



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, 22 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 general	IX
Índice de figuras	XI
Nomenclatura	XIII
1 Introducción	1
1.1. Objetivos	1
1.2. Análisis previo de soluciones	3
1.3. Aspectos técnicos	3
2 Estado del arte	7
2.1. Situación actual de la generación fotovoltaica	7
2.2. Solución actual y sus carencias	9
3 Marco teórico	11
3.1. Naturaleza de la radiación solar	11
3.2. Radiación en superficies inclinadas	14
3.3. Cálculo de la energía producida por el generador	18
4 Desarrollo del código	25
4.1. Geometría solar.	25
5 Ejemplo práctico de aplicación	33
5.1. <code>solaR</code>	33
5.2. <code>PVsyst</code>	33
5.3. <code>solaR</code>	33
5.4. Comparación entre los tres	33
A Código completo	35
A.1. Constructores	35
A.2. Clases	58
A.3. Funciones	61
A.4. Métodos	89
A.5. Conjunto de datos	113
Bibliografía	115

Índice de figuras

3.1. Procedimiento de cálculo	12
3.2. Perfil de irradiancia difusa y global obtenido a partir del generador empírico de [CR79] para valores de irradiancia tomadas cada 10 minutos	15
3.3. Ángulo de visión del cielo	16
3.4. Pérdidas angulares de un módulo fotovoltaico para diferentes grados de suciedad en función del ángulo de incidencia.	17
3.5. Curvas corriente-tensión(línea discontinua) y potencia-tensión(línea continua) de una célula solar ($T_a = 20^\circ C$ y $G = 800 W/m^2$)	19
3.6. Evolución de la eficiencia de células según la tecnología (según el National Renewable Energy Laboratory [Nat24] (EEUU)).	20
4.1. Proceso de cálculo de las funciones de solaR2	26
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.	26

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

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 fotovoltaicos 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 preprocesador de textos L^AT_EX (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 diseñada por el **Grupo de Sistemas Fotovoltaicos del Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid**.

3. PVGIS

Aplicación web desarrollada 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 capítulo 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:

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

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

```
1 import(pkgExt)
```

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

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

Manejo de clases y métodos

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

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

- Para usar clases y métodos **S4**:

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

- Para registrar clases **S4**:

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

- Para registrar métodos **S4**:

