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, 24 de agosto 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. Este paquete ofrece herramientas avanzadas para investigaciones reproducibles en el campo de la energía solar fotovoltaica, permitiendo tanto la simulación del rendimiento de sistemas conectados a la red como de sistemas de bombeo de agua alimentados por energía solar. **solaR2** incluye una serie de clases, métodos y funciones que abarcan desde el cálculo de la geometría solar y la radiación solar incidente en un generador fotovoltaico hasta la estimación precisa de la productividad final de estos sistemas, desde la irradiación global horizontal diaria e intradía.

El diseño modular y basado en clases **S4** facilita el manejo de series temporales multivariantes y ofrece métodos de visualización avanzados para el análisis del rendimiento en plantas fotovoltaicas a gran escala. Una característica distintiva de **solaR2** es su implementación apoyada en el paquete **data.table**, que optimiza la manipulación de grandes volúmenes de datos, permitiendo un procesamiento más rápido y eficiente de las series temporales. Esto es fundamental para un análisis detallado y continuo de los datos solares.

Entre sus funcionalidades más destacadas se encuentran el cálculo de la radiación solar en diferentes planos, la estimación del rendimiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red y de sistemas de bombeo, así como la evaluación y optimización de sombras en los sistemas. Además, el paquete incluye herramientas avanzadas para la visualización estadística del rendimiento, permitiendo analizar tanto series temporales como realizar análisis espaciales en combinación con otros paquetes de R. **solaR2** es particularmente útil para investigadores y profesionales involucrados en el diseño, evaluación y optimización de sistemas fotovoltaicos, proporcionando un análisis detallado de su rendimiento bajo diversas condiciones de irradiación y temperatura, lo que es esencial para maximizar la eficiencia energética y la rentabilidad de las instalaciones solares.

Además, el paquete es compatible con otras bibliotecas de **R** para la manipulación de series temporales y la visualización de datos, lo que garantiza la precisión en los cálculos temporales y la integración con datos geoespaciales. En resumen, la creación de **solaR2** representa una contribución significativa al campo de la energía fotovoltaica, proporcionando una herramienta flexible, reproducible y de fácil uso para el análisis y simulación de sistemas solares. Este TFG no solo detalla el desarrollo técnico del paquete, sino que también presenta aplicaciones prácticas y estudios de caso que demuestran su utilidad en escenarios reales, subrayando su capacidad para mejorar la productividad y eficiencia de los sistemas fotovoltaicos mediante un análisis exhaustivo de la radiación solar y las condiciones ambientales.

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, named **solaR2**, designed to estimate the productivity of photovoltaic systems based on solar irradiation data. This package offers advanced tools for reproducible research in the field of photovoltaic solar energy, allowing both the simulation of the performance of grid-connected systems and water pumping systems powered by solar energy. **solaR2** includes a series of classes, methods, and functions that cover everything from the calculation of solar geometry and the solar radiation incident on a photovoltaic generator to the precise estimation of the final productivity of these systems, from daily and intraday global horizontal irradiation.

The modular and class-based **S4** design facilitates the handling of multivariate time series and offers advanced visualization methods for performance analysis in large-scale photovoltaic plants. A distinctive feature of **solaR2** is its implementation supported by the **data.table** package, which optimizes the handling of large volumes of data, allowing faster and more efficient processing of time series. This is essential for detailed and continuous analysis of solar data.

Among its most notable functionalities are the calculation of solar radiation on different planes, the estimation of the performance of grid-connected photovoltaic systems and pumping systems, as well as the evaluation and optimization of shading in the systems. Additionally, the package includes advanced tools for statistical performance visualization, allowing the analysis of both time series and spatial analysis in combination with other R packages. **solaR2** is particularly useful for researchers and professionals involved in the design, evaluation, and optimization of photovoltaic systems, providing a detailed analysis of their performance under various irradiation and temperature conditions, which is essential to maximize energy efficiency and the profitability of solar installations.

Furthermore, the package is compatible with other **R** libraries for time series manipulation and data visualization, ensuring accuracy in temporal calculations and integration with geospatial data. In summary, the creation of **solaR2** represents a significant contribution to the field of photovoltaic energy, providing a flexible, reproducible, and easy-to-use tool for the analysis and simulation of solar systems. This final degree project not only details the technical development of the package but also presents practical applications and case studies that demonstrate its usefulness in real scenarios, highlighting its ability to improve the productivity and efficiency of photovoltaic systems through comprehensive analysis of solar radiation and environmental conditions.

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
AM	Masa de aire
AO	Adelanto oficial durante el horario de verano
B_0	Irradiancia extra-atmosférica o extra-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
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 posible generación de una instalación fotovoltaica.

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 podrá 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 eficaz 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 2012. Por la antigüedad del código 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 alojados 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 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**
   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**
   Herramienta web diseañda por el **Grupo de Sistemas Fotovoltaicos del Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid**.

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

4. **System Advisor Model**
   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.

UNEF promueve la transformación industrial para que España se convierta en un hub industrial fotovoltaico. Se destaca la necesidad de proteger la industria existente, garantizar un crecimiento constante de la capacidad y ofrecer condiciones de financiamiento favorables. Además se propone implementar una Estrategia Industrial Fotovoltaica para contribuir significativamente a la reindustralización de la economía, aprovechando las medidas del REPower Plan, la Estrategia Solar y la Alianza de al Industria Solar Fotovoltaica.

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.

[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.

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 cúal 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 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.
- **Interoperabilidad**: **solaR** está algo limitado en términos de integración con otras tecnologías de datos modernas debido a su dependencia en **zoo**. En cambio, **data.table** es ampliamente compatible y se integra de manera más fluida con otros paqeutes y herramientas en el ecosistema de R, facilitando la interoperabilidad y la contrucción de pipilines de datos más complejos.
- **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. Obtener la irradiación global diaria en el plano horizontal
2. A partir de la irradiación global, obtener las componentes de difusa y directa.
3. Se trasladan estos valores de irradición a valores de irradiancia.
4. Con estos valores se pueden obtener los valores correspondientes en el plano del generador
   a) Sin los efectos de la suciedad de los modulos y las sombras que se generan unos con otros.
   b) Con estos efectos
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: porción de radiación que procede en línea recta desde el Sol.

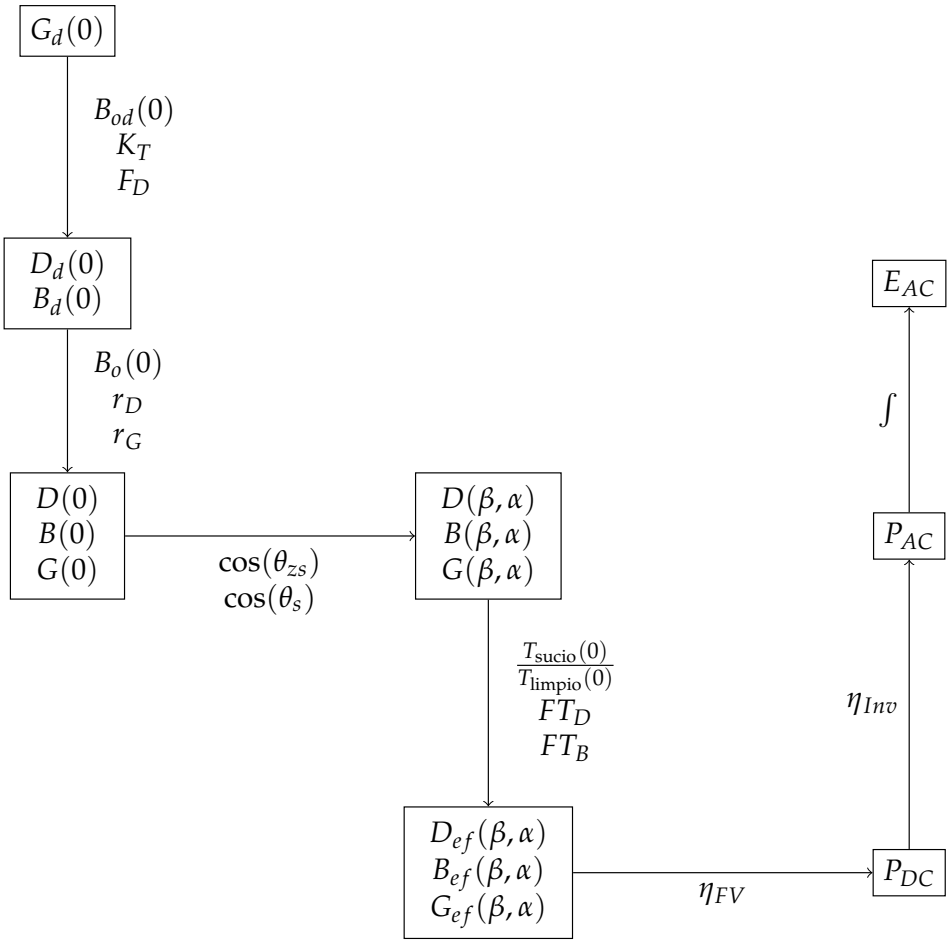

Figura 3.1: *Procedimiento de cálculo*

- **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.

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 plenta 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 facot 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: $\delta = 23,45° \cdot sin(\frac{2\pi \cdot (d_n + 284)}{365})$
  - 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)

[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.

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

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 irradición 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 geometríasolar (ángulo zenital) y del generador (ángulo de incidencia).

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

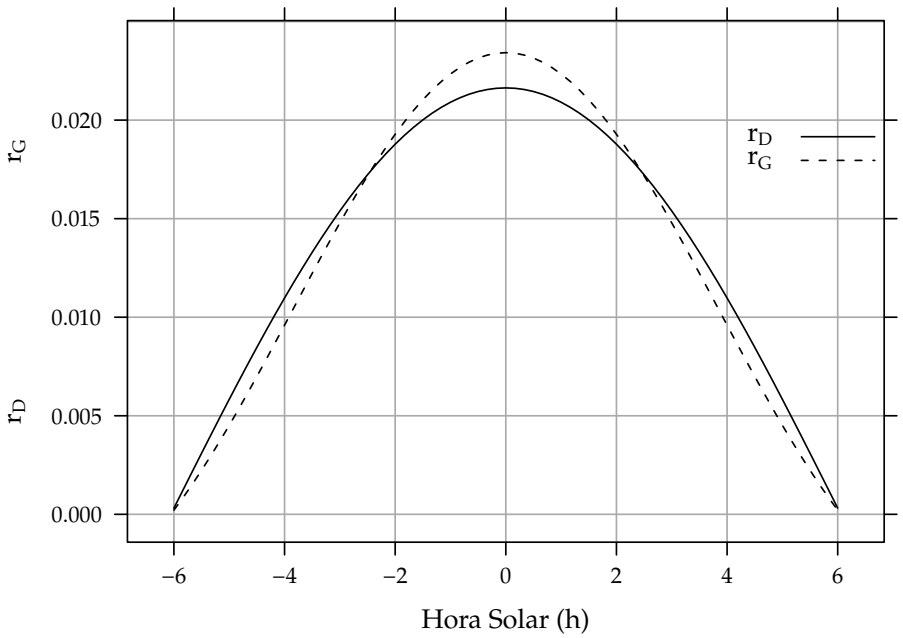

FIGURA 3.2: *Perfil de irradiancia difusa y global obtenido a partir del generador empírico de [CR79] para valores de irradiancia tomadas cada 10 minutos*

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

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

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

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

  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:

