpm frequency with slip when applying voltage at 50 Hz
  s=(w1-wm)/w1
  fen=50 #Nominal electrical frequency

  f=seq(35,50,by=5)
  Hn=with(pump,a*50^2+b*50*Qn+c*Qn^2) #height corresponding to flow rate and
    nominal frequency

  kiso=Hn/pump$Qn^2 #To paint the isoyield curve I take into account the laws of
     similarity
  Qiso=with(pump,seq(0.1*Qn,Qmax,l=10))
  Hiso=kiso*Qiso^2 #Isoperformance curve

  Curva<-expand.grid(fb=f,Q=Qiso)

  Curva<-within(Curva,{
    fe=fb/(1-s)
    H=with(pump,a*fb^2+b*fb*Q+c*Q^2)

    is.na(H) <- (H<0)
    Q50=50*Q/fb
    H50=H*(50/fb)^2
    etab=with(pump,j*Q50^2+k*Q50+l)
```

```
    Pb50=2.725*H50*Q50/etab
    Pb=Pb50*(fb/50)^3

    Pbc=Pb*50/fe
    etam=with(pump,g*(Pbc/Pmn)^2+h*(Pbc/Pmn)+i)
    Pmc=Pbc/etam
    Pm=Pmc*fe/50

    etac=0.95 #Variable frequency drive performance
    cab=0.05  #Cable losses
    Pdc=Pm/(etac*(1-cab))
    rm(etac,cab,Pmc,Pbc,Pb50,Q50,H50)
  })

###H-Q curve at different frequencies
  ##I check if I have the lattice package available, which should have been
    loaded in .First.lib
  lattice.disp<-("lattice" %in% .packages())
  latticeExtra.disp<-("latticeExtra" %in% .packages())
  if (lattice.disp && latticeExtra.disp) {
    p<-xyplot(H~Q,groups=factor(fb),data=Curva, type='l',
              par.settings=custom.theme.2(),
              panel=function(x,y,groups,...){
                panel.superpose(x,y,groups,...)
                panel.xyplot(Qiso,Hiso,col='black',...)
                panel.text(Qiso[1], Hiso[1], 'ISO', pos=3)}
              )
    p=p+glayer(panel.text(x[1], y[1], group.value, pos=3))
    print(p)
    result<-list(result=Curva, plot=p)
  } else {
    warning('lattice and/or latticeExtra packages are not available. Thus, the
    plot could not be created')
    result<-Curva}
}
```

Extracto de código A.33: *HQCurve*

A.3.15. local2Solar

```
local2Solar <- function(x, lon=NULL){
  tz=attr(x, 'tzone')
  if (tz=='' || is.null(tz)) {tz='UTC'}
  ##Daylight savings time
  AO=3600*dst(x)
  AOneg=(AO<0)
  if (any(AOneg)) {
    AO[AOneg]=0
    warning('Some Daylight Savings Time unknown. Set to zero.')
  }
  ##Difference between local longitude and time zone longitude LH
  LH=lonHH(tz)
  if (is.null(lon))
    {deltaL=0
   } else
  {deltaL=d2r(lon)-LH
 }
  ##Local time corrected to UTC
```

```
  tt <- format(x, tz=tz)
  result <- as.POSIXct(tt, tz='UTC')-AO+r2sec(deltaL)
  result
}
```

Extracto de código A.34: *local2Solar*

A.3.16. markovG0

```
## Objects loaded at startup from data/MTM.RData
if(getRversion() >= "2.15.1") globalVariables(c(
                  'MTM', ## Markov Transition Matrices
                  'Ktmtm', ## Kt limits to choose a matrix from MTM
                  'Ktlim' ## Daily kt range of each matrix.
                  ))

markovG0 <- function(G0dm, solD){
    solD <- copy(solD)
    timeIndex <- solD$Dates
    Bo0d <- solD$Bo0d
    Bo0dm <- solD[, mean(Bo0d), by = .(month(Dates), year(Dates))][[3]]
    ktm <- G0dm/Bo0dm

    ##Calculates which matrix to work with for each month
    whichMatrix <- findInterval(ktm, Ktmtm, all.inside = TRUE)

    ktd <- state <- numeric(length(timeIndex))
    state[1] <- 1
    ktd[1] <- ktm[state[1]]
    for (i in 2:length(timeIndex)){
        iMonth <- month(timeIndex[i])
        colMonth <- whichMatrix[iMonth]
        rng <- Ktlim[, colMonth]
        classes <- seq(rng[1], rng[2], length=11)
        matMonth <- MTM[(10*colMonth-9):(10*colMonth),]
        ## http://www-rohan.sdsu.edu/~babailey/stat575/mcsim.r
        state[i] <- sample(1:10, size=1, prob=matMonth[state[i-1],])
        ktd[i] <- runif(1, min=classes[state[i]], max=classes[state[i]+1])
    }
    G0dmMarkov <- data.table(ktd, Bo0d)
    G0dmMarkov <- G0dmMarkov[, mean(ktd*Bo0d), by = .(month(timeIndex), year(
    timeIndex))][[3]]
    fix <- G0dm/G0dmMarkov
    indRep <- month(timeIndex)
    fix <- fix[indRep]
    G0d <- data.table(Dates = timeIndex, G0d = ktd * Bo0d * fix)
    G0d
}
```

Extracto de código A.35: *markovG0*

A.3.17. NmgPVPS

```
## NmgPVPS: no visible binding for global variable ‘Pnom'
## NmgPVPS: no visible binding for global variable ‘group.value'

if(getRversion() >= "2.15.1") globalVariables(c('Pnom', 'group.value'))

```

```
NmgPVPS <- function(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()){

    ##I build the type day by IEC procedure
    t=seq(-t0,t0,l=2*t0*Nm);
    d=Gd/(Gmax*2*t0)
    s=(d*pi/2-1)/(1-pi/4)
    G=Gmax*cos(t/t0*pi/2)*(1+s*(1-cos(t/t0*pi/2)))
    G[G<0]<-0
    G=G/(sum(G,na.rm=1)/Nm)*Gd
    Red<-expand.grid(G=G,Pnom=Pg,H=H,Ta=Ta)
    Red<-within(Red,{Tcm<-Ta+G*(TONC-20)/800
                     Pdc=Pnom*G/1000*(1-lambda*(Tcm-25)) #Available DC power
                     Pac=Pdc*eta})                       #Inverter yield

    res=data.table(Red,Q=0)

    for (i in seq_along(H)){
        fun=fPump(pump, H[i])
        Cond=res$H==H[i]
        x=res$Pac[Cond]
        z=res$Pdc[Cond]
        rango=with(fun,x>=lim[1] & x<=lim[2]) #I limit the power to the
    operating range of the pump.
        x[!rango]<-0
        z[!rango]<-0
        y=res$Q[Cond]
        y[rango]<-fun$fQ(x[rango])
        res$Q[Cond]=y
        res$Pac[Cond]=x
        res$Pdc[Cond]=z
    }

    resumen <- res[, lapply(.SD, function(x)sum(x, na.rm = 1)/Nm),
                   by = .(Pnom, H)]
    param=list(pump=pump, Pg=Pg, H=H, Gd=Gd, Ta=Ta,
               lambda=lambda, TONC=TONC, eta=eta,
               Gmax=Gmax, t0=t0, Nm=Nm)


###Abacus with common X-axes

    ##I check if I have the lattice package available, which should have been
    loaded in .First.lib
    lattice.disp<-("lattice" %in% .packages())
    latticeExtra.disp<-("latticeExtra" %in% .packages())
    if (lattice.disp && latticeExtra.disp){
        tema<-theme
        tema1 <- modifyList(tema, list(layout.width = list(panel=1,
                                       ylab = 2, axis.left=1.0,
                                       left.padding=1, ylab.axis.padding=1,
                                       axis.panel=1)))
        tema2 <- modifyList(tema, list(layout.width = list(panel=1,
                                       ylab = 2, axis.left=1.0, left.padding=1,
                                       ylab.axis.padding=1, axis.panel=1)))
        temaT <- modifyList(tema, list(layout.heights = list(panel = c(1, 1))))
```

```
        p1 <- xyplot(Q~Pdc, groups=H, data=resumen,
                     ylab="Qd (m\u00b3/d)",type=c('l','g'),
                     par.settings = tema1)

        p1lab<-p1+glayer(panel.text(x[1], y[1], group.value, pos=2, cex=0.7))

        ##I paint the linear regression because Pnom~Pdc depends on the height.
        p2 <- xyplot(Pnom~Pdc, groups=H, data=resumen,
                     ylab="Pg",type=c('l','g'), #type=c('smooth','g'),
                     par.settings = tema2)
        p2lab<-p2+glayer(panel.text(x[1], y[1], group.value, pos=2, cex=0.7))

        p<-update(c(p1lab, p2lab, x.same = TRUE),
                  main=paste(title, '\nSP', pump$Qn, 'A', pump$stages, ' ',
                  'Gd ', Gd/1000," kWh/m\u00b2",sep=''),
                  layout = c(1, 2),
                  scales=list(x=list(draw=FALSE)),
                  xlab='',
                  ylab = list(c("Qd (m\u00b3/d)","Pg (Wp)"), y = c(1/4, 3/4)),
                  par.settings = temaT
                  )
        print(p)
        result<-list(I=res,D=resumen, plot=p, param=param)
    } else {
        warning('lattice, latticeExtra packages are not all available. Thus, the
     plot could not be created')
        result<-list(I=res,D=resumen, param=param)
    }
}
```

Extracto de código A.36: *NmgPVPS*

A.3.18. solarAngles