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

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

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

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}
```

Estado del arte

2.1. Situación actual de la generación fotovoltaica

Según el informe anual de 2023 de la UNEF¹ [UNE23] en 2022 la fotovoltaica se posicionó como la tecnología con más crecimiento a nivel internacional, tanto entre las renovables como entre las no renovables. Se instalaron 240 GWp de nueva capacidad fotovoltaica a nivel mundial, suponiendo esto un incremento del 137 % con respecto a 2021.

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

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

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

El año 2022 fue significativo en términos legislativos con el lanzamiento del Plan REPowerEU² [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.

¹UNEF: Unión Española Fotovoltaica.

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

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

El Plan SE+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 PERTE⁴, 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 PIB⁵, un 51 % más que el año anterior, y generando una huella económica total de 15.656 millones de euros. En términos de empleo, el sector involucró a 197.383 trabajadores, de los cuales 40.683 fueron directos, 97.600 indirectos y 59.100 inducidos.

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

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 Fovotvoltaica para contribuir significativamente a la reindustrialización de la economía, aprovechando las medidas del REPower Plan, la Estrategia Solar y la Alianza de al Industria Solar Fovotvoltaica.

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.

³Plan + 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.

⁴PERTE: Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica.

⁵PIB: Producto Interior Bruto.

2.2. Solución actual y sus carencias

Como se mencionó en el capítulo 1 este proyecto toma su base en el paquete **solar** [Per12], el cual es una herramienta robusta para el cálculo de la radiación solar y el rendimiento de sistemas fotovoltaicos. Este paquete está diseñado utilizando clases **S4** en **R**, y su núcleo se basa en series temporales multivariantes almacenadas en objetos de la clase **zoo**. El paquete permite realizar investigaciones reproducibles sobre el rendimiento de sistemas fotovoltaicos y la radiación solar, proporcionando métodos para