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

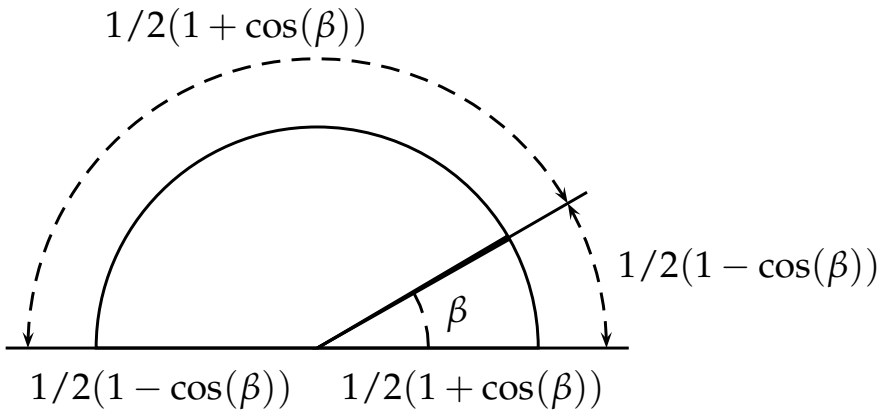

Figura 3.3: *Ángulo de visión del cielo*

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

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

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:

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

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

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)

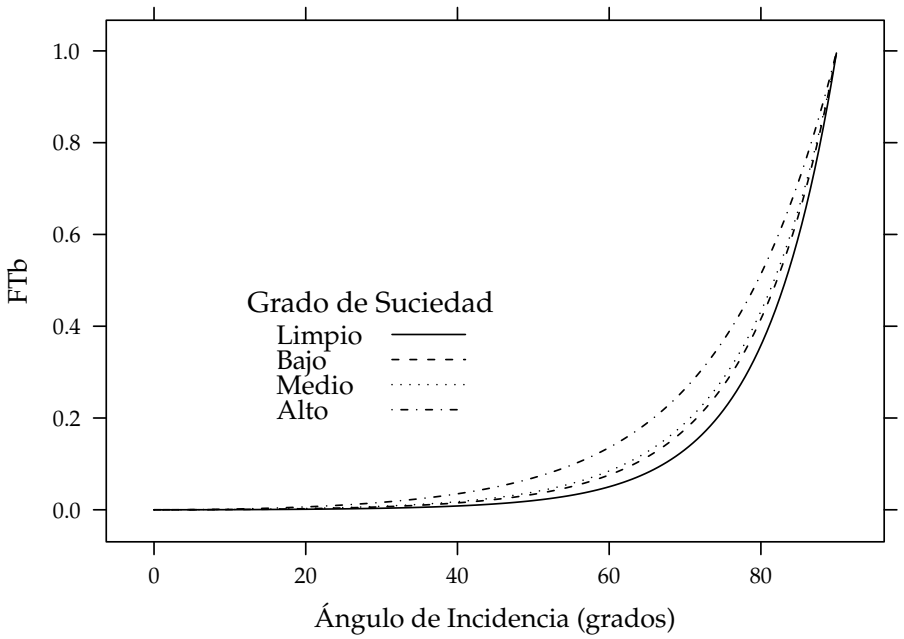

FIGURA 3.4: *Pérdidas angulares de un módulo fotovoltaico para diferentes grados de suciedad en función del ángulo de incidencia.*

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

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):

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

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

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

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).

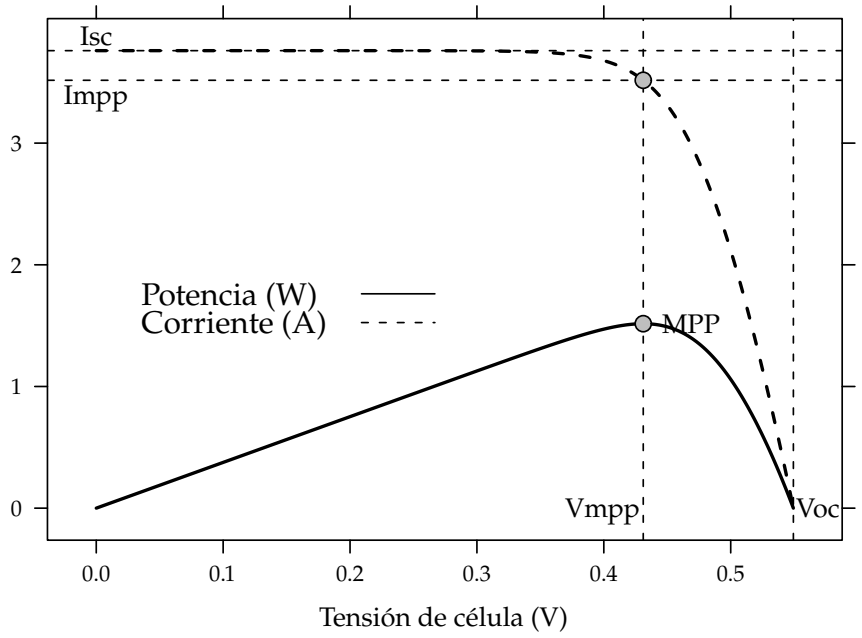

FIGURA 3.5: *Curvas corriente-tensión(línea discontinua) y potencia-tensión(línea continua) de una célula solar ($T_a = 20°C$ y $G = 800W/m^2$)*

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:

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

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 $\frac{d\eta}{dT_c} = -0,4\,\%/°C$.

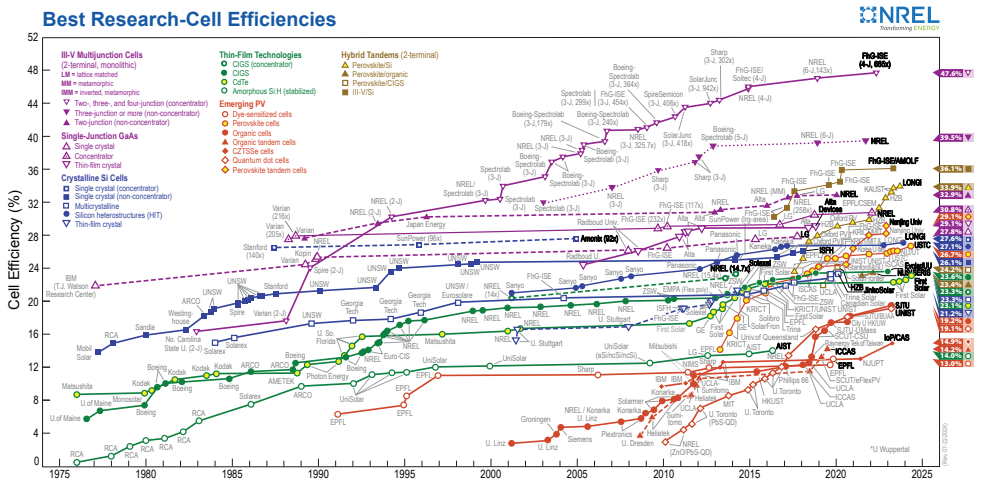

Figura 3.6: *Evolución de la eficiencia de células según la tecnología (según el National Renewable Energy Laboratory [Nat24] (EEUU)).*

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:

- 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

[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.

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.

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), computa 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 <- 40
2 BTd <- fBTd(mode = 'prom')
3 fSolD(lat = lat, BTd = BTd)
4 show(solD)
```

```
Error en h(simpleError(msg, call)):
  error in evaluating the argument 'object' in selecting a method for function 'show': objeto 'solD' no encontrado
```

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

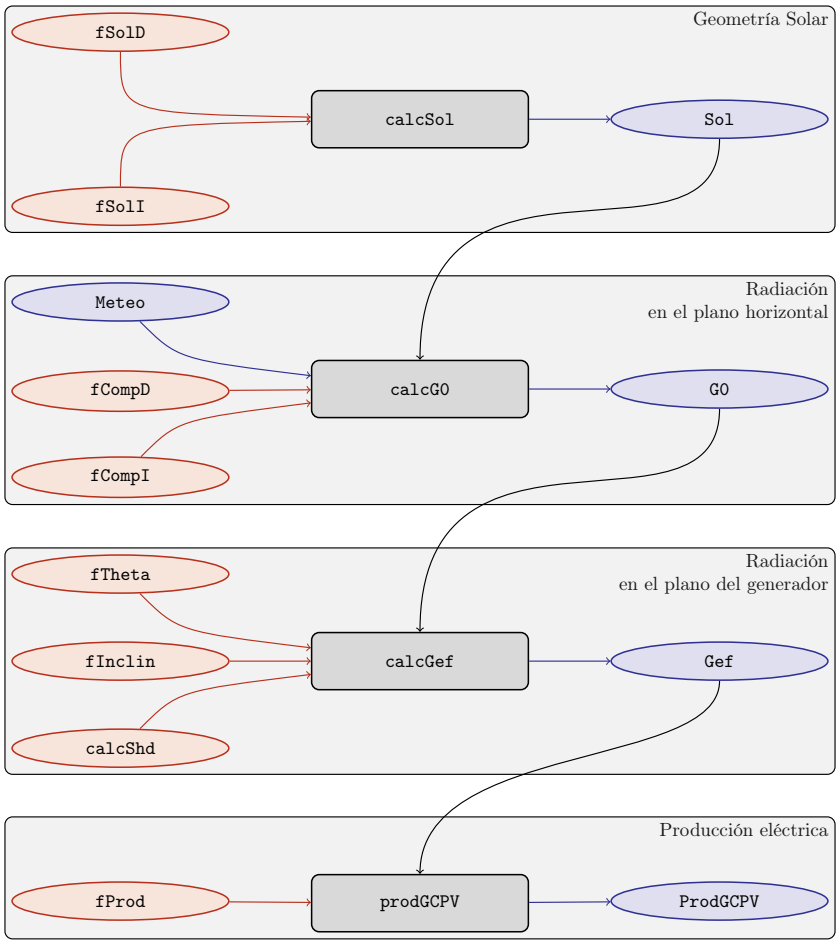

Figura 4.1: *Proceso de cálculo de las funciones de* **`solaR2`**

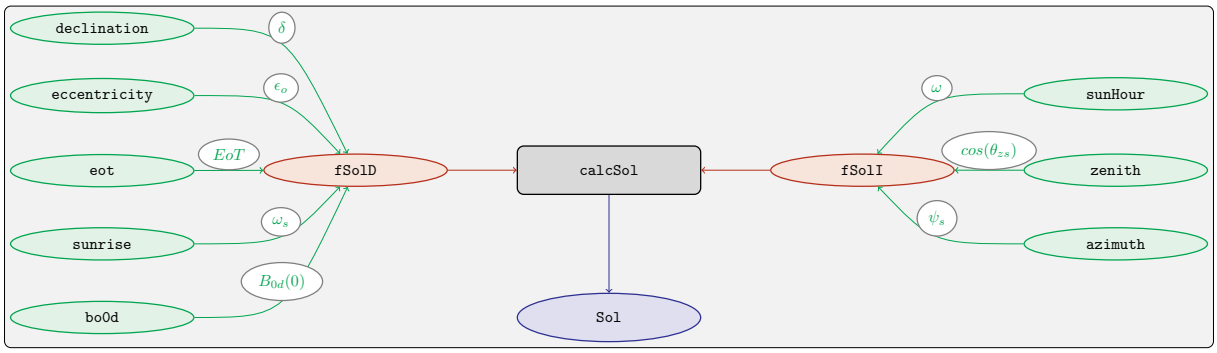

Figura 4.2: *Cálculo de la geometría solar mediante la función* **`calcSol`**, *la cual unifica las funciones* **`fSolD`** *y* **`fSolI`** *resultando en un objeto clase* **`Sol`** *el cual contiene toda la información geométrica necesaria para realizar las siguientes estimaciones.*

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    40 -0.36506987 1.0315970 -0.0455346238 -1.244322  4225.330
 2: 2024-02-14    40 -0.23770977 1.0235842 -0.0614793356 -1.366063  5581.840
 3: 2024-03-15    40 -0.04219743 1.0091112 -0.0368674274 -1.535360  7621.789
 4: 2024-04-15    40  0.17074888 0.9917107  0.0017482721 -1.715990  9677.015
 5: 2024-05-15    40  0.33214647 0.9770196  0.0143055938 -1.864424 11059.743
 6: 2024-06-10    40  0.40292516 0.9690335 -0.0007378952 -1.936560 11599.039
 7: 2024-07-18    40  0.36346384 0.9684861 -0.0263454380 -1.895642 11244.195
 8: 2024-08-18    40  0.21721704 0.9778484 -0.0111761118 -1.757060  9992.309
 9: 2024-09-18    40  0.01056696 0.9933706  0.0342189964 -1.579664  8057.402
10: 2024-10-19    40 -0.19902155 1.0107363  0.0689613044 -1.400739  5932.854
11: 2024-11-18    40 -0.34965673 1.0247443  0.0575423573 -1.259840  4363.600
12: 2024-12-13    40 -0.40651987 1.0315970  0.0158622941 -1.201207  3779.136
```

```
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    40 -0.36483670 1.0340422 -0.0455346238 -1.244559  4237.879
 2: 2024-02-14    40 -0.23199205 1.0259717 -0.0614793356 -1.371241  5657.973
 3: 2024-03-15    40 -0.03563921 1.0107943 -0.0368674274 -1.540874  7704.956
 4: 2024-04-15    40  0.17171286 0.9926547  0.0017482721 -1.716832  9695.800
 5: 2024-05-15    40  0.33007088 0.9775162  0.0143055938 -1.862390 11046.417
 6: 2024-06-10    40  0.40208757 0.9691480 -0.0007378952 -1.935671 11593.079
 7: 2024-07-18    40  0.36657157 0.9675489 -0.0263454380 -1.898797 11260.952
 8: 2024-08-18    40  0.22748717 0.9758022 -0.0111761118 -1.766286 10069.634
 9: 2024-09-18    40  0.03143967 0.9907919  0.0342189964 -1.597189  8253.467
10: 2024-10-19    40 -0.17549393 1.0088406  0.0689613044 -1.421454  6177.523
11: 2024-11-18    40 -0.33679169 1.0245012  0.0575423573 -1.272602  4501.910
12: 2024-12-13    40 -0.40419949 1.0328516  0.0158622941 -1.203679  3808.563
```

```
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    40 -0.36506987 1.0315970 -0.0455346238 -1.244322  4225.330
 2: 2024-02-14    40 -0.23770977 1.0235842 -0.0614793356 -1.366063  5581.840
 3: 2024-03-15    40 -0.04219743 1.0091112 -0.0368674274 -1.535360  7621.789
 4: 2024-04-15    40  0.17074888 0.9917107  0.0017482721 -1.715990  9677.015
 5: 2024-05-15    40  0.33214647 0.9770196  0.0143055938 -1.864424 11059.743
 6: 2024-06-10    40  0.40292516 0.9690335 -0.0007378952 -1.936560 11599.039
 7: 2024-07-18    40  0.36346384 0.9684861 -0.0263454380 -1.895642 11244.195
 8: 2024-08-18    40  0.21721704 0.9778484 -0.0111761118 -1.757060  9992.309
 9: 2024-09-18    40  0.01056696 0.9933706  0.0342189964 -1.579664  8057.402
10: 2024-10-19    40 -0.19902155 1.0107363  0.0689613044 -1.400739  5932.854
11: 2024-11-18    40 -0.34965673 1.0247443  0.0575423573 -1.259840  4363.600
12: 2024-12-13    40 -0.40651987 1.0315970  0.0158622941 -1.201207  3779.136
```