```
#### Declination ####
declination <- function(d, method = 'michalsky')
{
    ##Method check
    if(!(method %in% c("michalsky", "cooper", "strous", "spencer"))){
        warning("'method' must be: michalsky, cooper, strous or spencer. Set
    michalsky")
        method = 'michalsky'
    }

    ## x is an IDate
    d <- as.IDate(d)
    ## Day of year
    dn <- yday(d)
    ## Days from 2000-01-01
    origin <- as.IDate('2000-01-01')
    jd <- as.numeric(d - origin)
    X <- 2 * pi * (dn - 1) / 365

    switch(method,
           michalsky = {
           meanLong <- (280.460 + 0.9856474 * jd)%%360
           meanAnomaly <- (357.528 + 0.9856003 * jd)%%360
           eclipLong <- (meanLong +1.915 * sin(d2r(meanAnomaly)) +
```

```
                          0.02 * sin(d2r(2 * meanAnomaly)))%%360
            excen <- 23.439 - 0.0000004 * jd
            sinEclip <- sin(d2r(eclipLong))
            sinExcen <- sin(d2r(excen))
            asin(sinEclip * sinExcen)
            },
            cooper = {
                ##P.I. Cooper. "The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills
    ". Solar Energy 12 (1969).
                d2r(23.45) * sin(2 * pi * (dn +284) / 365)
            },
            strous = {
                meanAnomaly <- (357.5291 + 0.98560028 * jd)%%360
                coefC <- c(1.9148, 0.02, 0.0003)
                sinC <- sin(outer(1:3, d2r(meanAnomaly), '*'))
                C <- colSums(coefC * sinC)
                trueAnomaly <- (meanAnomaly + C)%%360
                eclipLong <- (trueAnomaly + 282.9372)%%360
                excen <- 23.435
                sinEclip <- sin(d2r(eclipLong))
                sinExcen <- sin(d2r(excen))
                asin(sinEclip * sinExcen)
            },
            spencer = {
                ## J.W. Spencer. "Fourier Series Representation of the Position
    of the Sun". 2 (1971).
                ##URL: http://www.mail-archive.com/sundial@uni-koeln.de/msg01050.
    html.
                0.006918 - 0.399912 * cos(X) + 0.070257 * sin(X) -
                    0.006758 * cos(2 * X) + 0.000907 * sin(2 * X) -
                        0.002697 * cos(3 * X) + 0.001480 * sin(3 * X)
            })
}


#### Eccentricity ####
eccentricity <- function(d, method = 'michalsky')
{
    ##Method check
    if(!(method %in% c("michalsky", "cooper", "strous", "spencer"))){
        warning("'method' must be: michalsky, cooper, strous or spencer. Set
    michalsky")
        method = 'michalsky'
    }

    ##x is an IDate
    d <- as.IDate(d)
    ##Day of year
    dn <- yday(d)
    X <- 2 * pi * (dn-1)/365

    switch(method,
            cooper = 1 + 0.033*cos(2*pi*dn/365),
            spencer = ,
            michalsky = ,
            strous = 1.000110 + 0.034221*cos(X) +
                0.001280*sin(X) + 0.000719*cos(2*X) +
                0.000077*sin(2*X)
```

```
78            )
79  }
80
81
82  #### Equation of time
83
84  ##Alan M.Whitman "A simple expression for the equation of time"
85  ##EoT=ts-t, donde ts es la hora solar real y t es la hora solar
86  ##media. Valores negativos implican que el sol real se retrasa
87  ##respecto al medio
88  eot <- function(d)
89  {
90      ## d in an IDate
91      d <- as.IDate(d)
92      ## Day of year
93      dn <- yday(d)
94      M <- 2 * pi/365.24 * dn
95      EoT <- 229.18 * (-0.0334 * sin(M) +
96                       0.04184 * sin(2 * M + 3.5884))
97      EoT <- h2r(EoT/60)
98      return(EoT)
99  }
100
101
102 #### Solar time ####
103 sunrise <- function(d, lat, method = 'michalsky',
104                     decl = declination(d, method = method))
105 {
106     ##Method check
107     if(!(method %in% c("michalsky", "cooper", "strous", "spencer"))){
108         warning("'method' must be: michalsky, cooper, strous or spencer. Set
    michalsky")
109         method = 'michalsky'
110     }
111
112     cosWs <- -tan(d2r(lat)) * tan(decl)
113     #sunrise, negative since it is before noon
114     ws <- -acos(cosWs)
115     #Polar day/night
116     polar <- which(is.nan(ws))
117     ws[polar] <- -pi * (cosWs[polar] < -1) + 0 * (cosWs[polar] > 1)
118     return(ws)
119 }
120
121 #### Extraterrestrial irradition ####
122 bo0d <- function(d, lat, method = 'michalsky',
123                  decl = declination(d, method = method),
124                  eo = eccentricity(d, method = method),
125                  ws = sunrise(d, lat, method = method))
126 {
127     ##Method check
128     if(!(method %in% c("michalsky", "cooper", "strous", "spencer"))){
129         warning("'method' must be: michalsky, cooper, strous or spencer. Set
    michalsky")
130         method = 'michalsky'
131     }
132
133     #solar constant
```

```
    Bo <- 1367
    latr <- d2r(lat)
    #The negative sign due to the definition of ws
    Bo0d <- -24/pi * Bo * eo * (ws * sin(latr) * sin(decl) +
                                cos(latr) * cos(decl) * sin(ws))
    return(Bo0d)
}


#### Sun hour angle ####
sunHour <- function(d, BTi, sample = 'hour', EoT = TRUE,
                    method = 'michalsky',
                    eqtime = eot(d))
{
    ##Method check
    if(!(method %in% c("michalsky", "cooper", "strous", "spencer"))){
        warning("'method' must be: michalsky, cooper, strous or spencer. Set
    michalsky")
        method = 'michalsky'
    }

    if(missing(BTi)){
        BTi <- fBTi(BTd = d, sample = sample)
    }else {
        if (inherits(BTi, 'data.table')) {
            Times <- as.ITime(BTi$Times)
            Dates <- as.IDate(BTi$Dates)
            BTi <- as.POSIXct(Dates, Times, tz = 'UTC')
        }
        else {
            BTi <- as.POSIXct(BTi, tz = 'UTC')
        }
    }
    rep <- cumsum(c(1, diff(as.Date(BTi)) != 0))
    if(EoT)
    {
        EoT <- eqtime
        if(length(EoT) != length(BTi)){EoT <- EoT[rep]}
    }else{EoT <- 0}

    jd <- as.numeric(julian(BTi, origin = '2000-01-01 12:00:00 UTC'))
    TO <- hms(BTi)

    w=switch(method,
             cooper = h2r(TO-12)+EoT,
             spencer = h2r(TO-12)+EoT,
             michalsky = {
                 meanLong <- (280.460+0.9856474*jd)%%360
                 meanAnomaly <- (357.528+0.9856003*jd)%%360
                 eclipLong <- (meanLong +1.915*sin(d2r(meanAnomaly))+0.02*sin(
    d2r(2*meanAnomaly)))%%360
                 excen <- 23.439-0.0000004*jd

                 sinEclip <- sin(d2r(eclipLong))
                 cosEclip <- cos(d2r(eclipLong))
                 cosExcen <- cos(d2r(excen))

                 ascension <- r2d(atan2(sinEclip*cosExcen, cosEclip))%%360
```

```
190
191                 ##local mean sidereal time, LMST
192                 ##TO has been previously corrected with local2Solar in order
193                 ##to include the longitude, daylight savings, etc.
194                 lmst <- (h2d(6.697375 + 0.0657098242*jd + TO))%%360
195                 w <- (lmst-ascension)
196                 w <- d2r(w + 360*(w < -180) - 360*(w > 180))
197             },
198             strous = {
199                 meanAnomaly  <-  (357.5291 + 0.98560028*jd)%%360
200                 coefC <- c(1.9148, 0.02, 0.0003)
201                 sinC <- sin(outer(1:3, d2r(meanAnomaly), '*'))
202                 C  <-  colSums(coefC*sinC)
203                 trueAnomaly <- (meanAnomaly + C)%%360
204                 eclipLong <- (trueAnomaly + 282.9372)%%360
205                 excen <- 23.435
206
207                 sinEclip <- sin(d2r(eclipLong))
208                 cosEclip <- cos(d2r(eclipLong))
209                 cosExcen <- cos(d2r(excen))
210
211                 ascension <- r2d(atan2(sinEclip*cosExcen, cosEclip))%%360
212
213                 ##local mean sidereal time, LMST
214                 ##TO has been previously corrected with local2Solar in order
215                 ##to include the longitude, daylight savings, etc.
216                 lmst <- (280.1600+360.9856235*jd)%%360
217                 w <- (lmst-ascension)
218                 w <- d2r(w + 360*(w< -180) - 360*(w>180))
219             }
220             )
221     return(w)
222 }
223
224 #### zenith angle ####
225 zenith <- function(d, lat, BTi, sample = 'hour',  method = 'michalsky',
226                    decl = declination(d, method = method),
227                    w = sunHour(d, BTi, sample, method = method))
228 {
229     ##Method check
230     if(!(method %in% c("michalsky", "cooper", "strous", "spencer"))){
231         warning("'method' must be: michalsky, cooper, strous or spencer. Set
    michalsky")
232         method = 'michalsky'
233     }
234
235     if(missing(BTi)){BTi <- fBTi(d, sample)}
236     x <- as.Date(BTi)
237     rep <- cumsum(c(1, diff(x) != 0))
238     latr <- d2r(lat)
239     if(length(decl) == length(BTi)){decl <- decl}
240     else{decl <- decl[rep]}
241     zenith <- sin(decl) * sin(latr) +
242         cos(decl) * cos(w) * cos(latr)
243     zenith <- ifelse(zenith > 1, 1, zenith)
244     return(zenith)
245 }
246
```