calcular la geometría solar, la radiación incidente sobre un 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 paquetes y herramientas en el ecosistema de **R**, facilitando la interoperabilidad y la construcción de pipelines 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 proporcional en el uso de recursos, haciendo que las operaciones sean más sostenibles en términos de memoria.

Por lo tanto, al adoptar **data.table** en **solar2**, se abordarían estas limitaciones, proporcionando un paquete más robusto y capaz de manejar los desafíos actuales en el análisis de datos de radiación solar y de producción de sistemas fotovoltaicos.

Marco teórico

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

1. 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 irradiación 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 módulos 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.

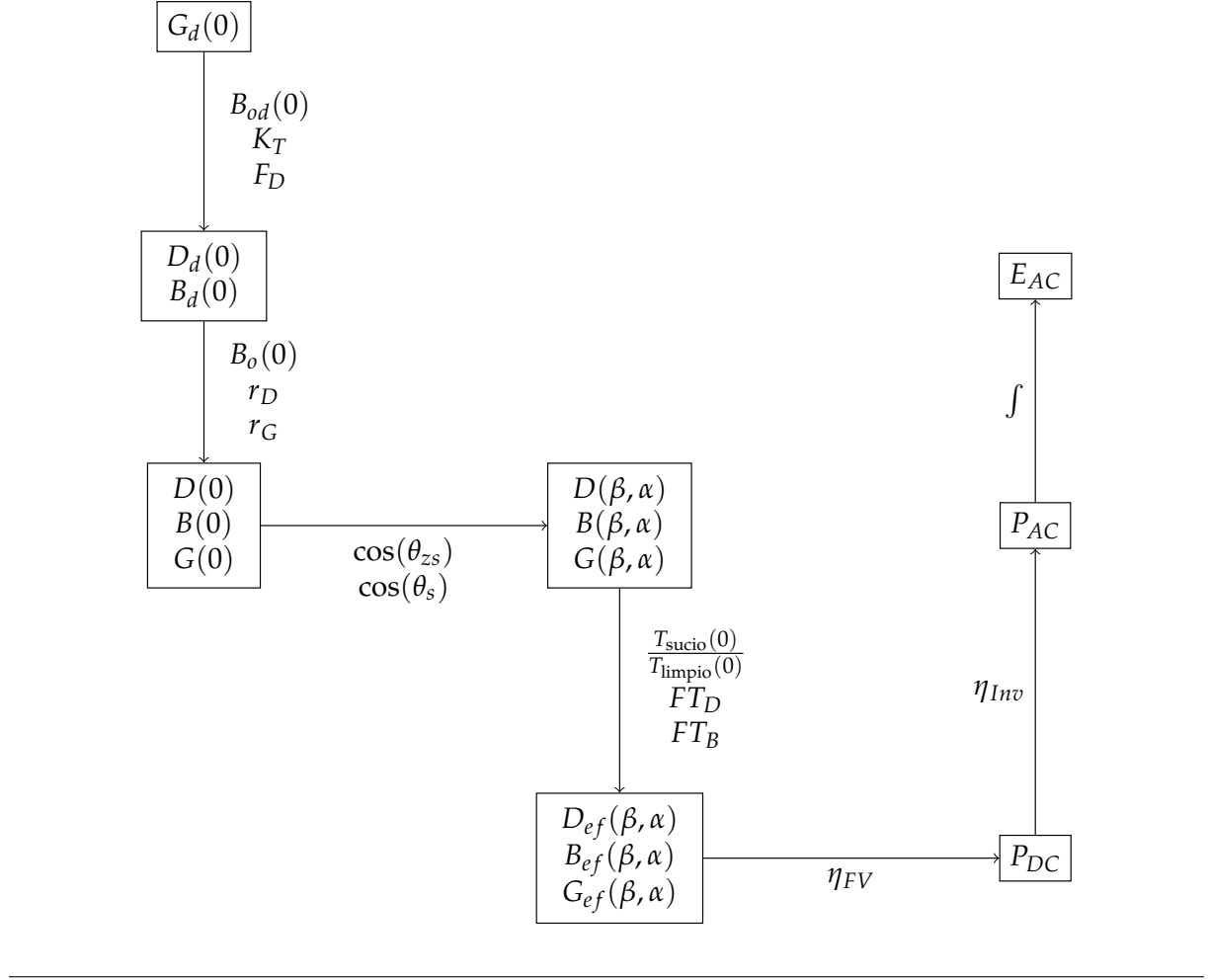


FIGURA 3.1: Procedimiento de cálculo

- **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:

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

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

3.1.1. Radiación fuera de la atmósfera terrestre

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

tangente a la atmosfera en ua latitud concreta, debemos aplicar un facot de corrección de la excentricidad de la elipse:

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

Siendo cada componente:

- Constante solar: $B_0 = 1367 \frac{W}{m^2}$
- Factor de corrección por excentricidad: $\epsilon_0 = (\frac{r_0}{r})^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos(\frac{2\pi d_n}{365})^1$
- Ángulo zenital solar: $\cos(\theta_{zs}) = \cos(\delta) \cos(\omega) \cos(\phi) + \sin(\delta) \sin(\phi)$ ² {Ángulo cenital solar}

Donde:

- Declinación: $\delta = 23,45^\circ \cdot \sin(\frac{2\pi \cdot (d_n + 284)}{365})$
- 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: $EoT = 229,18 \cdot (-0,0334 \cdot \sin(\frac{2\pi}{365,24} \cdot d_n) + 0,04184 \cdot \sin(2 \cdot \frac{2\pi}{365,24} \cdot d_n + 3,5884))$

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

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

Siendo:

- Ángulo del amanecer:

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

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

¹Para 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.

²Se 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}

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

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