- **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 zenital 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].

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

```
Error: objeto 'solD' no encontrado
Error en h(simpleError(msg, call)):
  error in evaluating the argument 'object' in selecting a method for function 'show': objeto 'solI' no encontrado
```

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)
```

```
Error: objeto 'solD' no encontrado
Error en h(simpleError(msg, call)):
  error in evaluating the argument 'object' in selecting a method for function 'show': objeto 'solI_nigth' no encontrado
```

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 sumario de ambos elementos junto con la latitud de los cálculos.

```
sol <- calcSol(lat = lat, BTd = BTd, sample = 'hour')
print(sol)
```

```
Object of class Sol

Latitude:  40 degrees

Daily values:
     Dates                decl                 eo                EoT                  ws
 Min.   :2024-01-17   Min.   :-0.404783   Min.   :0.9675   Min.   :-0.0614793   Min.   :-1.936
 1st Qu.:2024-04-07   1st Qu.:-0.256032   1st Qu.:0.9771   1st Qu.:-0.0289759   1st Qu.:-1.789
 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.:-1.348
 Max.   :2024-12-13   Max.   : 0.402578   Max.   :1.0340   Max.   : 0.0689613   Max.   :-1.203
      Bo0d
 Min.   : 3802
 1st Qu.: 5393
```

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

```
 Median : 7978
 Mean   : 7834
 3rd Qu.:10295
 Max.   :11597

Intradaily values:
     Dates                         w                 night           cosThzS
 Min.   :2024-01-17 00:00:00   Min.   :-3.1393050   Mode :logical   Min.   :-0.957052
 1st Qu.:2024-04-07 11:45:00   1st Qu.:-1.5692285   FALSE:145       1st Qu.:-0.469842
 Median :2024-06-29 11:30:00   Median : 0.0010871   TRUE :143       Median : 0.005586
 Mean   :2024-07-01 15:30:00   Mean   : 0.0009975                   Mean   :-0.001012
 3rd Qu.:2024-09-26 11:15:00   3rd Qu.: 1.5716412                   3rd Qu.: 0.472405
 Max.   :2024-12-13 23:00:00   Max.   : 3.1413972                   Max.   : 0.956640
      AlS                AzS                 Bo0
 Min.   :-1.276658   Min.   :-3.139232   Min.   :   0.000
 1st Qu.:-0.489119   1st Qu.:-1.572101   1st Qu.:   0.000
 Median : 0.005586   Median : 0.003240   Median :   7.746
 Mean   :-0.001250   Mean   : 0.001007   Mean   : 326.418
 3rd Qu.: 0.492019   3rd Qu.: 1.571070   3rd Qu.: 663.617
 Max.   : 1.275239   Max.   : 3.141341   Max.   :1267.381
```

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)
print(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
```

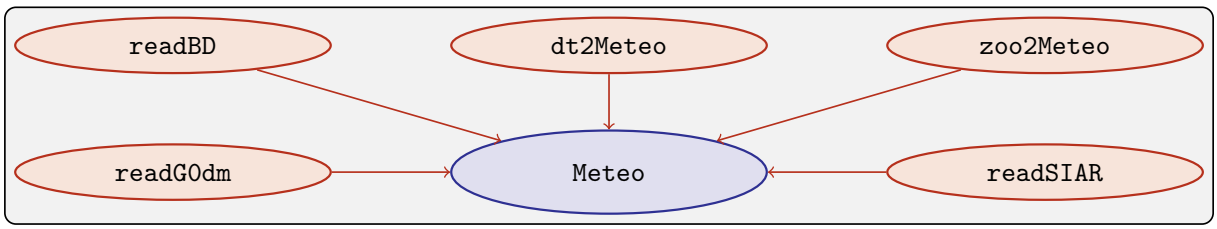

FIGURA 4.3: *Los datos meteorologicas se pueden leer mediante las funciones* ***readG0dm***, ***readBD***, ***dt2Meteo***, ***zoo2Meteo*** *y* ***readSIAR*** *las cuales procesan estos datos y los almacenan en un objeto de clase* ***Meteo***.

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

```
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"
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)
print(BDd)
```

```
Object of class  Meteo

Source of meteorological information: bd-data/aranjuez.csv
Latitude of source:  40 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)
print(BDi)
```

```
Object of class  Meteo

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

```
Latitude of source:  19 degrees

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

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

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

```
Object of class  Meteo

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

Meteorological Data:
     Dates                          G0d              TempMin           TempMax
 Min.   :2009-01-01 00:00:00.00   Min.   :  325.6   Min.   :-37.500   Min.   : 1.41
 1st Qu.:2009-04-08 12:00:00.00   1st Qu.: 2523.2   1st Qu.:  1.950   1st Qu.:14.41
 Median :2009-07-07 00:00:00.00   Median : 4745.7   Median :  7.910   Median :23.16
 Mean   :2009-07-04 21:29:54.93   Mean   : 4812.0   Mean   :  5.323   Mean   :22.59
 3rd Qu.:2009-10-03 12:00:00.00   3rd Qu.: 7139.5   3rd Qu.: 15.105   3rd Qu.:31.06
 Max.   :2009-12-31 00:00:00.00   Max.   :11253.9   Max.   : 24.800   Max.   :38.04
       Ta
 Min.   :-23.049
 1st Qu.:  7.008
 Median : 12.055
 Mean   : 10.944
 3rd Qu.: 19.472
 Max.   : 28.619
```

- **zoo2Meteo**: Transforma un objeto de clase **zoo**[5] en un objeto de clase **Meteo**.

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

[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.

```
  Min.   :-5.309   Min.   :-2.362   Min.   :-12.980   Min.   : 19.89   Min.   : 35.88   Min.   :0.251
  1st Qu.: 7.692   1st Qu.:14.530   1st Qu.:  1.515   1st Qu.: 47.04   1st Qu.: 81.60   1st Qu.:0.667
  Median :13.810   Median :21.670   Median :  7.170   Median : 62.58   Median : 90.90   Median :0.920
  Mean   :14.405   Mean   :22.531   Mean   :  6.888   Mean   : 62.16   Mean   : 87.22   Mean   :1.174
  3rd Qu.:21.615   3rd Qu.:30.875   3rd Qu.: 12.590   3rd Qu.: 77.38   3rd Qu.: 94.90   3rd Qu.:1.431
  Max.   :30.680   Max.   :41.910   Max.   : 22.710   Max.   :100.00   Max.   :100.00   Max.   :8.260
                                    NA's   :4                          NA's   :13       NA's   :8
     WindMax           Rain          Radiation           ET
  Min.   : 0.000   Min.   : 0.000   Min.   : 0.277   Min.   :0.000
  1st Qu.: 3.783   1st Qu.: 0.000   1st Qu.: 9.370   1st Qu.:1.168
  Median : 5.027   Median : 0.000   Median :16.660   Median :2.758
  Mean   : 5.208   Mean   : 1.094   Mean   :16.742   Mean   :3.091
  3rd Qu.: 6.537   3rd Qu.: 0.200   3rd Qu.:24.650   3rd Qu.:4.926
  Max.   :10.000   Max.   :49.730   Max.   :32.740   Max.   :8.564
  NA's   :128      NA's   :4        NA's   :13       NA's   :18
```

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

```
1 library(httr2)
2 library(jsonlite)
3 bd_SIAR <- readSIAR(Lat = 40.40596822621351, Lon = -3.70038308516172,
4                     ## Ubicación de la Escuela Técnica Superior
5                     ## de Ingeniería y Diseño Industrial (ETSIDI)
6                     inicio = '2023-09-01', final = '2024-08-01',
7                     tipo = 'Mensuales', n_est = 3)
8 print(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   :4532   Mean   :15.351   Mean   : 2.4225   Mean   :29.41
 3rd Qu.:2024-05-21 12:00:00   3rd Qu.:6616   3rd Qu.:20.047   3rd Qu.: 7.1506   3rd Qu.:35.47
 Max.   :2024-08-18 00:00:00   Max.   :7608   Max.   :27.600   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.

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

4.3. Radiación en el plano horizontal

Una vez se ha calculado la geometría solar (sección 4.1) y se han procesado los datos meteorológicos (sección 4.2), es necesario calcular la radiación en el plano horizontal. Para ello, **solaR2** cuenta con la función **calcG0** [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 computa 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
 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
```

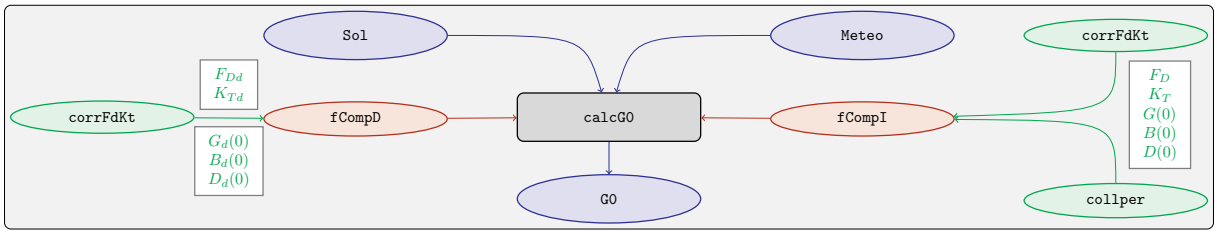

FIGURA 4.4: *:*

```
 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
```

```
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 corrección propia.