```r
#### azimuth ####
azimuth <- function(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))
{
    ##Method check
    if(!(method %in% c("michalsky", "cooper", "strous", "spencer"))){
        warning("'method' must be: michalsky, cooper, strous or spencer. Set
    michalsky")
        method = 'michalsky'
    }

    signLat <- ifelse(sign(lat) == 0, 1, sign(lat)) #if the sign of lat is 0, it
     changes it to 1
    if(missing(BTi)){BTi <- fBTi(d, sample)}
    x <- as.Date(BTi)
    rep <- cumsum(c(1, diff(x) != 0))
    latr <- d2r(lat)
    if(length(decl) != length(BTi)){decl <- decl[rep]}
    AlS <- asin(cosThzS)
    cosazimuth <- signLat * (cos(decl) * cos(w) * sin(latr) -
                          cos(latr) * sin(decl)) / cos(AlS)
    cosazimuth <- ifelse(abs(cosazimuth)>1, sign(cosazimuth), cosazimuth)
    azimuth <- sign(w)*acos(cosazimuth)
    return(azimuth)
}
```

Extracto de código A.37: *solarAngles*

A.3.19. utils-angles

```r
#degrees to radians
d2r<-function(x){x*pi/180}

#radians to degrees
r2d<-function(x){x*180/pi}

#hours to radians
h2r<-function(x){x*pi/12}

#hours to degrees
h2d<-function(x){x*180/12}

#radians to hours
r2h<-function(x){x*12/pi}

#degrees to hours
d2h<-function(x){x*12/180}

#radians to seconds
r2sec<-function(x){x*12/pi*3600}

#radians to minutes
r2min<-function(x){x*12/pi*60}
```

Extracto de código A.38: *utils-angles*

A.3.20. utils-time

```
#complete time to hours
t2h <- function(x)
{
    hour(x)+minute(x)/60+second(x)/3600
}

#hours minutes and seconds to hours
hms <- function(x)
{
    hour(x)+minute(x)/60+second(x)/3600
}

#day of the year
doy <- function(x){
  as.numeric(format(x, '%j'))
}

#day of the month
dom <- function(x){
  as.numeric(format(x, '%d'))
}

#trunc days
truncDay <- function(x){as.POSIXct(trunc(x, units='days'))}
```

Extracto de código A.39: *utils-time*

A.4. Métodos

A.4.1. as.data.tableI

```
setGeneric('as.data.tableI',
           function(object, complete=FALSE, day=FALSE){standardGeneric('as.data.
    tableI')})

setMethod('as.data.tableI',
          signature=(object='Sol'),
          definition=function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
              sol <- copy(object)
              BTi <- indexI(sol)
              BTi <- truncDay(BTi)
              ind.rep <- cumsum(c(1, diff(BTi, units='days')!=0))
              solI <- sol@solI
              solD <- sol@solD[ind.rep]
              if(complete){
                  data <- data.table(solI, solD[, Dates := NULL])
              } else{data <- solI}
              if(day){
                  ind <- indexI(sol)
                  data[, day := doy(ind)]
                  data[, month := month(ind)]
                  data[, year := year(ind)]
```

```
21                }
22                return(data)
23            }
24            )
25
26 setMethod('as.data.tableI',
27            signature = (object='G0'),
28            definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
29                g0 <- copy(object)
30                BTi <- indexI(g0)
31                BTi <- truncDay(BTi)
32                ind.rep <- cumsum(c(1, diff(BTi)!=0))
33                G0I <- g0@G0I
34                solI <- g0@solI
35                solD <- g0@solD[ind.rep]
36                Ta <- g0@Ta
37                if(length(Ta[[1]]!=length(G0I[[1]]))) Ta <- Ta[ind.rep]
38                if(complete){
39                    data <- data.table(solI,
40                                       G0I[, Dates := NULL],
41                                       solD[, Dates := NULL],
42                                       Ta[, Dates := NULL])
43                } else{
44                    G0I[, Kt := NULL]
45                    G0I[, Fd := NULL]
46                    data <- G0I
47                }
48                if(day){
49                    ind <- indexI(object)
50                    data[, day := doy(ind)]
51                    data[, month := month(ind)]
52                    data[, year := year(ind)]
53                }
54                return(data)
55            }
56            )
57
58 setMethod('as.data.tableI',
59            signature = (object='Gef'),
60            definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
61                gef <- copy(object)
62                BTi <- indexI(gef)
63                BTi <- truncDay(BTi)
64                ind.rep <- cumsum(c(1, diff(BTi, units='days')!=0))
65                GefI <- gef@GefI
66                G0I <- gef@G0I
67                solI <- gef@solI
68                solD <- gef@solD[ind.rep]
69                Ta <- gef@Ta
70                if(length(Ta[[1]]!=length(GefI[[1]]))) Ta <- Ta[ind.rep]
71                if(complete){
72                    data <- data.table(solI,
73                                       G0I[, Dates := NULL],
74                                       solD[, Dates := NULL],
75                                       Ta[, Dates := NULL],
76                                       GefI[, Dates := NULL])
77                } else {
78                    data <- GefI[, c('Dates','Gef',
```

```
                                    'Bef', 'Def')]
            }
            if(day){
                ind <- indexI(object)
                data[, day := doy(ind)]
                data[, month := month(ind)]
                data[, year := year(ind)]
            }
            return(data)
        }
        )

setMethod('as.data.tableI',
        signature = (object='ProdGCPV'),
        definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
            prodgcpv <- copy(object)
            BTi <- indexI(prodgcpv)
            BTi <- truncDay(BTi)
            ind.rep <- cumsum(c(1, diff(BTi, units = 'days')!=0))
            prodI <- prodgcpv@prodI
            Theta <- prodgcpv@Theta
            GefI <- prodgcpv@GefI
            GOI <- prodgcpv@GOI
            solI <- prodgcpv@solI
            solD <- prodgcpv@solD[ind.rep]
            Ta <- prodgcpv@Ta
            if(length(Ta[[1]]!=length(prodI[[1]]))) Ta <- Ta[ind.rep]
            if(complete){
                data <- data.table(solI,
                                   GOI[, Dates := NULL],
                                   solD[, Dates := NULL],
                                   Ta[, Dates := NULL],
                                   GefI[, Dates := NULL],
                                   prodI[, Dates := NULL],
                                   Theta[, Dates := NULL])
            } else {
                data <- prodI[, c('Dates', 'Pac', 'Pdc')]
            }
            if(day){
                ind <- indexI(object)
                data[, day := doy(ind)]
                data[, month := month(ind)]
                data[, year := year(ind)]
            }
            return(data)
        }
        )

setMethod('as.data.tableI',
        signature = (object='ProdPVPS'),
        definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
            prodpvps <- copy(object)
            BTi <- indexI(prodpvps)
            BTi <- truncDay(BTi)
            ind.rep <- cumsum(c(1, diff(BTi, units='days')!=0))
            prodI <- prodpvps@prodI
            Theta <- prodpvps@Theta
            GefI <- prodpvps@GefI
```

```
137                 GOI <- prodpvps@GOI
138                 solI <- prodpvps@solI
139                 solD <- prodpvps@solD[ind.rep]
140                 Ta <- prodpvps@Ta
141                 if(length(Ta[[1]]!=length(prodI[[1]]))) Ta <- Ta[ind.rep]
142                 if(complete){
143                     data <- data.table(solI,
144                                        GOI[, Dates := NULL],
145                                        solD[, Dates := NULL],
146                                        Ta[, Dates := NULL],
147                                        GefI[, Dates := NULL],
148                                        prodI[, Dates := NULL],
149                                        Theta[, Dates := NULL])
150                 } else {
151                     data <- prodI[, c('Dates', 'Pac', 'Pdc')]
152                 }
153                 if(day){
154                     ind <- indexI(object)
155                     data[, day := doy(ind)]
156                     data[, month := month(ind)]
157                     data[, year := year(ind)]
158                 }
159                 return(data)
160             }
161             )
```

Extracto de código A.40: *as.data.tableI*

A.4.2. as.data.tableD