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

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

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

Donde:

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

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

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

3.2. Radiación en superficies inclinadas

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

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

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

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

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

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

Donde:

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

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

3.2.1. Transformación al plano del generador

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

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

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

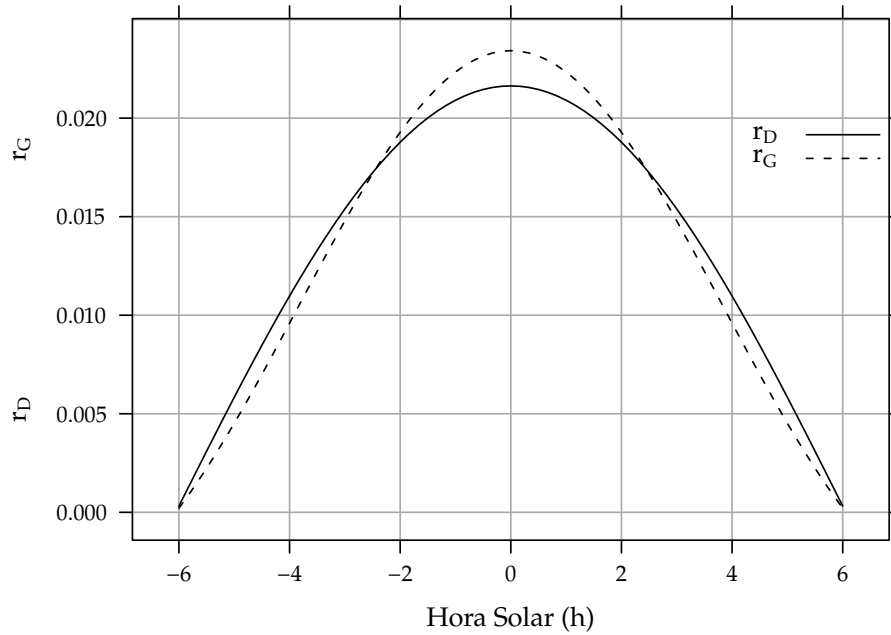


FIGURA 3.2: Perfil de irradiancia difusa y global obtenido a partir del generador empírico de [CR79] para valores de irradiancia tomadas cada 10 minutos

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

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

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

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

Donde:

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

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

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

3.2.2. Ángulo de incidencia y suciedad

En un módulo fotovoltaico, la radiación incidente generalmente no es perpendicular a la superficie del módulo, lo que provoca pérdidas por reflexión o pérdidas angulares, cuantificadas por el ángulo de incidencia 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:

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

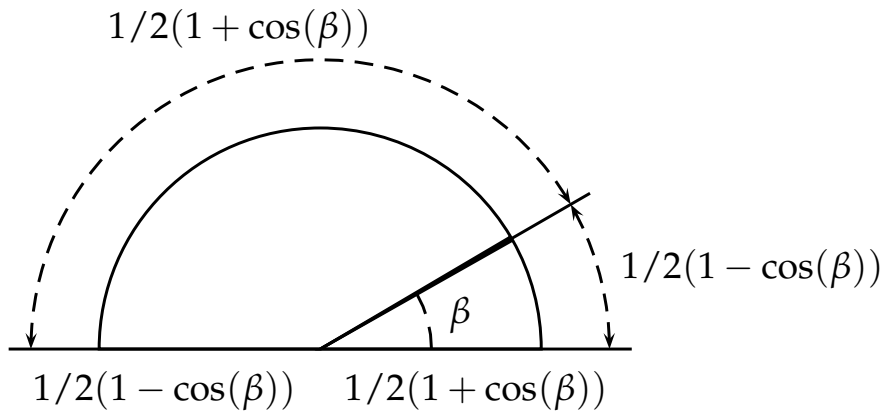


FIGURA 3.3: Ángulo de visión del cielo

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

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

Este factor depende el ángulo de incidencia θ_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 60° , y se acentúan con mayor suciedad.

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

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

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

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)

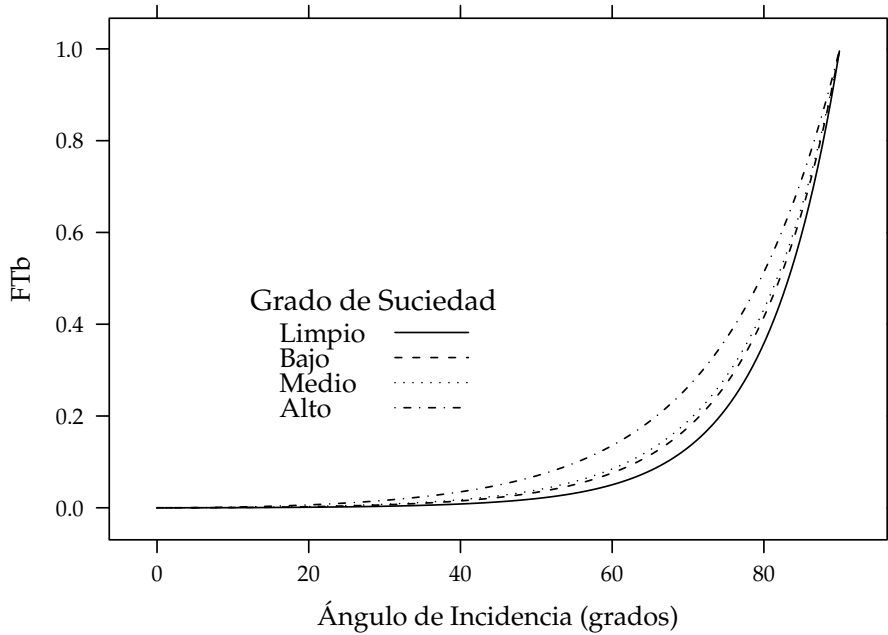