```
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 corrección.

```
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**, computa 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 0.6573908 0.4583592  84.06042  55.26054  28.79987
  2: 2024-01-17 09:00:00 0.5624767 0.5277148 215.49558 121.21125  94.28433
  3: 2024-01-17 10:00:00 0.4845081 0.5821268 340.45500 164.95322 175.50179
  4: 2024-01-17 11:00:00 0.4333714 0.6178887 433.04376 187.66880 245.37496
  5: 2024-01-17 12:00:00 0.4120068 0.6325646 473.44106 195.06094 278.38012
 ---
141: 2024-12-13 12:00:00 0.5776181 0.5488870 382.71443 221.06278 161.65164
142: 2024-12-13 13:00:00 0.5917966 0.5371376 352.10710 208.37580 143.73130
143: 2024-12-13 14:00:00 0.6306611 0.5063725 276.60890 174.44649 102.16241
144: 2024-12-13 15:00:00 0.6887448 0.4586869 172.87432 119.06629  53.80803
145: 2024-12-13 16:00:00 0.7561974 0.3973283  63.15968  47.76119  15.39849
```

```
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 corrección.

```r
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. A parte 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.

```r
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 2.695050 1.1019722 1.593078
 2: Feb. 2024 3.491000 1.4774607 2.013539
 3: Mar. 2024 4.494000 2.0703024 2.423698
 4: Apr. 2024 5.912000 2.3366574 3.575343
 5: May. 2024 6.989000 2.5027865 4.486213
 6: Jun. 2024 7.742000 2.3700030 5.371997
 7: Jul. 2024 7.919000 2.1706352 5.748365
 8: Aug. 2024 7.027000 2.0274273 4.999573
 9: Sep. 2024 5.369000 1.8700023 3.498998
10: Oct. 2024 3.562000 1.6747125 1.887287
11: Nov. 2024 2.814000 1.2650494 1.548951
12: Dec. 2024 2.100986 0.9442528 1.156733

Yearly values:
Key: <Dates>
   Dates      G0d      D0d      B0d
   <int>    <num>    <num>    <num>
1:  2024 1829.951 663.3063 1166.645
```

- Diarios.

```
bd <- g0_aguiar@G0D
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 2.695050 1.1019722 1.593078
 2: Feb. 2024 3.491000 1.4774607 2.013539
 3: Mar. 2024 4.494000 2.0703024 2.423698
 4: Apr. 2024 5.912000 2.3366574 3.575343
 5: May. 2024 6.989000 2.5027865 4.486213
 6: Jun. 2024 7.742000 2.3700030 5.371997
 7: Jul. 2024 7.919000 2.1706352 5.748365
 8: Aug. 2024 7.027000 2.0274273 4.999573
 9: Sep. 2024 5.369000 1.8700023 3.498998
10: Oct. 2024 3.562000 1.6747125 1.887287
11: Nov. 2024 2.814000 1.2650494 1.548951
12: Dec. 2024 2.100986 0.9442528 1.156733

Yearly values:
Key: <Dates>
   Dates      G0d      D0d      B0d
   <int>    <num>    <num>    <num>
1:  2024 1829.951 663.3063 1166.645
```

- Intradiarios

```
bdI <- g0_aguiar@G0I
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 2.608113 1.0149231 1.593190
 2: Feb. 2024 3.491000 1.5556932 1.935307
 3: Mar. 2024 4.494000 2.1967792 2.297221
 4: Apr. 2024 5.912000 2.5170086 3.394991
 5: May. 2024 6.989000 2.7320098 4.256990
 6: Jun. 2024 7.742000 2.1353808 5.606619
 7: Jul. 2024 7.919000 2.0287698 5.890230
 8: Aug. 2024 7.027000 1.5532454 5.473755
 9: Sep. 2024 5.369000 1.8724492 3.496551
10: Oct. 2024 3.562000 1.8132623 1.748738
11: Nov. 2024 2.814000 1.3061615 1.507838
12: Dec. 2024 2.033212 0.7936489 1.078607

Yearly values:
Key: <Dates>
   Dates      G0d      D0d      B0d
   <int>    <num>    <num>    <num>
1:  2024 1829.951 656.1569 1168.805
```

4.4. Radiación efectiva en el plano del generador

CAPÍTULO 5

Ejemplo práctico de aplicación

Como demostración se va a realizar un caso práctico...

5.1. `solaR`

...

5.2. `PVsyst`

...

5.3. `solaR`

...

5.4. Comparación entre los tres

APÉNDICE A

Código completo

Todo el código que se muestra a continuación está disponible...

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 <- solI$Dates[2]-solI$Dates[1]
        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

```
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'))


###Datos de Radiacion
    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)) 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$G0dm
                    BTd <- fBTd(mode='serie')
                    solD <- fSolD(lat, BTd)
                    G0d <- markovG0(dataRad, solD)
                    res <- dt2Meteo(G0d, lat=lat, source='aguiar')
                }, #End of aguiar
                bdI = {
                    if (!is.list(dataRad)) dataRad <- list(file=dataRad)
                    switch(class(dataRad$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$G0d/sol@solD$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(BD@data)) {
                          data.table(Dates = indexD(sol),
                                     Ta =BD@data$Ta)
                      } else {
                          warning('No temperature information available!')
                      }
                  }
              },
              bdI={
                  if ("Ta" %in% names(BD@data)) {
                      data.table(Dates = indexI(sol),
                                 Ta = BD@data$Ta)
                  } else {
                      warning('No temperature information available!')
                  }
              },
              prom={
                  if ("Ta" %in% names(BD@data)) {
                      data.table(Dates = indexD(sol),
                                 Ta = BD@data$Ta)
                  } else {
                      warning('No temperature information available!')
                  }
              },
              aguiar={
                  data.table(Dates = indexI(sol),
                             Ta = BD@data$Ta)
              }
              )

###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, alfa=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.frame(),#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')
    }

### Inclined and effective radiation
    BT=("bt" %in% modeShd)
    angGen <- fTheta(radHoriz, beta, alfa, modeTrk, betaLim, BT, struct,
    distances)
    inclin <- fInclin(radHoriz, angGen, iS, alb, horizBright, HCPV)

### Daily, monthly and yearly values
    by <- radHoriz@sample
    nms <- c('Bo', 'Bn', 'G', 'D', 'B', 'Gef', 'Def', 'Bef')
    nmsd <- paste(nms, 'd', sep = '')
```

```
    if(radHoriz@type == 'prom'){
        Gefdm <- inclin[, lapply(.SD/1000, P2E, by),
                        .SDcols = nms,
                        by = .(month(Dates), year(Dates))]
        names(Gefdm)[-c(1,2)] <- nmsd
        GefD <- Gefdm[, .SD*1000,
                      .SDcols = nmsd,
                      by = .(Dates = indexD(radHoriz))]

        Gefdm[, DayOfMonth := DOM(Gefdm)]
        Gefy <- Gefdm[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
                      .SDcols = nmsd,
                      by = .(Dates = year)]
        Gefdm[, DayOfMonth := NULL]
    } else{
        GefD <- inclin[, lapply(.SD, P2E, by),
                       .SDcols = nms,
                       by = .(Dates = truncDay(Dates))]
        names(GefD)[-1] <- nmsd

        Gefdm <- GefD[, lapply(.SD/1000, mean, na.rm = TRUE),
                      .SDcols = nmsd,
                      by = .(month(indexD(radHoriz)), year(indexD(radHoriz)))]
        Gefy <- GefD[, lapply(.SD/1000, sum, na.rm = TRUE),
                     .SDcols = nmsd,
                     by = .(Dates = year(indexD(radHoriz)))]
    }

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

###Resultado antes de sombras
    result0=new('Gef',
                radHoriz,                              #Gef contains 'G0'
                Theta=angGen,
                GefD=GefD,
                Gefdm=Gefdm,
                Gefy=Gefy,
                GefI=inclin,
                iS=iS,
                alb=alb,
                modeTrk=modeTrk,
                modeShd=modeShd,
                angGen=list(alfa=alfa, 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, modeTrk, modeShd, struct, distances)
        return(result)
    }
```

```
}
```

Extracto de código A.3: *calcGef*

A.1.4. prodGCPV

```
prodGCPV<-function(lat,
                   modeTrk='fixed',
                   modeRad='prom',
                   dataRad,
                   sample='hour',
                   keep.night=TRUE,
                   sunGeometry='michalsky',
                   corr, f,
                   betaLim=90, beta=abs(lat)-10, alfa=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, alfa=alfa,
                   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, alfa=alfa,
                                 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

```
prodPVPS<-function(lat,
                   modeTrk='fixed',
                   modeRad='prom',
                   dataRad,
                   sample='hour',
                   keep.night=TRUE,
                   sunGeometry='michalsky',
                   corr, f,
                   betaLim=90, beta=abs(lat)-10, alfa=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, alfa=alfa,
                       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, alfa=alfa,
                    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')

    result <- new('ProdPVPS',
                  radEf,                    #contains 'Gef'
                  prodD=prodD,
                  prodDm=prodDm,
                  prody=prody,
                  prodI=prodI,
                  pump=pump,
                  H=H,
                  Pg=Pg,
                  converter=converter,
                  effSys=effSys
                 )
}
```

Extracto de código A.5: *prodGCPV*

A.1.6. calcShd