```
1  setGeneric('as.data.tableD', function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
       standardGeneric('as.data.tableD')})
2
3  setMethod('as.data.tableD',
4            signature=(object='Sol'),
5            definition=function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
6                sol <- copy(object)
7                solD <- sol@solD
8                data <- solD
9                if(day){
10                   ind <- indexD(object)
11                   data[, day := doy(ind)]
12                   data[, month := month(ind)]
13                   data[, year := year(ind)]
14               }
15               return(data)
16           }
17           )
18
19 setMethod('as.data.tableD',
20           signature = (object='G0'),
21           definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
22               g0 <- copy(object)
23               G0D <- g0@G0D
24               solD <- g0@solD
25               if(complete){
26                   data <- data.table(G0D, solD[, Dates := NULL])
27               } else {
```

```
28                  GOD[, Fd := NULL]
29                  GOD[, Kt := NULL]
30                  data <- GOD
31              }
32              if(day){
33                  ind <- indexD(object)
34                  data[, day := doy(ind)]
35                  data[, month := month(ind)]
36                  data[, year := year(ind)]
37              }
38              return(data)
39          })
40
41  setMethod('as.data.tableD',
42            signature = (object='Gef'),
43            definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
44                gef <- copy(object)
45                GefD <- gef@GefD
46                GOD <- gef@GOD
47                solD <- gef@solD
48                if(complete){
49                    data <- data.table(GefD,
50                                       GOD[, Dates := NULL],
51                                       solD[, Dates := NULL])
52                } else {data <- GefD[, c('Dates', 'Gefd',
53                                         'Defd', 'Befd')]}
54                if(day){
55                    ind <- indexD(object)
56                    data[, day := doy(ind)]
57                    data[, month := month(ind)]
58                    data[, year := year(ind)]
59                }
60                return(data)
61            }
62            )
63
64  setMethod('as.data.tableD',
65            signature = (object='ProdGCPV'),
66            definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
67                prodgcpv <- copy(object)
68                prodD <- prodgcpv@prodD
69                GefD <- prodgcpv@GefD
70                GOD <- prodgcpv@GOD
71                solD <- prodgcpv@solD
72                if(complete){
73                    data <- data.table(prodD,
74                                       GefD[, Dates := NULL],
75                                       GOD[, Dates := NULL],
76                                       solD[, Dates := NULL]
77                                       )
78                } else { data <- prodD[, c('Dates', 'Eac',
79                                           'Edc', 'Yf')]}
80                if(day){
81                    ind <- indexD(object)
82                    data[, day := doy(ind)]
83                    data[, month := month(ind)]
84                    data[, year := year(ind)]
85                }
```

```
86              return(data)
87          }
88          )
89
90  setMethod('as.data.tableD',
91            signature = (object='ProdPVPS'),
92            definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
93                prodpvps <- copy(object)
94                prodD <- prodpvps@prodD
95                GefD <- prodpvps@GefD
96                G0D <- prodpvps@G0D
97                solD <- prodpvps@solD
98                if(complete){
99                    data <- data.table(prodD,
100                                       GefD[, Dates := NULL],
101                                       G0D[, Dates := NULL],
102                                       solD[, Dates := NULL]
103                                       )
104               } else { data <- prodD[, c('Dates', 'Eac',
105                                          'Qd', 'Yf')]}
106               if(day){
107                   ind <- indexD(object)
108                   data[, day := doy(ind)]
109                   data[, month := month(ind)]
110                   data[, year := year(ind)]
111               }
112               return(data)
113           }
114           )
```

Extracto de código A.41: *as.data.tableD*

A.4.3. as.data.tableM

```
1   setGeneric('as.data.tableM', function(object, complete = FALSE, day=FALSE){
        standardGeneric('as.data.tableM')})
2
3   setMethod('as.data.tableM',
4             signature=(object='G0'),
5             definition=function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
6                 g0 <- copy(object)
7                 G0dm <- g0@G0dm
8                 data <- G0dm
9                 if(day){
10                    ind <- indexD(object)
11                    data[, month := month(ind)]
12                    data[, year := year(ind)]
13                }
14                return(data)
15            }
16            )
17
18  setMethod('as.data.tableM',
19            signature=(object='Gef'),
20            definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
21                gef <- copy(object)
22                Gefdm <- gef@Gefdm
23                G0dm <- gef@G0dm
```

```
24              if(complete){
25                  data <- data.table(Gefdm, GOdm[, Dates := NULL])
26              } else {data <- Gefdm}
27              if(day){
28                  ind <- indexD(object)
29                  data[, month := month(ind)]
30                  data[, year := year(ind)]
31              }
32              return(data)
33          }
34          )
35
36  setMethod('as.data.tableM',
37          signature = (object='ProdGCPV'),
38          definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
39              prodgcpv <- copy(object)
40              prodDm <- prodgcpv@prodDm
41              Gefdm <- prodgcpv@Gefdm
42              GOdm <- prodgcpv@GOdm
43              if(complete){
44                  data <- data.table(prodDm,
45                                     Gefdm[, Dates := NULL],
46                                     GOdm[, Dates := NULL])
47              } else {data <- prodDm}
48              if(day){
49                  ind <- indexD(object)
50                  data[, month := month(ind)]
51                  data[, year := year(ind)]
52              }
53              return(data)
54          }
55          )
56
57  setMethod('as.data.tableM',
58          signature = (object='ProdPVPS'),
59          definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
60              prodpvps <- copy(object)
61              prodDm <- prodpvps@prodDm
62              Gefdm <- prodpvps@Gefdm
63              GOdm <- prodpvps@GOdm
64              if(complete){
65                  data <- data.table(prodDm,
66                                     Gefdm[, Dates := NULL],
67                                     GOdm[, Dates := NULL])
68              } else {data <- prodDm}
69              if(day){
70                  ind <- indexD(object)
71                  data[, month := month(ind)]
72                  data[, year := year(ind)]
73              }
74              return(data)
75          }
76          )
```

Extracto de código A.42: *as.data.tableM*

A.4.4. as.data.tableY

```
setGeneric('as.data.tableY', function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
    standardGeneric('as.data.tableY')})

setMethod('as.data.tableY',
          signature=(object='G0'),
          definition=function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
              g0 <- copy(object)
              G0y <- g0@G0y
              data <- G0y
              if(day){data[, year := Dates]}
              return(data)
          }
          )

setMethod('as.data.tableY',
          signature = (object='Gef'),
          definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
              gef <- copy(object)
              Gefy <- gef@Gefy
              G0y <- gef@G0y
              if(complete){
                  data <- data.table(Gefy, G0y[, Dates := NULL])
              } else {data <- Gefy}
              if(day){data[, year := Dates]}
              return(data)
          }
          )

setMethod('as.data.tableY',
          signature = (object='ProdGCPV'),
          definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
              prodgcpv <- copy(object)
              prody <- prodgcpv@prody
              Gefy <- prodgcpv@Gefy
              G0y <- prodgcpv@G0y
              if(complete){
                  data <- data.table(prody,
                                     Gefy[, Dates := NULL],
                                     G0y[, Dates := NULL])
              } else {data <- prody}
              if(day){data[, year := Dates]}
              return(data)
          }
          )

setMethod('as.data.tableY',
          signature = (object='ProdPVPS'),
          definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
              prodpvps <- copy(object)
              prody <- prodpvps@prody
              Gefy <- prodpvps@Gefy
              G0y <- prodpvps@G0y
              if(complete){
                  data <- data.table(prody,
                                     Gefy[, Dates := NULL],
                                     G0y[, Dates := NULL])
              } else {data <- prody}
              if(day){data[, year := Dates]}
```

```
58              return(data)
59          }
60          )
```

Extracto de código A.43: *as.data.tableY*

A.4.5. compare

```
1  ## compareFunction: no visible binding for global variable ‘name'
2  ## compareFunction: no visible binding for global variable ‘x'
3  ## compareFunction: no visible binding for global variable ‘y'
4  ## compareFunction: no visible binding for global variable ‘group.value'
5
6  if(getRversion() >= "2.15.1") globalVariables(c('name', 'x', 'y', 'group.value',
       '..vars'))
7
8  setGeneric('compare', signature='...', function(...){standardGeneric('compare')
       })
9
10 compareFunction <- function(..., vars){
11     dots <- list(...)
12     nms0 <- substitute(list(...))
13     if (!is.null(names(nms0))){ ##in do.call
14         nms <- names(nms0[-1])
15     } else {
16         nms <- as.character(nms0[-1])
17     }
18     foo <- function(object, label){
19         yY <- colMeans(as.data.tableY(object, complete = TRUE)[, ..vars])
20         yY <- cbind(stack(yY), name=label)
21         yY
22     }
23     cdata <- mapply(FUN=foo, dots, nms, SIMPLIFY=FALSE)
24     z <- do.call(rbind, cdata)
25     z$ind <- ordered(z$ind, levels=vars)
26     p <- dotplot(ind~values, groups=name, data=z, type='b',
27                  par.settings=solaR.theme)
28     print(p+glayer(panel.text(x[length(x)], y[length(x)],
29                               label=group.value, cex=0.7, pos=3, srt=45)))
30     return(z)
31 }
32
33
34 setMethod('compare',
35           signature='G0',
36           definition=function(...){
37             vars <- c('D0d', 'B0d', 'G0d')
38             res <- compareFunction(..., vars=vars)
39             return(res)
40           }
41           )
42
43 setMethod('compare',
44           signature='Gef',
45           definition=function(...){
46             vars <- c('Defd', 'Befd', 'Gefd')
47             res <- compareFunction(..., vars=vars)
48             return(res)
```