FIGURA 3.4: Pérdidas angulares de un módulo fotovoltaico para diferentes grados de suciedad en función del ángulo de incidencia.

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):

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

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

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

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

3.3. Cálculo de la energía producida por 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).

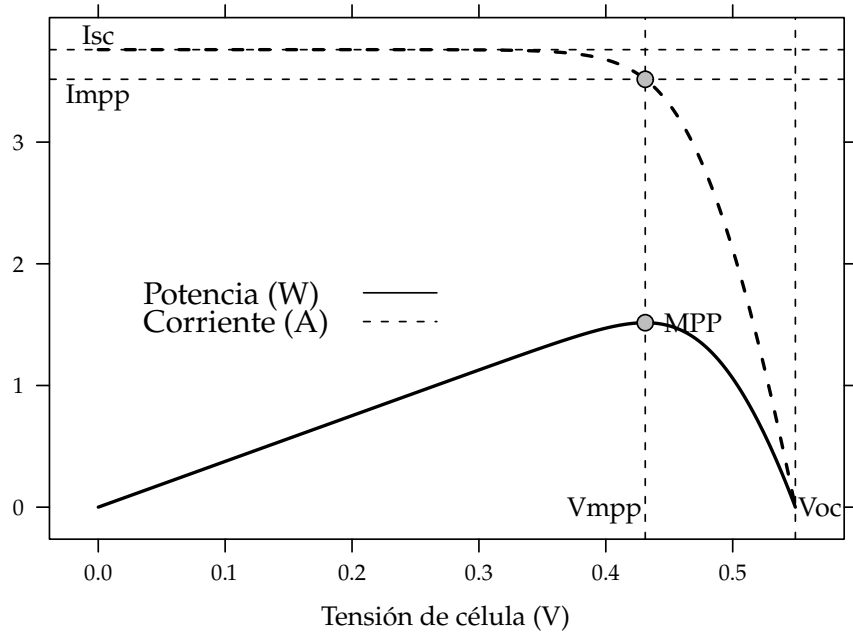


FIGURA 3.5: Curvas corriente-tensión(línea discontinua) y potencia-tensión(línea continua) de una célula solar ($T_a = 20^\circ C$ y $G = 800 W/m^2$)

Factor de forma y eficiencia

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

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

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).

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

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

Influencia de la temperatura y la radiación

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

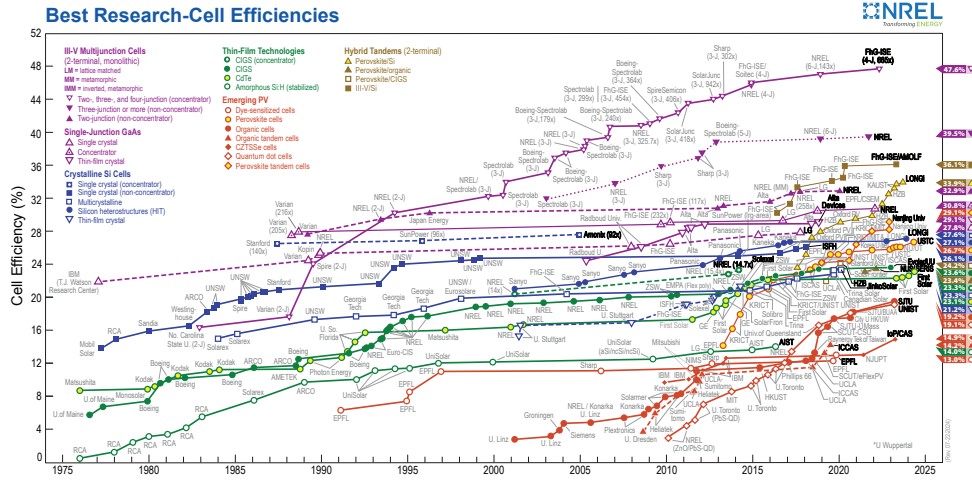


FIGURA 3.6: Evolución de la eficiencia de células según la tecnología (según el National Renewable Energy Laboratory [Nat24] (EEUU)).

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

Tomando en cuenta 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: $G_{stc} = 1000 W/m^2$ con incidencia normal. {Irradiancia incidente en condiciones estándar de medida}
- Temperatura de célula: $T_c^* = 25^\circ C$.
- 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 que definen el comportamiento de un módulo fotovoltaico se establecen en lo que se conocen como condiciones estándar de funcionamiento. En estas condiciones, la temperatura de la célula es de $25^\circ C$. Sin embargo, la temperatura de operación

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

⁴Es 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*: $T_a = 20^\circ C$.
- 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:

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

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

Cálculo de V_{oc} y I_{sc}

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

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

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

Factor de forma variable

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

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

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