```
calcShd<-function(radEf,##class='Gef'
```

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

    ##For now I only use modeShd = 'area'
    ##With different modeShd (to be defined) I will be able to calculate Gef in
    a different way
    ##See macagnan thesis
    prom=("prom"  %in%  modeShd)
    prev <- as.data.tableI(radEf, complete=TRUE)
    ## shadow calculations
    sol <- data.table(AzS = prev$AzS,
                      AlS = prev$AlS)
    theta <- radEf@Theta
    AngGen <- data.table(theta, sol)
    FS <- fSombra(AngGen, distances, struct, modeTrk, prom)
    ## irradiance calculation
    gef0 <- radEf@GefI
    Bef0 <- gef0$Bef
    Dcef0 <- gef0$Dcef
    Gef0 <- gef0$Gef
    Dief0 <- gef0$Dief
    Ref0 <- gef0$Ref
    ## calculation
    Bef <- Bef0*(1-FS)
    Dcef <- Dcef0*(1-FS)
    Def <- Dief0+Dcef
    Gef <- Dief0+Ref0+Bef+Dcef #Including shadows
    ##Change names
    nms <- c('Gef', 'Def', 'Dcef', 'Bef')
    nmsIndex <- which(names(gef0) %in% nms)
    names(gef0)[nmsIndex]<- paste(names(gef0)[nmsIndex], '0', sep='')
    GefShd <- gef0
    GefShd[, c(nms, 'FS') := .(Gef, Def, Dcef, Bef, FS)]

    ## daily, monthly and yearly values
    by <- radEf@sample
    nms <- c('Gef0', 'Def0', 'Bef0', 'G', 'D', 'B', 'Gef', 'Def', 'Bef')
    nmsd <- paste(nms, 'd', sep = '')

    Gefdm <- GefShd[, lapply(.SD/1000, P2E, by),
                    by = .(month(truncDay(Dates)), year(truncDay(Dates))),
                    .SDcols = nms]
    names(Gefdm)[-c(1, 2)] <- nmsd

    if(radEf@type == 'prom'){
        GefD <- Gefdm[, .SD[, -c(1, 2)] * 1000,
                      .SDcols = nmsd,
                      by = .(Dates = indexD(radEf))]

        Gefdm[, DayOfMonth := DOM(Gefdm)]

        Gefy <- Gefdm[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
                      .SDcols = nmsd,
```

```
                        by = .(Dates = year)]
        Gefdm[, DayOfMonth := NULL]
    } else{
        GefD <- GefShd[, lapply(.SD/1000, P2E, by),
                        .SDcols = nms,
                        by = .(Dates = truncDay(Dates))]
        names(GefD)[-1] <- nmsd

        Gefy <- GefD[, lapply(.SD[, -1], sum, na.rm = TRUE),
                     .SDcols = nmsd,
                     by = .(Dates = year(Dates))]
    }

    Gefdm[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
    Gefdm[, c('month', 'year') := NULL]
    setcolorder(Gefdm, c('Dates', names(Gefdm)[-length(Gefdm)]))

    ## Object of class Gef
    ## modifying the 'modeShd', 'GefI', 'GefD', 'Gefdm', and 'Gefy' slots
    ## from the original radEf object
    radEf@modeShd=modeShd
    radEf@GefI=GefShd
    radEf@GefD=GefD
    radEf@Gefdm=Gefdm
    radEf@Gefy=Gefy
    return(radEf)
}
```

Extracto de código A.6: *calcShd*

A.1.7. optimShd

```
optimShd<-function(lat,
                   modeTrk='fixed',
                   modeRad='prom',
                   dataRad,
                   sample='hour',
                   keep.night=TRUE,
                   sunGeometry='michalsky',
                   betaLim=90, beta=abs(lat)-10, alfa=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, alfa=alfa,
                    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))


    ##I think 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
    if (prog) {setTxtProgressBar(pb, 1)}

    ##The loop begins

    ##I create an empty vector of the same length as the cases to be studied
    YfAnual<-numeric(casos)

    BT=('bt' %in% modeShd)
    if (BT) { ##There is backtracking, then I must start from horizontal
    radiation.
        RadBT <- as(Prod0, 'G0')
        for (i in seq_len(casos)){
            listArgsBT <- modifyList(listArgs,
                                     list(modeRad='prev', dataRad=RadBT,
                                          distances=Red[i,]))
            prod.i <- do.call(prodGCPV, listArgsBT)
            YfAnual[i]=mean(prod.i@prody$Yf)
            if (prog) {setTxtProgressBar(pb, i+1)}
        }
    } else {
```

```
        prom=('prom' %in% modeShd)
        for (i in seq_len(casos)){
            Gef0=as(Prod0, 'Gef')
            GefShd=calcShd(Gef0, modeTrk=modeTrk, modeShd=modeShd,
                           struct=struct, distances=Red[i,])
            listArgsShd <- modifyList(listArgs,
                                      list(modeRad='prev', dataRad=GefShd)
                                      )
            prod.i <- do.call(prodGCPV, listArgsShd)
            YfAnual[i]=mean(prod.i@prody$Yf)
            if (prog) {setTxtProgressBar(pb, i+1)}
        }
    }
    if (prog) {close(pb)}


###Results
    FS=1-YfAnual/YfAnual0
    GRR=switch(modeTrk,
               two=with(Red,Lew*Lns)/with(struct,L*W),
               fixed=Red$D/struct$L,
               horiz=Red$Lew/struct$L)
    SombraDF=data.table(Red,GRR,FS,Yf=YfAnual)
    FS.loess=switch(modeTrk,
                    two=loess(FS~Lew*Lns,data=SombraDF),
                    horiz=loess(FS~Lew,data=SombraDF),
                    fixed=loess(FS~D,data=SombraDF))
    Yf.loess=switch(modeTrk,
                    two=loess(Yf~Lew*Lns,data=SombraDF),
                    horiz=loess(Yf~Lew,data=SombraDF),
                    fixed=loess(Yf~D,data=SombraDF))
    result <- new('Shade',
                  Prod0, ##contains ProdGCPV
                  FS=FS,
                  GRR=GRR,
                  Yf=YfAnual,
                  FS.loess=FS.loess,
                  Yf.loess=Yf.loess,
                  modeShd=modeShd,
                  struct=struct,
                  distances=Red,
                  res=res
                  )
    result
}
```

Extracto de código A.7: *optimShd*

A.1.8. meteoReaders

```
#### 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, 1:12, promDays, sep = '-'), tz = 'UTC')
    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))

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

    #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'))

    #name the dates column by Dates
    Dates <- bd[[dates.col]]
    bd[,(dates.col) := NULL]
    bd[, Dates := as.IDate(Dates, format = format)]

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

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

    names0 <- NULL
    if(all(c('D0', 'B0') %in% names(bd))){
        names0 <- c(names0, 'D0', 'B0')
    }

    names0 <- c(names0, 'Ta')

    if(all(c('TempMin', 'TempMax') %in% names(bd))){
```

```
        names0 <- c(names0, 'TempMin', 'TempMax')
    }
    if(keep.cols)
    {
        #keep the rest of the columns but reorder the columns
        setcolorder(bd, c('Dates', 'G0', names0))
    }
    else
    {
        #erase the rest of the columns
        cols <- c('Dates', 'G0', names0)
        bd <- bd[, ..cols]
    }

    setkey(bd, 'Dates')
    result <- new(Class = 'Meteo',
                  latm = lat,
                  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)

    #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)]

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

    names0 <- NULL
    if(all(c('D0', 'B0') %in% names(bd))){
        names0 <- c(names0, 'D0', 'B0')
    }

    names0 <- c(names0, 'Ta')

    if(keep.cols)
    {
        #keep the rest of the columns but reorder the columns
        setcolorder(bd, c('Dates', 'G0', names0))
    }
    else
    {
        #erase the rest of the columns
        cols <- c('Dates', 'G0', names0)
        bd <- bd[, ..cols]
    }

    setkey(bd, 'Dates')
    result <- new(Class = 'Meteo',
                  latm = lat,
                  data = bd,
                  type = 'bdI',
                  source = file)
}


dt2Meteo <- function(file, lat, source = '', type){
    ## Make sure its a data.table
    bd <- data.table(file)

    ## Dates is an as.POSIX element
    bd[, Dates := as.POSIXct(Dates, tz = 'UTC')]

    ## type
    if(missing(type)){
        sample <- median(diff(file$Dates))
        IsDaily <- as.numeric(sample, units = 'days')
        if(is.na(IsDaily)) IsDaily <- ifelse('G0d' %in% names(bd),
```

```
                                                1, 0)
        if(IsDaily >= 30) type <- 'prom'
        else{
            type <- ifelse(IsDaily >= 1, 'bd', 'bdI')
        }

    }
    if(!('Ta' %in% names(bd))){
        if(all(c('Tempmin', 'TempMax') %in% names(bd)))
            bd[, Ta := mean(c(Tempmin, TempMax))]
        else bd[, Ta := 25]
            }

    ## Columns of the data.table
    nms0 <- switch(type,
                   bd = ,
                   prom = {
                       nms0 <- 'GOd'
                       if(all(c('DOd', 'BOd') %in% names(bd))){
                           nms0 <- c(nms0, 'DOd', 'BOd')
                       }
                       nms0 <- c(nms0, 'Ta')
                       if(all(c('TempMin', 'TempMax') %in% names(bd))){
                           nms0 <- c(nms0, 'TempMin', 'TempMax')
                       }
                       nms0
                   },
                   bdI = {
                       nms0 <- 'GO'
                       if(all(c('DO', 'BO') %in% names(bd))){
                           nms0 <- c(nms0, 'DO', 'BO')
                       }
                       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)
}

#### 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
    G0d <- compD$G0d[ind.rep]
    B0d <- compD$B0d[ind.rep]
    D0d <- compD$D0d[ind.rep]

    # Daily profile
    G0 <- G0d * rg
    D0 <- D0d * rd

    # This method may produce diffuse irradiance higher than
    # global irradiance
    G0 <- pmax(G0, D0, na.rm = TRUE)
    B0 <- G0 - D0

    # Negative values are set to NA
    neg <- (B0 < 0) | (D0 < 0) | (G0 < 0)
    is.na(G0) <- neg
    is.na(B0) <- neg
    is.na(D0) <- neg

    # Daily profiles are scaled to keep daily irradiation values
    day <- truncDay(indexI(sol))
    sample <- sol@sample

    G0dCP <- ave(G0, day, FUN=function(x) P2E(x, sample))
    B0dCP <- ave(B0, day, FUN=function(x) P2E(x, sample))
    D0dCP <- ave(D0, day, FUN=function(x) P2E(x, sample))

    G0 <- G0 * G0d/G0dCP
    B0 <- B0 * B0d/B0dCP
    D0 <- D0 * D0d/D0dCP

    res <- data.table(G0, B0, D0)
    return(res)
}


#### intradaily Meteo to daily Meteo ####
Meteoi2Meteod <- function(G0i)
{
    lat <- G0i@latm
    source <- G0i@source

    dt0 <- getData(G0i)
    dt <- dt0[, lapply(.SD, sum),
              .SDcols = names(dt0)[!names(dt0) %in% c('Dates', 'Ta')],
              by = .(Dates = as.IDate(Dates))]
    if('Ta' %in% names(dt0)){
        Ta <- dt0[, .(Ta = mean(Ta),
                      TempMin = min(Ta),
                      TempMax = max(Ta)),
                  by = .(Dates = as.IDate(Dates))]
```

```
        if(all(Ta$Ta == c(Ta$TempMin, Ta$TempMax))) Ta[, c('TempMin', 'TempMax')
     := NULL]
        dt <- merge(dt, Ta)
    }
    if('G0' %in% names(dt)){
        names(dt)[names(dt) == 'G0'] <- 'G0d'
    }
    if('D0' %in% names(dt)){
        names(dt)[names(dt) == 'D0'] <- 'D0d'
    }
    if('B0' %in% names(dt)){
        names(dt)[names(dt) == 'B0'] <- 'B0d'
    }
    G0d <- dt2Meteo(dt, lat, source, type = 'bd')
    return(G0d)
}

#### daily Meteo to monthly Meteo ####
Meteod2Meteom <- function(G0d)
{
    lat <- G0d@latm
    source <- G0d@source

    dt <- getData(G0d)
    nms <- names(dt)[-1]
    dt <- dt[, lapply(.SD, mean),
             .SDcols = nms,
             by = .(month(Dates), year(Dates))]
    dt[, Dates := fBTd()]
    dt <- dt[, c('month', 'year') := NULL]

    setcolorder(dt, 'Dates')

    G0m <- dt2Meteo(dt, lat, source, type = 'prom')
    return(G0m)
}

zoo2Meteo <- function(file, lat, source = '')
{
    sample <- median(diff(index(file)))
    IsDaily <- as.numeric(sample, units = 'days')>=1
    type <- ifelse(IsDaily, 'bd', 'bdI')
    result <- new(Class = 'Meteo',
                  latm = lat,
                  data = file,
                  type = type,
                  source = source)
}

siarGET <- function(id, inicio, final, tipo = 'Mensuales', ambito = 'Estacion'){
    if(!(tipo %in% c('Horarios', 'Diarios', 'Semanales', 'Mensuales'))){
        stop('argument \'tipo\' must be: Horarios, Diarios, Semanales or
    Mensuales')
    }
    if(!(ambito %in% c('CCAA', 'Provincia', 'Estacion'))){
        stop('argument \'ambito\' must be: CCAA, Provincia or Estacion')
    }
```

```
    mainURL <- "https://servicio.mapama.gob.es"

    path <- paste('/apisiar/API/v1/Datos', tipo, ambito, sep = '/')

    ## prepare the APIsiar
    req <- request(mainURL) |>
        req_url_path(path) |>
        req_url_query(Id = id,
                      FechaInicial = inicio,
                      FechaFinal = final,
                      ClaveAPI = '_Q8L_niYFBBmBs-
    vB3UomUqdUYy98FTRX1aYbrZ8n2FXuHYGTV')
    ## execute it
    resp <- req_perform(req)

    ##JSON to R
    respJSON <- resp_body_json(resp, simplifyVector = TRUE)

    if(!is.null(respJSON$MensajeRespuesta)){
        stop(respJSON$MensajeRespuesta)
    }

    res0 <- data.table(respJSON$Datos)

    res <- switch(tipo,
                  Horarios = {
                      res0[, HoraMin := as.ITime(sprintf('%04d', HoraMin),
                                                 format = '%H%M')]
                      res0[, Fecha := as.IDate(Fecha, format = '%Y-%m-%d')]
                      res0[, Fecha := as.IDate(ifelse(HoraMin == as.ITime(0),
                                                      Fecha+1, Fecha))]
                      res0[, Dates := as.POSIXct(HoraMin, Fecha,
                                                 tz = 'Europe/Madrid')]
                      res0 <- res0[, .(Dates,
                                       G0 = Radiacion,
                                       Ta = TempMedia)]
                      return(res0)
                  },
                  Diarios = {
                      res0[, Dates := as.IDate(Fecha)]
                      res0 <- res0[, .(Dates,
                                       G0d = Radiacion * 277.78,
                                       Ta = TempMedia,
                                       TempMin,
                                       TempMax)]
                      return(res0)
                  },
                  Semanales = res0,
                  Mensuales = {
                      promDays<-c(17,14,15,15,15,10,18,18,18,19,18,13)
                      names(res0)[1] <- 'Year'
                      res0[, Dates := as.IDate(paste(Year, Mes,
                                                     promDays[Mes],
                                                     sep = '-'))]
                      res0 <- res0[, .(Dates,
                                       G0d = Radiacion * 277.78,
                                       Ta = TempMedia,
                                       TempMin,
```

```
                                        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='GO',
        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