```
49          }
50          )
51
52  setMethod('compare',
53          signature='ProdGCPV',
54          definition=function(...){
55            vars <- c('G0d', 'Gefd', 'Yf')
56            res <- compareFunction(..., vars=vars)
57            return(res)
58          }
59          )
```

Extracto de código A.44: *compare*

A.4.6. getData

```
1  ## extracts the data for class Meteo ##
2  setGeneric('getData', function(object){standardGeneric('getData')})
3
4  ### getData ####
5  setMethod('getData',
6            signature = (object = 'Meteo'),
7            definition = function(object){
8                result <- object@data
9                return(result)
10           })
```

Extracto de código A.45: *getData*

A.4.7. getG0

```
1  ## extracts the global irradiance for class Meteo ##
2  setGeneric('getG0', function(object){standardGeneric('getG0')})
3
4  ### getG0 ###
5  setMethod('getG0',
6            signature = (object = 'Meteo'),
7            definition = function(object){
8                result <- getData(object)
9                return(result$G0)
10           })
```

Extracto de código A.46: *getG0*

A.4.8. getLat

```
1  ## extracts the latitude from the objects ##
2  setGeneric('getLat', function(object, units = 'rad')
3  {standardGeneric('getLat')})
4
5  ## extracts the latitude from the objects ##
6  setGeneric('getLat', function(object, units = 'rad')
7  {standardGeneric('getLat')})
8
9  setMethod('getLat',
10           signature = (object = 'Meteo'),
11           definition = function(object, units = 'rad'){
12               stopifnot(units %in% c('deg', 'rad'))
```

```
13              result = switch(units,
14                              rad = d2r(object@latm),
15                              deg = object@latm)
16              return(result)
17          })
```

Extracto de código A.47: *getLat*

A.4.9. indexD

```
1  ## extract the index of the daily data ##
2  setGeneric('indexD', function(object){standardGeneric('indexD')})
3  ### indexD ###
4  setMethod('indexD',
5            signature = (object = 'Sol'),
6            definition = function(object){as.POSIXct(object@solD$Dates)
7            })
8
9  setMethod('indexD',
10           signature = (object = 'Meteo'),
11           definition = function(object){as.POSIXct(getData(object)$Dates)})
```

Extracto de código A.48: *indexD*

A.4.10. indexI

```
1  ## extract the index of the intradaily data ##
2  setGeneric('indexI', function(object){standardGeneric('indexI')})
3  ### indexI ###
4  setMethod('indexI',
5            signature = (object = 'Sol'),
6            definition = function(object){as.POSIXct(object@solI$Dates)
7            })
```

Extracto de código A.49: *indexI*

A.4.11. levelplot

```
1  setGeneric('levelplot')
2
3  setMethod('levelplot',
4            signature=c(x='formula', data='Meteo'),
5            definition=function(x, data,
6                                par.settings = solaR.theme,
7                                panel = panel.levelplot.raster, interpolate = TRUE
       ,
8                                xscale.components = xscale.solar,
9                                yscale.components = yscale.solar,
10                               ...){
11               data0=getData(data)
12               ind=data0$Dates
13               data0$day=doy(ind)
14               data0$month=month(ind)
15               data0$year=year(ind)
16               data0$w=h2r(hms(ind)-12)
17               levelplot(x, data0,
18                         par.settings = par.settings,
19                         xscale.components = xscale.components,
```

```
                        yscale.components = yscale.components,
                        panel = panel, interpolate = interpolate,
                        ...)
          }
          )

setMethod('levelplot',
          signature=c(x='formula', data='Sol'),
          definition=function(x, data,
                              par.settings = solaR.theme,
                              panel = panel.levelplot.raster, interpolate = TRUE
    ,
                              xscale.components = xscale.solar,
                              yscale.components = yscale.solar,
                              ...){
              data0=as.data.tableI(data, complete=TRUE, day=TRUE)
              ind=data0$Dates
              data0$day=doy(ind)
              data0$month=month(ind)
              data0$year=year(ind)
              levelplot(x, data0,
                        par.settings = par.settings,
                        xscale.components = xscale.components,
                        yscale.components = yscale.components,
                        panel = panel, interpolate = interpolate,
                        ...)
          }
          )

setMethod('levelplot',
          signature=c(x='formula', data='G0'),
          definition=function(x, data,
                              par.settings = solaR.theme,
                              panel = panel.levelplot.raster, interpolate = TRUE
    ,
                              xscale.components = xscale.solar,
                              yscale.components = yscale.solar,
                              ...){
              data0=as.data.tableI(data, complete=TRUE, day=TRUE)
              ind=data0$Dates
              data0$day=doy(ind)
              data0$month=month(ind)
              data0$year=year(ind)
              levelplot(x, data0,
                        par.settings = par.settings,
                        xscale.components = xscale.components,
                        yscale.components = yscale.components,
                        panel = panel, interpolate = interpolate,
                        ...)
          }
          )
```

Extracto de código A.50: *levelplot*

A.4.12. losses

```
utils::globalVariables(c('Vmpp', 'Impp', 'Pdc', 'EffI', 'V1'))

```

```
setGeneric('losses', function(object){standardGeneric('losses')})

setMethod('losses',
          signature=(object='Gef'),
          definition=function(object){
            dat <- as.data.tableY(object, complete=TRUE)
            isShd=('Gef0d' %in% names(dat)) ##is there shadows?
            if (isShd) {
              shd <- with(dat, mean(1-Gefd/Gef0d))
              eff <- with(dat, mean(1-Gef0d/Gd))
            } else {
              shd <- 0
              eff <- with(dat, mean(1-Gefd/Gd))
            }
            result <- data.table(Shadows = shd, AoI = eff)
            result <- melt(result, measure.vars = names(result),
                           variable.name = 'id')
          }
          )

setMethod('losses',
          signature=(object='ProdGCPV'),
          definition=function(object){
              datY <- as.data.tableY(object, complete=TRUE)
              module0=object@module
              module0$CoefVT=0 ##No losses with temperature
              Pg=object@generator$Pg
              datI <- as.data.tableI(object, complete=TRUE)
              if (object@type=='prom'){
                  YfDC0 <- datI[, P2E(Vmpp*Impp, object@sample),
                                by = .(month(Dates), year(Dates))]
                  YfDC0 <- YfDC0[, V1 := V1/Pg*DOM(YfDC0)]
                  YfDC0 <- sum(YfDC0$V1)
                  YfAC0 <- datI[, P2E(Pdc*EffI, object@sample),
                                by = .(month(Dates), year(Dates))]
                  YfAC0 <- YfAC0[, V1 := V1/Pg*DOM(YfAC0)]
                  YfAC0 <- sum(YfAC0$V1)
              } else {
                  YfDC0 <- datI[, P2E(Vmpp*Impp, object@sample),
                                by = year(Dates)]
                  YfDC0 <- YfDC0[, V1 := V1/Pg]
                  YfDC0 <- sum(YfDC0$V1)
                  YfAC0 <- datI[, P2E(Pdc*EffI, object@sample),
                                by = year(Dates)]
                  YfAC0 <- YfAC0[, V1 := V1/Pg]
                  YfAC0 <- sum(YfAC0$V1)
              }
              gen <- mean(1-YfDC0/datY$Gefd)
              YfDC <- datY$Edc/Pg*1000
              DC=mean(1-YfDC/YfDC0)
              inv=mean(1-YfAC0/YfDC)
              AC=mean(1-datY$Yf/YfAC0)
              result0 <- losses(as(object, 'Gef'))
              result1 <- data.table(Generator = gen,
                                    DC = DC,
                                    Inverter = inv,
                                    AC = AC)
              result1 <- melt(result1, measure.vars = names(result1),
```

```
                                variable.name = 'id')
            result <- rbind(result0, result1)
            result
          }
          )

###compareLosses

## compareLosses,ProdGCPV: no visible binding for global variable ‘name'
if(getRversion() >= "2.15.1") globalVariables(c('name'))

setGeneric('compareLosses', signature='...', function(...){standardGeneric('
    compareLosses')})

setMethod('compareLosses', 'ProdGCPV',
          definition=function(...){
            dots <- list(...)
            nms0 <- substitute(list(...))
            if (!is.null(names(nms0))){ ##do.call
              nms <- names(nms0[-1])
            } else {
              nms <- as.character(nms0[-1])
            }
            foo <- function(object, label){
              yY <- losses(object)
              yY <- cbind(yY, name=label)
              yY
            }
            cdata <- mapply(FUN=foo, dots, nms, SIMPLIFY=FALSE)
            z <- do.call(rbind, cdata)
            z$id <- ordered(z$id, levels=c('Shadows', 'AoI', 'Generator',
                                           'DC', 'Inverter', 'AC'))
            p <- dotplot(id~value*100, groups=name, data=z,
                         par.settings=solaR.theme, type='b',
                         auto.key=list(corner=c(0.95,0.2), cex=0.7), xlab='
    Losses (%)')
            print(p)
            return(z)
          }
          )
```

Extracto de código A.51: *losses*

A.4.13. mergeSolar