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

entonces

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

donde:

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

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

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

Teniendo estos valores se puede obtener:

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

3.3.3. Cálculo de potencias y energías

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.

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

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

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

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

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

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

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

De las dos ecuaciones anteriores se puede deducir:

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

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

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

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

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

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

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

y la productividad:

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

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] calcula todos los ángulos y componentes que caracterizan la geometría solar. Como se puede ver en la figura 4.2, **calcSol** funciona gracias a dos 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 partir de la función **bo0d**.

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

Key: <Dates>

	Dates	lat	decl	eo	EoT	ws	Bo0d
	<IDat>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>	<num>
1:	2024-01-17	40	-0.36271754	1.0340422	-0.0455346238	-1.246707	4260.913
2:	2024-02-14	40	-0.22850166	1.0259717	-0.0614793356	-1.374392	5696.512
3:	2024-03-15	40	-0.03191616	1.0107943	-0.0368674274	-1.544003	7744.914
4:	2024-04-15	40	0.17531794	0.9926547	0.0017482721	-1.719984	9731.571

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

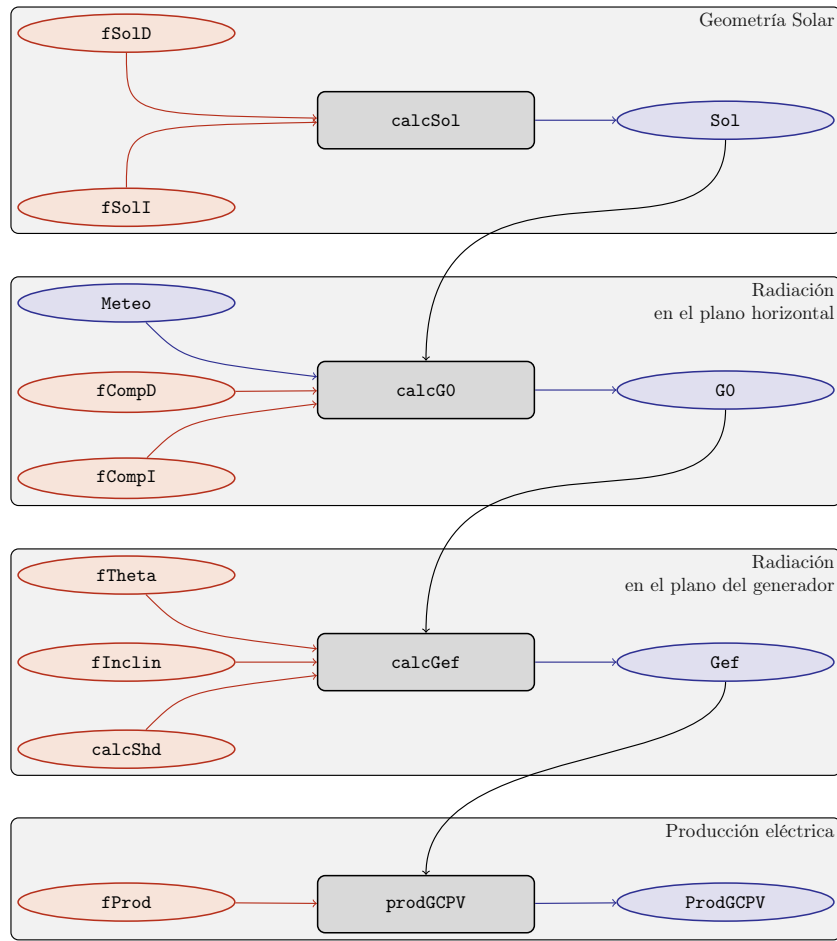


FIGURA 4.1: Proceso de cálculo de las funciones de *solar2*

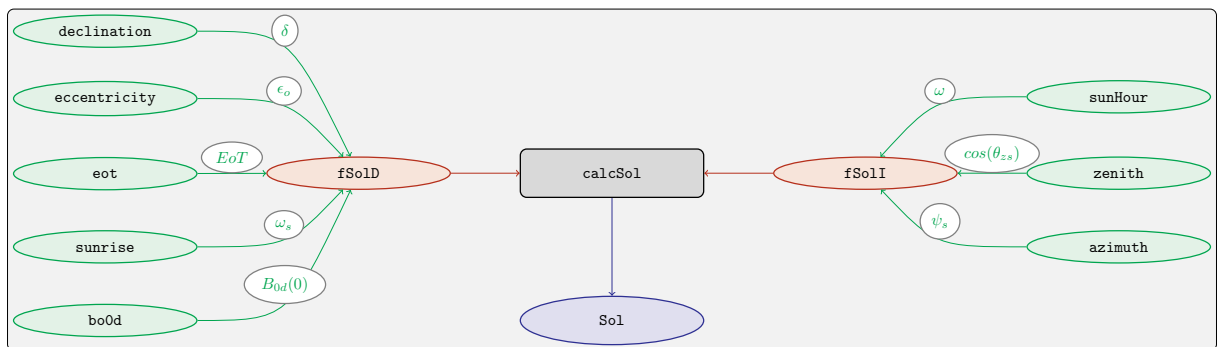


FIGURA 4.2: Cálculo de la geometría solar mediante la función `calcSol`, la cual unifica las funciones `fSolD` y `fSolI` resultando en un objeto clase `Sol` el cual contiene toda la información geométrica necesaria para realizar las siguientes estimaciones.