```
#### 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

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

    G0d <- Meteoi2Meteod(G0i)
    ktd <- Ktd(sol, G0d)

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

    ##indexRep for ktd and pers
    Dates <- indexI(sol)
    x <- as.Date(Dates)
    ind.rep <- cumsum(c(1, diff(x) != 0))
    ktd <- ktd[ind.rep]
    pers <- pers[ind.rep]

    ##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, Ktd){
    kt <- data.table(indexD(sol), Ktd)
    ktNA <- na.omit(kt)
    iDay <- truncDay(ktNA[[1]])

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

    lag1 <- shift(ktNA$Ktd, -1, fill = NA)
    for (i in xLast){
        if ((i-1) != 0){lag1[i] <- ktNA$Ktd[i-1]}
    }

    lag2 <- shift(ktNA$Ktd, 1, fill = NA)
    for (i in xLast){
        if ((i+1) <= length(ktNA$Ktd)){lag2[i] <- ktNA$Ktd[i+1]}
    }
    pers <- data.table(lag1, lag2)
    pers[, mean := 1/2 * (lag1+lag2)]
    pers[, mean]
}
```

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

Extracto de código A.18: *fBTi*

A.3.4. fCompD

```
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),
                     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)$G0
        D0d <- getData(G0d)[['D0']]
        B0d <- getData(G0d)[['B0']]
        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 = 'EKDh', 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)
```

```
    ## If instantaneous values are not provided, compD is used instead.
    if (missing(G0I)) {

        G0I <- collper(sol, compD)
        G0 <- G0I$G0
        B0 <- G0I$B0
        D0 <- G0I$D0

        Fd <- D0/G0
        Kt <- G0/Bo0

    } else { ## Use instantaneous values if provided through G0I

        if(class(G0I)[1] != 'Meteo'){
            dt <- copy(G0I)
            if(!('Dates' %in% names(G0I))){
                dt[, Dates := indexI(sol)]
                setcolorder(dt, 'Dates')
                setkey(dt, 'Dates')
            }
            if('lat' %in% names(G0I)){latg <- unique(G0I$lat)}
            else{latg <- lat}
            G0I <- dt2Meteo(dt, latg)
        }

        if (corr!='none'){
            G0 <- getG0(G0I)
            ## Filter values: surface irradiation must be lower than
            ## extraterrestial;
            if (filterG0) {is.na(G0) <- (G0 > Bo0)}

            ## Fd-Kt correlation
            Fd <- switch(corr,
                         EKDh = FdKtEKDh(sol, G0I),
                         CLIMEDh = FdKtCLIMEDh(sol, G0I),
                         BRL = FdKtBRL(sol, G0I),
                         user = f(sol, G0I))

            Kt <- Fd$Kt
            Fd <- Fd$Fd
            D0 <- Fd * G0
            B0 <- G0 - D0

        } else {
            G0 <- getG0(G0I)
            D0 <- getData(G0I)[['D0']]
            B0 <- getData(G0I)[['B0']]
            ## Filter values: surface irradiation must be lower than
            ## 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$Beta
    Alfa <- angGen$Alfa
    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

    ## Voc and Isc at ambient conditions
    voc <- vocn - CoefVT * (Tc - 25)
    isc <- iscn * Gef/Gstc

    ## Ruiz method for computing voltage and current characteristic of a *cell*
    rs <- Rs * isc/voc
    koc <- voc/(m * Vt)
```

```
    ## Maximum Power Point
    Dm0 <- (koc - 1)/(koc - log(koc))
    Dm <- Dm0 + 2 * rs * Dm0^2

    impp <- isc * (1 - Dm/koc)
    vmpp <- voc * (1 - log(koc/Dm)/koc - rs * (1 - Dm/koc))

    vdc <- vmpp
    idc <- impp

    ## When the MPP is below/above the inverter voltage limits, it
    ## sets the voltage point at the corresponding limit.


    ## Auxiliary functions for computing the current at a defined
    ## voltage.
    ilimit <- function(v, koc, rs)
    {
        if (is.na(koc))
            result <- NA
        else
        {
            ## The IV characteristic is an implicit equation. The starting
            ## point is the voltage of the cell (imposed by the inverter
            ## limit).

            izero <- function(i , v, koc, rs)
            {
                vp <- v + i * rs
                Is <- 1/(1 - exp(-koc * (1 - rs)))
                result <- i - (1 - Is * (exp(-koc * (1 - vp)) - exp(-koc * (1 -
rs))))
            }

            result <- uniroot(f = izero,
                              interval = c(0,1),
                              v = v,
                              koc = koc,
                              rs = rs)$root
        }
        result
    }
    ## Inverter minimum voltage
    if (!is.null(vmin))
    {
        if (any(vmpp < vmin, na.rm = TRUE))
        {
            indMIN <- which(vmpp < vmin)
            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)
        Gef <- gefI$Gef
        Ta <- gefI$Ta
    } else {
        Gef <- inclin$Gef
        Ta <- inclin$Ta
    }

    ## Module, generator, and inverter parameters
    module.default <- list(Vocn = 57.6,
```

```
                          Iscn = 4.7,
                          Vmn = 46.08,
                          Imn = 4.35,
                          Ncs = 96,
                          Ncp = 1,
                          CoefVT = 0.0023,
                          TONC = 47)
module <- modifyList(module.default, module)
## Make these parameters visible because they will be used often.
Ncs <- module$Ncs
Ncp <- module$Ncp

generator.default <- list(Nms = 12,
                           Nmp = 11)
generator <- modifyList(generator.default, generator)
generator$Pg <- (module$Vmn * generator$Nms) *
    (module$Imn * generator$Nmp)
Nms <- generator$Nms
Nmp <- generator$Nmp

inverter.default <- list(Ki = c(0.01,0.025,0.05),
                         Pinv = 25000,
                         Vmin = 420,
                         Vmax = 750,
                         Gumb = 20)
inverter <- modifyList(inverter.default, inverter)
Pinv <- inverter$Pinv

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)

## Solar Cell i-v
vocn <- with(module, Vocn / Ncs)
iscn <- with(module, Iscn/ Ncp)
vmn <- with(module, Vmn / Ncs)
imn <- with(module, Imn / Ncp)
vmin <- with(inverter, Vmin / (Ncs * Nms))
vmax <- with(inverter, Vmax / (Ncs * Nms))

cell <- iv(vocn, iscn,
           vmn, imn,
           module$TONC, module$CoefVT,
           Ta, Gef,
           vmin, vmax)

## Generator voltage and current
Idc <- Nmp * Ncp * cell$idc
Isc <- Nmp * Ncp * cell$isc
Impp <- Nmp * Ncp * cell$impp
Vdc <- Nms * Ncs * cell$vdc
Voc <- Nms * Ncs * cell$voc
Vmpp <- Nms * Ncs * cell$vmpp
```

```
    ##DC power (normalization with nominal power of inverter)
    ##including losses
    PdcN <- with(effSys, (Idc * Vdc) / Pinv *
                         (1 - ModQual / 100) *
                         (1 - ModDisp / 100) *
                         (1 - MPP / 100) *
                         (1 - OhmDC / 100)
                 )

    ##Normalized AC power to the inverter
    Ki <- inverter$Ki
    if (is.matrix(Ki)) { #Ki is a matrix of nine coefficients-->dependence with
    tension
        VP <- cbind(Vdc, PdcN)
        PacN <- apply(VP, 1, solvePac, Ki)
    } else { #Ki is a vector of three coefficients-->without dependence on
    voltage
        A <- Ki[3]
        B <- Ki[2] + 1
        C <- Ki[1] - (PdcN)
        PacN <- (-B + sqrt(B^2 - 4 * A * C))/(2 * A)
    }
    EffI <- PacN / PdcN
    pacNeg <- PacN <= 0
    PacN[pacNeg] <- PdcN[pacNeg] <- EffI[pacNeg] <- 0


    ##AC and DC power without normalization
    Pac <- with(effSys, PacN * Pinv *
                        (Gef > inverter$Gumb) *
                        (1 - OhmAC / 100) *
                        (1 - TrafoMT / 100) *
                        (1 - Disp / 100))
    Pdc <- PdcN * Pinv * (Pac > 0)


    ## Result
    resProd <- data.table(Tc = cell$Tc,
                          Voc, Isc,
                          Vmpp, Impp,
                          Vdc, Idc,
                          Pac, Pdc,
                          EffI)
    if (class(inclin)[1] %in% 'Gef'){
        result <- resProd[, .SD,
                          by=.(Dates = indInclin)]
        attr(result, 'generator') <- generator
        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

```
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[, Bo0d := bo0d(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

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

    if(missing(BTi)){
        d <- solD$Dates
        BTi <- fBTi(d, 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

```
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*

```
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*

```
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)
    Alfa <- angGen$Alfa
    Beta <- angGen$Beta
    AlS <- angGen$AlS
    AzS <- angGen$AzS
    cosTheta <- angGen$cosTheta
    h <- dist$H #It must be previously normalized
    d <- dist$D
    ## Calculations
    s=cos(Beta)+cos(Alfa-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, alfa=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