```
setGeneric('mergesolaR', signature='...', function(...){standardGeneric('
    mergesolaR')})

fooMeteo <- function(object, var){yY <- getData(object)[, .SD,
                                                         by = Dates,
                                                         .SDcols = var]}

fooG0 <- function(object, var){yY <- as.data.tableD(object)[, .SD,
                                                            by = Dates,
                                                            .SDcols = var]}

mergeFunction <- function(..., foo, var){
    dots <- list(...)
```

```
    dots <- lapply(dots, as, class(dots[[1]])) ##the first element is the one
    that dictates the class to everyone
    nms0 <- substitute(list(...))
    if (!is.null(names(nms0))){ ##do.call
        nms <- names(nms0[-1])
    } else {
        nms <- as.character(nms0[-1])
    }
    cdata <- sapply(dots, FUN=foo, var, simplify=FALSE)
    z <- cdata[[1]]
    for (i in 2:length(cdata)){
        z <- merge(z, cdata[[i]], by = 'Dates', suffixes = c("", paste0('.', i))
    )
    }
    names(z)[-1] <- nms
    z
}

setMethod('mergesolaR',
          signature='Meteo',
          definition=function(...){
            res <- mergeFunction(..., foo=fooMeteo, var='G0')
            res
          }
          )

setMethod('mergesolaR',
          signature='G0',
          definition=function(...){
            res <- mergeFunction(..., foo=fooG0, var='G0d')
            res
          }
          )

setMethod('mergesolaR',
          signature='Gef',
          definition=function(...){
            res <- mergeFunction(..., foo=fooG0, var='Gefd')
            res
          }
          )

setMethod('mergesolaR',
          signature='ProdGCPV',
          definition=function(...){
            res <- mergeFunction(..., foo=fooG0, var='Yf')
            res
          }
          )

setMethod('mergesolaR',
          signature='ProdPVPS',
          definition=function(...){
            res <- mergeFunction(..., foo=fooG0, var='Yf')
            res
          }
          )
```

Extracto de código A.52: *mergeSolaR*

A.4.14. shadeplot

```
setGeneric('shadeplot', function(x, ...)standardGeneric('shadeplot'))

setMethod('shadeplot', signature(x='Shade'),
          function(x,
                   main='',
                   xlab=expression(L[ew]),
                   ylab=expression(L[ns]),
                   n=9, ...){
              red=x@distances
              FS.loess=x@FS.loess
              Yf.loess=x@Yf.loess
              struct=x@struct
              mode=x@modeTrk
              if (mode=='two'){
                  Lew=seq(min(red$Lew),max(red$Lew),length=100)
                  Lns=seq(min(red$Lns),max(red$Lns),length=100)
                  Red=expand.grid(Lew=Lew,Lns=Lns)
                  FS=predict(FS.loess,Red)
                  Red$FS=as.numeric(FS)
                  AreaG=with(struct,L*W)
                  GRR=Red$Lew*Red$Lns/AreaG
                  Red$GRR=GRR
                  FS.m<-matrix(1-FS,
                               nrow=length(Lew),
                               ncol=length(Lns))
                  GRR.m<-matrix(GRR,
                                nrow=length(Lew),
                                ncol=length(Lns))
                  niveles=signif(seq(min(FS.m),max(FS.m),l=n+1),3)
                  pruebaCB<-("RColorBrewer" %in% .packages())
                  if (pruebaCB) {
                      paleta=rev(brewer.pal(n, 'YlOrRd'))
                  } else {
                      paleta=rev(heat.colors(n))}
                  par(mar=c(4.1,4.1,2.1,2.1))
                  filled.contour(x=Lew,y=Lns,z=FS.m,#...,
                                 col=paleta, #levels=niveles,
                                 nlevels=n,
                                 plot.title=title(xlab=xlab,
                                                  ylab=ylab, main=main),
                                 plot.axes={
                                     axis(1);axis(2);
                                     contour(Lew, Lns, FS.m,
                                             nlevels=n, #levels=niveles,
                                             col="black", labcex=.8,  add=TRUE)
                                     contour(Lew, Lns, GRR.m,
                                             col="black", lty=3, labcex=.8, add=
    TRUE)
                                     grid(col="white",lty=3)},
                                 key.title=title("1-FS",cex.main=.8))
              }
              if (mode=='horiz') {
                  Lew=seq(min(red$Lew),max(red$Lew),length=100)
```

```
                    FS=predict(FS.loess,Lew)
                    GRR=Lew/struct$L
                    plot(GRR,1-FS,main=main,type='l',...)
                    grid()    }
                if (mode=='fixed'){
                    D=seq(min(red$D),max(red$D),length=100)
                    FS=predict(FS.loess,D)
                    GRR=D/struct$L
                    plot(GRR,1-FS,main=main,type='l',...)
                    grid()    }
            }
            )
```

Extracto de código A.53: *shadeplot*

A.4.15. window

```
setMethod('[',
          signature='Meteo',
          definition=function(x, i, j,...){
            if (!missing(i)) {
              i <- truncDay(i)
            } else {
              i <- indexD(x)[1]
            }
            if (!missing(j)) {
              j <- truncDay(j)+86400-1 ##The end is the last second of the day
            } else {
              nDays <- length(indexD(x))
              j <- indexD(x)[nDays]+86400-1
            }
            stopifnot(j>i)
            if (!is.null(i)) i <- truncDay(i)
            if (!is.null(j)) j <- truncDay(j)+86400-1
            d <- indexD(x)
            x@data <- x@data[(d >= i & d <= j)]
            x
          }
          )


setMethod('[',
          signature='Sol',
          definition=function(x, i, j, ...){
              if (!missing(i)) {
                  i <- truncDay(i)
              } else {
                  i <- indexD(x)[1]
              }
              if (!missing(j)) {
                  j <- truncDay(j)+86400-1##The end is the last second of the
    day
              } else {
                  nDays <- length(indexD(x))
                  j <- indexD(x)[nDays]+86400-1
              }
              stopifnot(j>i)
              if(!is.null(i)) i <- truncDay(i)
```

```
41              if(!is.null(j)) j <- truncDay(j)
42              d1 <- indexD(x)
43              d2 <- indexI(x)
44              x@solD <- x@solD[(d1 >= i & d1 <= j)]
45              x@solI <- x@solI[(d2 >= i & d2 <= j)]
46              x
47          }
48          )
49
50  setMethod('[',
51            signature='G0',
52            definition=function(x, i, j, ...){
53              sol <- as(x, 'Sol')[i=i, j=j, ...] ##Sol method
54              meteo <- as(x, 'Meteo')[i=i, j=j, ...] ##Meteo method
55              i <- indexI(sol)[1]
56              j <- indexI(sol)[length(indexI(sol))]
57              d1 <- indexD(x)
58              d2 <- indexI(x)
59              G0Iw <- x@G0I[(d2 >= i & d2 <= j)]
60              Taw <- x@Ta[(d2 >= i & d2 <= j)]
61              G0dw <- x@G0D[(d1 >= truncDay(i) & d1 <= truncDay(j))]
62              G0dmw <- G0dw[, lapply(.SD/1000, mean, na.rm= TRUE),
63                            .SDcols = c('G0d', 'D0d', 'B0d'),
64                            by = .(month(Dates), year(Dates))]
65              if (x@type=='prom'){
66                  G0dmw[, DayOfMonth := DOM(G0dmw)]
67                  G0yw <- G0dmw[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
68                                .SDcols = c('G0d', 'D0d', 'B0d'),
69                                by = .(Dates = year)]
70                  G0dmw[, DayOfMonth := NULL]
71              } else {
72                  G0yw <- G0dw[, lapply(.SD/1000, sum, na.rm = TRUE),
73                               .SDcols = c('G0d', 'D0d', 'B0d'),
74                               by = .(Dates = year(unique(truncDay(Dates))))]
75              }
76              G0dmw[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
77              G0dmw[, c('month', 'year') := NULL]
78              setcolorder(G0dmw, 'Dates')
79              result <- new('G0',
80                            meteo,
81                            sol,
82                            G0D=G0dw,
83                            G0dm=G0dmw,
84                            G0y=G0yw,
85                            G0I=G0Iw,
86                            Ta=Taw)
87              result
88            }
89            )
90
91
92  setMethod('[',
93            signature='Gef',
94            definition=function(x, i, j, ...){
95              g0 <- as(x, 'G0')[i=i, j=j, ...] ##G0 method
96              i <- indexI(g0)[1]
97              j <- indexI(g0)[length(indexI(g0))]
98              d1 <- indexD(x)
```