Alfa<-switch(modeTrk,
             two = AzS,
             fixed = rep(d2r(alfa), length(w)),
             horiz=pi/2*sign(AzS))
is.na(Alfa) <- 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(Alfa)
                     t3=cos(decl)*cos(w)*cos(lat)*cos(Beta)
                     t4=signLat*cos(decl)*cos(w)*sin(lat)*sin(Beta)*cos(Alfa
)
                     t5=cos(decl)*sin(w)*sin(Alfa)*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, Alfa, 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)
           )
}


#### Equation of time

##Alan M.Whitman "A simple expression for the equation of time"
##EoT=ts-t, donde ts es la hora solar real y t es la hora solar
##media. Valores negativos implican que el sol real se retrasa
##respecto al medio
eot <- function(d)
{
    ## d in an IDate
    d <- as.IDate(d)
    ## Day of year
```

```
    dn <- yday(d)
    M <- 2 * pi/365.24 * dn
    EoT <- 229.18 * (-0.0334 * sin(M) +
                     0.04184 * sin(2 * M + 3.5884))
    EoT <- h2r(EoT/60)
    return(EoT)
}


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

    cosWs <- -tan(d2r(lat)) * tan(decl)
    #sunrise, negative since it is before noon
    ws <- -acos(cosWs)
    #Polar day/night
    polar <- which(is.nan(ws))
    ws[polar] <- -pi * (cosWs[polar] < -1) + 0 * (cosWs[polar] > 1)
    return(ws)
}

#### Extraterrestrial irradition ####
bo0d <- function(d, lat, method = 'michalsky',
                 decl = declination(d, method),
                 eo = eccentricity(d, method),
                 ws = sunrise(d, lat, method))
{
    ##Method check
    if(!(method %in% c("michalsky", "cooper", "strous", "spencer"))){
        warning("'method' must be: michalsky, cooper, strous or spencer. Set
    michalsky")
        method = 'michalsky'
    }

    #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 = '1 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(d = 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

             ##local mean sidereal time, LMST
             ##TO has been previously corrected with local2Solar in order
             ##to include the longitude, daylight savings, etc.
             lmst <- (h2d(6.697375 + 0.0657098242*jd + TO))%%360
             w <- (lmst-ascension)
             w <- d2r(w + 360*(w < -180) - 360*(w > 180))
         },
         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))
                cosEclip <- cos(d2r(eclipLong))
                cosExcen <- cos(d2r(excen))

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

                ##local mean sidereal time, LMST
                ##TO has been previously corrected with local2Solar in order
                ##to include the longitude, daylight savings, etc.
                lmst <- (280.1600+360.9856235*jd)%%360
                w <- (lmst-ascension)
                w <- d2r(w + 360*(w< -180) - 360*(w>180))
            }
            )
    return(w)
}

#### zenith angle ####
zenith <- function(d, lat, BTi, sample = '1 hour',  method = 'michalsky',
                   decl = declination(d, method),
                   w = sunHour(d, BTi, sample, method = method))
{
    ##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(d, sample)}
    x <- as.Date(BTi)
    rep <- cumsum(c(1, diff(x) != 0))
    latr <- d2r(lat)
    if(length(decl) == length(BTi)){decl <- decl}
    else{decl <- decl[rep]}
    zenith <- sin(decl) * sin(latr) +
        cos(decl) * cos(w) * cos(latr)
    zenith <- ifelse(zenith > 1, 1, zenith)
    return(zenith)
}

#### azimuth ####
azimuth <- function(d, lat, BTi, sample = '1 hour', method = 'michalsky',
                    decl = declination(d, method),
                    w = sunHour(d, BTi, sample, method = method),
                    cosThzS = zenith(d, lat, BTi, sample, method, decl, 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

```
#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)]
              }
              return(data)
          }
          )

setMethod('as.data.tableI',
          signature = (object='G0'),
          definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
              g0 <- copy(object)
              BTi <- indexI(g0)
              BTi <- truncDay(BTi)
              ind.rep <- cumsum(c(1, diff(BTi)!=0))
              G0I <- g0@G0I
              solI <- g0@solI
              solD <- g0@solD[ind.rep]
              Ta <- g0@Ta
              if(length(Ta[[1]]!=length(G0I[[1]]))) Ta <- Ta[ind.rep]
              if(complete){
                  data <- data.table(solI,
                                     G0I[, Dates := NULL],
```

```
                                    solD[, Dates := NULL],
                                    Ta[, Dates := NULL])
            } else{
                GOI[, Kt := NULL]
                GOI[, Fd := NULL]
                data <- GOI
            }
            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='Gef'),
        definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
            gef <- copy(object)
            BTi <- indexI(gef)
            BTi <- truncDay(BTi)
            ind.rep <- cumsum(c(1, diff(BTi, units='days')!=0))
            GefI <- gef@GefI
            GOI <- gef@GOI
            solI <- gef@solI
            solD <- gef@solD[ind.rep]
            Ta <- gef@Ta
            if(length(Ta[[1]]!=length(GefI[[1]]))) Ta <- Ta[ind.rep]
            if(complete){
                data <- data.table(solI,
                                   GOI[, Dates := NULL],
                                   solD[, Dates := NULL],
                                   Ta[, Dates := NULL],
                                   GefI[, Dates := NULL])
            } else {
                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
            GOI <- prodpvps@GOI
            solI <- prodpvps@solI
            solD <- prodpvps@solD[ind.rep]
            Ta <- prodpvps@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)
        }
        )
```

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

A.4.2. as.data.tableD

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

setMethod('as.data.tableD',
          signature=(object='Sol'),
          definition=function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
              sol <- copy(object)
              solD <- sol@solD
              data <- solD
              if(day){
                  ind <- indexD(object)
                  data[, day := doy(ind)]
                  data[, month := month(ind)]
                  data[, year := year(ind)]
              }
              return(data)
          }
          )

setMethod('as.data.tableD',
          signature = (object='G0'),
          definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
              g0 <- copy(object)
              G0D <- g0@G0D
              solD <- g0@solD
              if(complete){
                  data <- data.table(G0D, solD[, Dates := NULL])
              } else {
                  G0D[, Fd := NULL]
                  G0D[, Kt := NULL]
                  data <- G0D
              }
              if(day){
                  ind <- indexD(object)
                  data[, day := doy(ind)]
                  data[, month := month(ind)]
                  data[, year := year(ind)]
              }
              return(data)
          })

setMethod('as.data.tableD',
          signature = (object='Gef'),
          definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
              gef <- copy(object)
              GefD <- gef@GefD
              G0D <- gef@G0D
              solD <- gef@solD
```

```
            if(complete){
                data <- data.table(GefD,
                                   GOD[, Dates := NULL],
                                   solD[, Dates := NULL])
            } else {data <- GefD[, c('Dates', 'Gefd',
                                     'Defd', 'Befd')]}
            if(day){
                ind <- indexD(object)
                data[, day := doy(ind)]
                data[, month := month(ind)]
                data[, year := year(ind)]
            }
            return(data)
        }
        )

setMethod('as.data.tableD',
        signature = (object='ProdGCPV'),
        definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
            prodgcpv <- copy(object)
            prodD <- prodgcpv@prodD
            GefD <- prodgcpv@GefD
            GOD <- prodgcpv@GOD
            solD <- prodgcpv@solD
            if(complete){
                data <- data.table(prodD,
                                   GefD[, Dates := NULL],
                                   GOD[, Dates := NULL],
                                   solD[, Dates := NULL]
                                   )
            } else { data <- prodD[, c('Dates', 'Eac',
                                       'Edc', 'Yf')]}
            if(day){
                ind <- indexD(object)
                data[, day := doy(ind)]
                data[, month := month(ind)]
                data[, year := year(ind)]
            }
            return(data)
        }
        )

setMethod('as.data.tableD',
        signature = (object='ProdPVPS'),
        definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
            prodpvps <- copy(object)
            prodD <- prodpvps@prodD
            GefD <- prodpvps@GefD
            GOD <- prodpvps@GOD
            solD <- prodpvps@solD
            if(complete){
                data <- data.table(prodD,
                                   GefD[, Dates := NULL],
                                   GOD[, Dates := NULL],
                                   solD[, Dates := NULL]
                                   )
            } else { data <- prodD[, c('Dates', 'Eac',
                                       'Qd', 'Yf')]}
```

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

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

A.4.3. as.data.tableM

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

setMethod('as.data.tableM',
          signature=(object='G0'),
          definition=function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
              g0 <- copy(object)
              G0dm <- g0@G0dm
              data <- G0dm
              if(day){
                  ind <- indexD(object)
                  data[, month := month(ind)]
                  data[, year := year(ind)]
              }
              return(data)
          }
          )

setMethod('as.data.tableM',
          signature=(object='Gef'),
          definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
              gef <- copy(object)
              Gefdm <- gef@Gefdm
              G0dm <- gef@G0dm
              if(complete){
                  data <- data.table(Gefdm, G0dm[, Dates := NULL])
              } else {data <- Gefdm}
              if(day){
                  ind <- indexD(object)
                  data[, month := month(ind)]
                  data[, year := year(ind)]
              }
              return(data)
          }
          )

setMethod('as.data.tableM',
          signature = (object='ProdGCPV'),
          definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
              prodgcpv <- copy(object)
              prodDm <- prodgcpv@prodDm
              Gefdm <- prodgcpv@Gefdm
              G0dm <- prodgcpv@G0dm
              if(complete){
```

```
                data <- data.table(prodDm,
                                   Gefdm[, Dates := NULL],
                                   G0dm[, Dates := NULL])
            } else {data <- prodDm}
            if(day){
                ind <- indexD(object)
                data[, month := month(ind)]
                data[, year := year(ind)]
            }
            return(data)
        }
        )

setMethod('as.data.tableM',
        signature = (object='ProdPVPS'),
        definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
            prodpvps <- copy(object)
            prodDm <- prodpvps@prodDm
            Gefdm <- prodpvps@Gefdm
            G0dm <- prodpvps@G0dm
            if(complete){
                data <- data.table(prodDm,
                                   Gefdm[, Dates := NULL],
                                   G0dm[, Dates := NULL])
            } else {data <- prodDm}
            if(day){
                ind <- indexD(object)
                data[, month := month(ind)]
                data[, year := year(ind)]
            }
            return(data)
        }
        )
```

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, GOy[, 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
            GOy <- prodgcpv@GOy
            if(complete){
                data <- data.table(prody,
                                   Gefy[, Dates := NULL],
                                   GOy[, 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
            GOy <- prodpvps@GOy
            if(complete){
                data <- data.table(prody,
                                   Gefy[, Dates := NULL],
                                   GOy[, Dates := NULL])
            } else {data <- prody}
            if(day){data[, year := Dates]}
            return(data)
        }
        )
```

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

A.4.5. compare

```
## compareFunction: no visible binding for global variable ‘name'
## compareFunction: no visible binding for global variable ‘x'
## compareFunction: no visible binding for global variable ‘y'
## compareFunction: no visible binding for global variable ‘group.value'

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

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

compareFunction <- function(..., vars){
```

```
    dots <- list(...)
    nms0 <- substitute(list(...))
    if (!is.null(names(nms0))){ ##in do.call
        nms <- names(nms0[-1])
    } else {
        nms <- as.character(nms0[-1])
    }
    foo <- function(object, label){
        yY <- colMeans(as.data.tableY(object, complete = TRUE)[, ..vars])
        yY <- cbind(stack(yY), name=label)
        yY
    }
    cdata <- mapply(FUN=foo, dots, nms, SIMPLIFY=FALSE)
    z <- do.call(rbind, cdata)
    z$ind <- ordered(z$ind, levels=vars)
    p <- dotplot(ind~values, groups=name, data=z, type='b',
                 par.settings=solaR.theme)
    print(p+glayer(panel.text(x[length(x)], y[length(x)],
                              label=group.value, cex=0.7, pos=3, srt=45)))
    return(z)
}


setMethod('compare',
          signature='G0',
          definition=function(...){
            vars <- c('D0d', 'B0d', 'G0d')
            res <- compareFunction(..., vars=vars)
            return(res)
          }
          )

setMethod('compare',
          signature='Gef',
          definition=function(...){
            vars <- c('Defd', 'Befd', 'Gefd')
            res <- compareFunction(..., vars=vars)
            return(res)
          }
          )

setMethod('compare',
          signature='ProdGCPV',
          definition=function(...){
            vars <- c('G0d', 'Gefd', 'Yf')
            res <- compareFunction(..., vars=vars)
            return(res)
          }
          )
```

Extracto de código A.44: *compare*

A.4.6. getData

```
## extracts the data for class Meteo ##
setGeneric('getData', function(object){standardGeneric('getData')})

### getData ####
```

```
setMethod('getData',
          signature = (object = 'Meteo'),
          definition = function(object){
              result <- object@data
              return(result)
          })
```

Extracto de código A.45: *getData*

A.4.7. getG0

```
## extracts the global irradiance for class Meteo ##
setGeneric('getG0', function(object){standardGeneric('getG0')})

### getG0 ###
setMethod('getG0',
          signature = (object = 'Meteo'),
          definition = function(object){
              result <- getData(object)
              return(result$G0)
          })
```

Extracto de código A.46: *getG0*

A.4.8. getLat

```
## extracts the latitude from the objects ##
setGeneric('getLat', function(object, units = 'rad')
{standardGeneric('getLat')})

## extracts the latitude from the objects ##
setGeneric('getLat', function(object, units = 'rad')
{standardGeneric('getLat')})

setMethod('getLat',
          signature = (object = 'Meteo'),
          definition = function(object, units = 'rad'){
              stopifnot(units %in% c('deg', 'rad'))
              result = switch(units,
                              rad = d2r(object@latm),
                              deg = object@latm)
              return(result)
          })
```

Extracto de código A.47: *getLat*

A.4.9. indexD

```
## extract the index of the daily data ##
setGeneric('indexD', function(object){standardGeneric('indexD')})
### indexD ###
setMethod('indexD',
          signature = (object = 'Sol'),
          definition = function(object){as.POSIXct(object@solD$Dates)
          })

setMethod('indexD',
          signature = (object = 'Meteo'),
```

```
          definition = function(object){as.POSIXct(getData(object)$Dates)})
```

Extracto de código A.48: *indexD*

A.4.10. indexI

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

Extracto de código A.49: *indexI*

A.4.11. levelplot

```
setGeneric('levelplot')

setMethod('levelplot',
          signature=c(x='formula', data='Meteo'),
          definition=function(x, data,
                              par.settings = solaR.theme,
                              panel = panel.levelplot.raster, interpolate = TRUE
    ,
                              xscale.components = xscale.solar,
                              yscale.components = yscale.solar,
                              ...){
              data0=getData(data)
              ind=data0$Dates
              data0$day=doy(ind)
              data0$month=month(ind)
              data0$year=year(ind)
              data0$w=h2r(hms(ind)-12)
              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='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

```
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
          }
          )

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
                Nm=1/sample2Hours(object@sample)
                datI <- as.data.tableI(object, complete=TRUE)
                if (object@type=='prom'){
                    datI[, DayOfMonth := DOM(datI)]
                    YfDC0 <- datI[, sum(Vmpp*Impp/Pg*DayOfMonth, na.rm = TRUE),
                                  by = month(Dates)][[2]]
                    YfDC0 <- sum(YfDC0, na.rm = TRUE)
                    YfAC0 <- datI[, sum(Pdc*EffI/Pg*DayOfMonth, na.rm = TRUE),
                                  by = month(Dates)][[2]]
                    YfAC0 <- sum(YfAC0, na.rm = TRUE)
                } else {
                    datI[, DayOfMonth := DOM(datI)]
                    YfDC0 <- datI[, sum(Vmpp*Impp/Pg*DayOfMonth, na.rm = TRUE),
                                  by = year(Dates)][[2]]
                    YfAC0 <- datI[, sum(Pdc*EffI/Pg*DayOfMonth, na.rm = TRUE),
                                  by = year(Dates)][[2]]
                }
                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)
                result <- data.table(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 <- melt(z, id.vars = 'name')
            p <- dotplot(variable~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)
              if(!is.null(j)) j <- truncDay(j)
              d1 <- indexD(x)
              d2 <- indexI(x)
              x@solD <- x@solD[(d1 >= i & d1 <= j)]
              x@solI <- x@solI[(d2 >= i & d2 <= j)]
              x
          }
          )

setMethod('[',
          signature='G0',
          definition=function(x, i, j, ...){
              sol <- as(x, 'Sol')[i=i, j=j, ...] ##Sol method
              meteo <- as(x, 'Meteo')[i=i, j=j, ...] ##Meteo method
              i <- indexI(sol)[1]
              j <- indexI(sol)[length(indexI(sol))]
              d1 <- indexD(x)
              d2 <- indexI(x)
              G0Iw <- x@G0I[(d2 >= i & d2 <= j)]
              Taw <- x@Ta[(d2 >= i & d2 <= j)]
              G0dw <- x@G0D[(d1 >= truncDay(i) & d1 <= truncDay(j))]
              G0dmw <- G0dw[, lapply(.SD/1000, mean, na.rm= TRUE),
                            .SDcols = c('G0d', 'D0d', 'B0d'),
                            by = .(month(Dates), year(Dates))]
              if (x@type=='prom'){
                  G0dmw[, DayOfMonth := DOM(G0dmw)]
                  G0yw <- G0dmw[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
                                .SDcols = c('G0d', 'D0d', 'B0d'),
                                by = .(Dates = year)]
                  G0dmw[, DayOfMonth := NULL]
```

```
            } else {
                G0yw <- G0dw[, lapply(.SD/1000, sum, na.rm = TRUE),
                             .SDcols = c('G0d', 'D0d', 'B0d'),
                             by = .(Dates = year(unique(truncDay(Dates))))]
            }
            G0dmw[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
            G0dmw[, c('month', 'year') := NULL]
            setcolorder(G0dmw, 'Dates')
            result <- new('G0',
                          meteo,
                          sol,
                          G0D=G0dw,
                          G0dm=G0dmw,
                          G0y=G0yw,
                          G0I=G0Iw,
                          Ta=Taw)
            result
        }
        )


setMethod('[',
        signature='Gef',
        definition=function(x, i, j, ...){
            g0 <- as(x, 'G0')[i=i, j=j, ...] ##G0 method
            i <- indexI(g0)[1]
            j <- indexI(g0)[length(indexI(g0))]
            d1 <- indexD(x)
            d2 <- indexI(x)
            GefIw <- x@GefI[(d2 >= i & d2 <= j)]
            Thetaw <- x@Theta[(d2 >= i & d2 <= j)]
            Gefdw <- x@GefD[(d1 >= truncDay(i) & d1 <= truncDay(j))]
            nms <- c('Bod', 'Bnd', 'Gd', 'Dd',
                     'Bd', 'Gefd', 'Defd', 'Befd')
            Gefdmw <- Gefdw[, lapply(.SD/1000, mean, na.rm = TRUE),
                            .SDcols = nms,
                            by = .(month(Dates), year(Dates))]
            if (x@type=='prom'){
                Gefdmw[, DayOfMonth:= DOM(Gefdmw)]
                Gefyw <- Gefdmw[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum),
                                .SDcols = nms,
                                by = .(Dates = year)]
                Gefdmw[, DayOfMonth := NULL]
            } else {
                Gefyw <- Gefdw[, lapply(.SD/1000, sum, na.rm = TRUE),
                               .SDcols = nms,
                               by = .(Dates = year)]
            }
            Gefdmw[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
            Gefdmw[, c('month', 'year') := NULL]
            setcolorder(Gefdmw, 'Dates')
            result <- new('Gef',
                          g0,
                          GefD=Gefdw,
                          Gefdm=Gefdmw,
                          Gefy=Gefyw,
                          GefI=GefIw,
                          Theta=Thetaw,
```

```
                              iS=x@iS,
                              alb=x@alb,
                              modeTrk=x@modeTrk,
                              modeShd=x@modeShd,
                              angGen=x@angGen,
                              struct=x@struct,
                              distances=x@distances
                              )
                  result
              }
              )


setMethod('[',
              signature='ProdGCPV',
              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[, lapply(.SD/1000, mean, na.rm = TRUE),
                                    .SDcols = c('Eac', 'Edc'),
                                    by = .(month(Dates), year(Dates))]
                  prodDmw$Yf <- prodDw$Yf
                  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)]
                }
                  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)]
            }
            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

```
######################################################################
## 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.frame', 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
      <Date>    <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
2: 2007-07-03 8.710291 8.691992 8.655395 8.710291 8.737740 8.792637 8.774338
3: 2007-07-04 8.746889 8.737740 8.865832 8.737740 8.765188 8.838384 8.810935
4: 2007-07-05 8.280266 8.271117 8.408359 8.280266 8.344313 8.380911 8.353462
5: 2007-07-06 8.399209 8.417508 8.509003 8.435807 8.490704 8.490704 8.499854
6: 2007-07-07 8.197921 8.170473 8.335163 8.225370 8.243669 8.307715 8.298565
          8        9       10       11       12       13       14       15
      <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>
1: 8.948177 8.948177 8.984775 8.783487 8.865832 8.966476 8.884131 8.774338
2: 8.774338 8.746889 8.801786 8.545601 8.682843 8.774338 8.691992 8.591348
3: 8.792637 8.801786 8.829234 8.545601 8.618797 8.829234 8.719441 8.618797
4: 8.362612 8.316864 8.380911 8.179622 8.271117 8.353462 8.280266 8.207071
5: 8.527302 8.472405 8.509003 8.316864 8.426658 8.490704 8.435807 8.344313
6: 8.280266 8.243669 8.326014 8.152174 8.161323 8.316864 8.234519 8.143024
         16       17       18       19       20       21       22
      <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>    <num>
1: 8.829234 8.627946 8.911580 8.807886 6.505270 3.742131 3.980018
2: 8.646245 8.426658 8.710291 8.563900 3.952569 4.080662 3.238911
```

```
3: 8.664544 8.426658 8.728590 8.612697 6.331430 1.363270 1.043039
4: 8.261968 8.188772 7.950886 8.222320 5.498829 3.998316 2.461206
5: 8.408359 8.371761 8.463256 8.332113 6.551017 5.361587 4.959010
6: 8.179622 8.170473 8.243669 8.161323 6.669960 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
   <int>  <int> <num> <int>      <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
2:     2      9   2.6   370 0.02114604 0.027864  -5.4486 -0.32  0.74  0.22 -0.1614
3:     2     13   2.6   550 0.03054428 0.040248  -7.8702 -0.12  0.49  0.27 -0.1614
4:     2     18   2.6   750 0.04229208 0.055728 -10.8972 -0.16  0.42  0.47 -0.1614
5:     2     23   2.6  1100 0.05403988 0.071208 -13.9242 -0.20  0.51  0.42 -0.1614
6:     2     28   2.6  1500 0.06578768 0.086688 -16.9512 -0.24  0.50  0.49 -0.1614
       k      l
    <num>  <num>
1: 0.5247 0.0694
2: 0.5247 0.0694
3: 0.5247 0.0694
4: 0.5247 0.0694
5: 0.5247 0.0694
6: 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.

[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.

[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/.

[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/.

[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.