```
99                d2 <- indexI(x)
100               GefIw <- x@GefI[(d2 >= i & d2 <= j)]
101               Thetaw <- x@Theta[(d2 >= i & d2 <= j)]
102               Gefdw <- x@GefD[(d1 >= truncDay(i) & d1 <= truncDay(j))]
103               nms <- c('Bod', 'Bnd', 'Gd', 'Dd',
104                        'Bd', 'Gefd', 'Defd', 'Befd')
105               Gefdmw <- Gefdw[, lapply(.SD/1000, mean, na.rm = TRUE),
106                               .SDcols = nms,
107                              by = .(month(Dates), year(Dates))]
108               if (x@type=='prom'){
109                   Gefdmw[, DayOfMonth:= DOM(Gefdmw)]
110                   Gefyw <- Gefdmw[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum),
111                                   .SDcols = nms,
112                                   by = .(Dates = year)]
113                   Gefdmw[, DayOfMonth := NULL]
114               } else {
115                   Gefyw <- Gefdw[, lapply(.SD/1000, sum, na.rm = TRUE),
116                                  .SDcols = nms,
117                                  by = .(Dates = year(Dates))]
118               }
119               Gefdmw[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
120               Gefdmw[, c('month', 'year') := NULL]
121               setcolorder(Gefdmw, 'Dates')
122               result <- new('Gef',
123                             g0,
124                             GefD=Gefdw,
125                             Gefdm=Gefdmw,
126                             Gefy=Gefyw,
127                             GefI=GefIw,
128                             Theta=Thetaw,
129                             iS=x@iS,
130                             alb=x@alb,
131                             modeTrk=x@modeTrk,
132                             modeShd=x@modeShd,
133                             angGen=x@angGen,
134                             struct=x@struct,
135                             distances=x@distances
136                             )
137               result
138           }
139           )
140
141
142   setMethod('[',
143             signature='ProdGCPV',
144             definition=function(x, i, j, ...){
145                 gef <- as(x, 'Gef')[i=i, j=j, ...] ##Gef method
146                 i <- indexI(gef)[1]
147                 j <- indexI(gef)[length(indexI(gef))]
148                 d1 <- indexD(x)
149                 d2 <- indexI(x)
150                 prodIw <- x@prodI[(d2 >= i & d2 <= j)]
151                 prodDw <- x@prodD[(d1 >= truncDay(i) & d1 <= truncDay(j))]
152                 prodDmw <- prodDw[, lapply(.SD/1000, mean, na.rm = TRUE),
153                                   .SDcols = c('Eac', 'Edc'),
154                                  by = .(month(Dates), year(Dates))]
155                 prodDmw$Yf <- prodDw$Yf
156                 if (x@type=='prom'){
```

```
                    prodDmw[, DayOfMonth := DOM(prodDmw)]
                    prodyw <- prodDmw[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
                                      .SDcols = c('Eac', 'Edc', 'Yf'),
                                      by = .(Dates = year)]
                    prodDmw[, DayOfMonth := NULL]
                } else {
                    prodyw <- prodDw[, lapply(.SD/1000, sum, na.rm = TRUE),
                                     .SDcols = c('Eac', 'Edc', 'Yf'),
                                     by = .(Dates = year(Dates))]
                }
                prodDmw[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
                prodDmw[, c('month', 'year') := NULL]
                setcolorder(prodDmw, c('Dates', names(prodDmw)[-length(prodDmw)]))
                result <- new('ProdGCPV',
                              gef,
                              prodD=prodDw,
                              prodDm=prodDmw,
                              prody=prodyw,
                              prodI=prodIw,
                              module=x@module,
                              generator=x@generator,
                              inverter=x@inverter,
                              effSys=x@effSys
                              )
                result
            }
            )

setMethod('[',
            signature='ProdPVPS',
            definition=function(x, i, j, ...){
                gef <- as(x, 'Gef')[i=i, j=j, ...] ##Gef method
                i <- indexI(gef)[1]
                j <- indexI(gef)[length(indexI(gef))]
                d1 <- indexD(x)
                d2 <- indexI(x)
                prodIw <- x@prodI[(d2 >= i & d2 <= j)]
                prodDw <- x@prodD[(d1 >= truncDay(i) & d1 <= truncDay(j))]
                prodDmw <- prodDw[, .(Eac = Eac/1000,
                                      Qd = Qd,
                                      Yf = Yf),
                                  by = .(month(Dates), year(Dates))]
                if (x@type=='prom'){
                    prodDmw[, DayOfMonth := DOM(prodDmw)]
                    prodyw <- prodDmw[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
                                      .SDcols = c('Eac', 'Qd', 'Yf'),
                                      by = .(Dates = year)]
                    prodDmw[, DayOfMonth := NULL]
                } else {
                    prodyw <- prodDw[, .(Eac = sum(Eac, na.rm = TRUE)/1000,
                                         Qd = sum(Qd, na.rm = TRUE),
                                         Yf = sum(Yf, na.rm = TRUE)),
                                     by = .(Dates = year(Dates))]
                }
                prodDmw[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
                prodDmw[, c('month', 'year') := NULL]
                setcolorder(prodDmw, c('Dates', names(prodDmw)[-length(prodDmw)]))
                result <- new('ProdPVPS',
```

```
                            gef,
                            prodD=prodDw,
                            prodDm=prodDmw,
                            prody=prodyw,
                            prodI=prodIw,
                            pump=x@pump,
                            H=x@H,
                            Pg=x@Pg,
                            converter=x@converter,
                            effSys=x@effSys
                            )
            result
          }
          )
```

Extracto de código A.54: *window*

A.4.16. writeSolar

```
setGeneric('writeSolar', function(object, file,
                                  complete=FALSE, day=FALSE,
                                  timeScales=c('i', 'd', 'm', 'y'), sep=',',
                                  ...){
    standardGeneric('writeSolar')})

setMethod('writeSolar', signature=(object='Sol'),
          definition=function(object, file, complete=FALSE, day=FALSE,
                              timeScales=c('i', 'd', 'm', 'y'), sep=',', ...){
              name <- strsplit(file, '\\.')[[1]][1]
              ext <- strsplit(file, '\\.')[[1]][2]
              timeScales <- match.arg(timeScales, several.ok=TRUE)
              if ('i' %in% timeScales) {
                  zI <- as.data.tableI(object, complete=complete, day=day)
                  write.table(zI,
                              file=file, sep=sep, row.names = FALSE, ...)
              }
              if ('d' %in% timeScales) {
                  zD <- as.data.tableD(object, complete=complete, day = day)
                  write.table(zD,
                              file=paste(name, 'D', ext, sep='.'),
                              sep=sep, row.names = FALSE, ...)
              }
              if ('m' %in% timeScales) {
                  zM <- as.data.tableM(object, complete=complete, day = day)
                  write.table(zM,
                              file=paste(name, 'M', ext, sep='.'),
                              sep=sep, row.names = FALSE, ...)
              }
              if ('y' %in% timeScales) {
                  zY <- as.data.tableY(object, complete=complete, day = day)
                  write.table(zY,
                              file=paste(name, 'Y', ext, sep='.'),
                              sep=sep, row.names = FALSE, ...)
              }
          })
```

Extracto de código A.55: *writeSolar*

A.4.17. xyplot

```
utils::globalVariables('variable')

#####################################################################
## THEMES
#####################################################################
xscale.solar <- function(...){ans <- xscale.components.default(...); ans$top=
    FALSE; ans}
yscale.solar <- function(...){ans <- yscale.components.default(...); ans$right=
    FALSE; ans}

solaR.theme <- function(pch=19, cex=0.7, region=rev(brewer.pal(9, 'YlOrRd')),
    ...) {
  theme <- custom.theme.2(pch=pch, cex=cex, region=region, ...)
  theme$strip.background$col='transparent'
  theme$strip.shingle$col='transparent'
  theme$strip.border$col='transparent'
  theme
}

solaR.theme.2 <- function(pch=19, cex=0.7, region=rev(brewer.pal(9, 'YlOrRd')),
    ...) {
  theme <- custom.theme.2(pch=pch, cex=cex, region=region, ...)
  theme$strip.background$col='lightgray'
  theme$strip.shingle$col='lightgray'
  theme
}

#####################################################################
## XYPLOT
#####################################################################
setGeneric('xyplot')

setMethod('xyplot',
          signature = c(x = 'data.table', data = 'missing'),
          definition = function(x, data,
                                par.settings = solaR.theme.2,
                                xscale.components=xscale.solar,
                                yscale.components=yscale.solar,
                                scales = list(y = 'free'),
                                ...){
              N <- length(x)-1
              x0 <- x[, lapply(.SD, as.numeric), by = Dates]
              x0 <- melt(x0, id.vars = 'Dates')
              x0$variable <- factor(x0$variable,
                                    levels = rev(levels(factor(x0$variable))))
              xyplot(value ~ Dates | variable, x0,
                     par.settings = par.settings,
                     xscale.components = xscale.components,
                     yscale.components = yscale.components,
                     scales = scales,
                     type = 'l', layout = c(1,N),
                     ...)
          })

setMethod('xyplot',
          signature=c(x='formula', data='Meteo'),
          definition=function(x, data,
```

```
                              par.settings=solaR.theme,
                              xscale.components=xscale.solar,
                              yscale.components=yscale.solar,
                              ...){
            data0=getData(data)
            xyplot(x, data0,
                   par.settings = par.settings,
                   xscale.components = xscale.components,
                   yscale.components = yscale.components,
                   strip = strip.custom(strip.levels=c(TRUE, TRUE)), ...)
          }
          )

setMethod('xyplot',
          signature=c(x='formula', data='Sol'),
          definition=function(x, data,
                              par.settings=solaR.theme,
                              xscale.components=xscale.solar,
                              yscale.components=yscale.solar,
                              ...){
              data0=as.data.tableI(data, complete=TRUE, day=TRUE)
              data0[, w := h2r(hms(Dates)-12)]
              xyplot(x, data0,
                     par.settings = par.settings,
                     xscale.components = xscale.components,
                     yscale.components = yscale.components,
                     strip = strip.custom(strip.levels=c(TRUE, TRUE)), ...)
          }
          )

setMethod('xyplot',
          signature=c(x='formula', data='G0'),
          definition=function(x, data,
                              par.settings=solaR.theme,
                              xscale.components=xscale.solar,
                              yscale.components=yscale.solar,
                              ...){
            data0=as.data.tableI(data, complete=TRUE, day=TRUE)
            xyplot(x, data0,
                   par.settings = par.settings,
                   xscale.components = xscale.components,
                   yscale.components = yscale.components,
                   strip = strip.custom(strip.levels=c(TRUE, TRUE)), ...)
          }
          )

setMethod('xyplot',
          signature=c(x='formula', data='Shade'),
          definition=function(x, data,
                              par.settings=solaR.theme,
                              xscale.components=xscale.solar,
                              yscale.components=yscale.solar,
                              ...){
            data0=as.data.table(data)
            xyplot(x, data0,
                   par.settings = par.settings,
                   xscale.components = xscale.components,
                   yscale.components = yscale.components,
```

```
                    strip = strip.custom(strip.levels=c(TRUE, TRUE)), ...)
          }
          )

setMethod('xyplot',
          signature=c(x='Meteo', data='missing'),
          definition=function(x, data,
                              ...){
              x0=getData(x)
              xyplot(x0,
                     scales=list(cex=0.6, rot=0, y='free'),
                     strip=FALSE, strip.left=TRUE,
                     par.strip.text=list(cex=0.6),
                     ylab = '',
                     ...)
          }
          )

setMethod('xyplot',
          signature=c(x='G0', data='missing'),
          definition=function(x, data, ...){
              x0 <- as.data.tableD(x, complete=FALSE)
              x0 <- melt(x0, id.vars = 'Dates')
              xyplot(value~Dates, x0, groups = variable,
                     par.settings=solaR.theme.2,
                     xscale.components=xscale.solar,
                     yscale.components=yscale.solar,
                     superpose=TRUE,
                     auto.key=list(space='right'),
                     ylab='Wh/m\u00b2',
                     type = 'l',
                     ...)
          }
          )

setMethod('xyplot',
          signature=c(x='ProdGCPV', data='missing'),
          definition=function(x, data, ...){
              x0 <- as.data.tableD(x, complete=FALSE)
              xyplot(x0,
                     strip = FALSE, strip.left = TRUE,
                     ylab = '', ...)
          }
          )

setMethod('xyplot',
          signature=c(x='ProdPVPS', data='missing'),
          definition=function(x, data, ...){
              x0 <- as.data.tableD(x, complete=FALSE)
              xyplot(x0,
                     strip = FALSE, strip.left = TRUE,
                     ylab = '', ...)
          }
          )
```

Extracto de código A.56: *xyplot*

A.5. Conjunto de datos

A.5.1. aguiar

```
data(MTM)
Ktlim
```

Extracto de código A.57: *aguiar*$_1$

```
     [,1]  [,2]  [,3]  [,4]  [,5]  [,6]  [,7]  [,8]  [,9] [,10]
[1,] 0.031 0.058 0.051 0.052 0.028 0.053 0.044 0.085 0.010 0.319
[2,] 0.705 0.694 0.753 0.753 0.807 0.856 0.818 0.846 0.842 0.865
```

```
Ktmtm
```

Extracto de código A.58: *aguiar*$_2$

```
[1] 0.30 0.35 0.40 0.45 0.50 0.55 0.60 0.65 0.70 1.00
```

```
head(MTM)
```

Extracto de código A.59: *aguiar*$_3$

```
     V1    V2    V3    V4    V5    V6    V7    V8    V9 V10
1 0.229 0.333 0.208 0.042 0.083 0.042 0.042 0.021 0.000   0
2 0.167 0.319 0.194 0.139 0.097 0.028 0.042 0.000 0.014   0
3 0.250 0.250 0.091 0.136 0.091 0.046 0.046 0.023 0.068   0
4 0.158 0.237 0.158 0.263 0.026 0.053 0.079 0.026 0.000   0
5 0.211 0.053 0.211 0.158 0.053 0.053 0.158 0.105 0.000   0
6 0.125 0.125 0.250 0.188 0.063 0.125 0.000 0.125 0.000   0
```

A.5.2. SIAR

```
data(SIAR)
head(est_SIAR)
```

Extracto de código A.60: *SIAR*

```
        Estacion Codigo     Longitud  Latitud Altitud Fecha_Instalacion Fecha_Baja
          <char> <char>        <num>    <num>   <int>            <Date>     <Date>
1:       Villena    A01 -0.884444444 38.67639     519        1999-11-09 2000-03-19
2: Camp de Mirra    A02 -0.772777778 38.67917     589        1999-11-09       <NA>
3:   Vila Joiosa    A03 -0.256111111 38.52778      73        1999-11-10       <NA>
4:        Ondara    A04  0.006388889 38.81833      38        1999-11-10       <NA>
5:    Dénia Gata    A05  0.082500000 38.79250      86        1999-11-15       <NA>
6:        Pinoso    A06 -1.060555556 38.42722     629        1999-11-14       <NA>
```

A.5.3. helios

```
data(helios)
head(helios)
```

Extracto de código A.61: *helios*

```
  yyyy.mm.dd    G.O. TambMax TambMin
1 2009/01/01  980.14   11.77    6.31
2 2009/01/02 1671.80   15.08    7.27
3 2009/01/03  671.02    9.33    6.36
4 2009/01/04 2482.80   11.71    1.11
5 2009/01/05 1178.19    7.33   -1.54
6 2009/01/06 1722.31    7.77   -0.78
```

A.5.4. prodEx

```
data(prodEx)
head(prodEx)
```

Extracto de código A.62: *prodEx*

```
       Dates        1        2        3        4        5        6        7        8        9
      <Date>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>
1: 2007-07-02 8.874982 8.847533 7.173181 8.874982 8.920729 8.975626 8.948177 8.948177 8.948177
2: 2007-07-03 8.710291 8.691992 8.655395 8.710291 8.737740 8.792637 8.774338 8.774338 8.746889
3: 2007-07-04 8.746889 8.737740 8.865832 8.737740 8.765188 8.838384 8.810935 8.792637 8.801786
4: 2007-07-05 8.280266 8.271117 8.408359 8.280266 8.344313 8.380911 8.353462 8.362612 8.316864
5: 2007-07-06 8.399209 8.417508 8.509003 8.435807 8.490704 8.490704 8.499854 8.527302 8.472405
6: 2007-07-07 8.197921 8.170473 8.335163 8.225370 8.243669 8.307715 8.298565 8.280266 8.243669
        10       11       12       13       14       15       16       17       18       19       20
     <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>
1: 8.984775 8.783487 8.865832 8.966476 8.884131 8.774338 8.829234 8.627946 8.911580 8.807886 6.505270
2: 8.801786 8.545601 8.682843 8.774338 8.691992 8.591348 8.646245 8.426658 8.710291 8.563900 3.952569
3: 8.829234 8.545601 8.618797 8.829234 8.719441 8.618797 8.664544 8.426658 8.728590 8.612697 6.331430
4: 8.380911 8.179622 8.271117 8.353462 8.280266 8.207071 8.261968 8.188772 7.950886 8.222320 5.498829
5: 8.509003 8.316864 8.426658 8.490704 8.435807 8.344313 8.408359 8.371761 8.463256 8.332113 6.551017
6: 8.326014 8.152174 8.161323 8.316864 8.234519 8.143024 8.179622 8.170473 8.243669 8.161323 6.669960
        21       22
     <num>    <num>
1: 3.742131 3.980018
2: 4.080662 3.238911
3: 1.363270 1.043039
4: 3.998316 2.461206
5: 5.361587 4.959010
6: 5.215195 4.922413
```

A.5.5. pumpCoef

```
data(pumpCoef)
head(pumpCoef)
```

Extracto de código A.63: *pumpCoef*

```
      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:     2      6   2.6   370 0.01409736 0.018576  -3.6324 -0.32  0.74  0.22 -0.1614 0.5247 0.0694
2:     2      9   2.6   370 0.02114604 0.027864  -5.4486 -0.32  0.74  0.22 -0.1614 0.5247 0.0694
3:     2     13   2.6   550 0.03054428 0.040248  -7.8702 -0.12  0.49  0.27 -0.1614 0.5247 0.0694
```

```
4:     2     18   2.6   750 0.04229208 0.055728 -10.8972 -0.16  0.42  0.47 -0.1614 0.5247 0.0694
5:     2     23   2.6  1100 0.05403988 0.071208 -13.9242 -0.20  0.51  0.42 -0.1614 0.5247 0.0694
6:     2     28   2.6  1500 0.06578768 0.086688 -16.9512 -0.24  0.50  0.49 -0.1614 0.5247 0.0694
```

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, autodocumentado 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. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0038092X9090061G.

[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.

[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. URL: https://doi.org/10.3390/en10060772.

[Uni20] European Union. *NextGenerationEU*. 2020. URL: 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 transción 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.