```

5: 2024-05-15    40  0.33246485 0.9775162  0.0143055938 -1.864736 11068.270
6: 2024-06-10    40  0.40257826 0.9691480 -0.0007378952 -1.936192 11597.374
7: 2024-07-18    40  0.36439367 0.9675489 -0.0263454380 -1.896584 11241.588
8: 2024-08-18    40  0.22407398 0.9758022 -0.0111761118 -1.763213 10037.033
9: 2024-09-18    40  0.02730595 0.9907919  0.0342189964 -1.593716  8210.584
10: 2024-10-19   40 -0.17900474 1.0088406  0.0689613044 -1.418379  6139.354
11: 2024-11-18   40 -0.33862399 1.0245012  0.0575423573 -1.270794  4482.035
12: 2024-12-13   40 -0.40478283 1.0328516  0.0158622941 -1.203058  3802.318

```

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

```

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

```

Key: <Dates>

	Dates <IDat>	lat <num>	decl <num>	eo <num>	EoT <num>	ws <num>	BoOd <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

```

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

```

Key: <Dates>

	Dates <IDat>	lat <num>	decl <num>	eo <num>	EoT <num>	ws <num>	BoOd <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

```

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

```

Key: <Dates>

	Dates <IDat>	lat <num>	decl <num>	eo <num>	EoT <num>	ws <num>	BoOd <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 (calculada 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 anterior³.
- 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 excentricidad (calculada en **fSold**) [ecuación 3.2].

```

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

```

```

Index: <night>
      Dates    lat    w  night    cosThzS    ALS    AzS    Bo0
      <POS<    <num>    <num> <lgcl>    <num>    <num>    <num>    <num>
1: 2024-01-17 00:00:00    40  3.09905026  TRUE -0.94362605 -1.23341900  3.02117859  0.0000
2: 2024-01-17 01:00:00    40 -2.92239722  TRUE -0.92713728 -1.18669958 -2.56815069  0.0000
3: 2024-01-17 02:00:00    40 -2.66065932  TRUE -0.86303058 -1.04123862 -2.11373529  0.0000
4: 2024-01-17 03:00:00    40 -2.39892132  TRUE -0.75567263 -0.85668051 -1.83479587  0.0000
5: 2024-01-17 04:00:00    40 -2.13718324  TRUE -0.61237625 -0.65906286 -1.63492717  0.0000
6: 2024-01-17 05:00:00    40 -1.87544507  TRUE -0.44290226 -0.45883317 -1.46851718  0.0000
7: 2024-01-17 06:00:00    40 -1.61370681  TRUE -0.25879466 -0.26177415 -1.31325645  0.0000
8: 2024-01-17 07:00:00    40 -1.35196846  TRUE -0.07259424 -0.07265815 -1.15564315  0.0000
9: 2024-01-17 08:00:00    40 -1.09023003  FALSE  0.10301563  0.10319871 -0.98536387 145.6163
10: 2024-01-17 09:00:00    40 -0.82849151  FALSE  0.25607296  0.25895750 -0.79338297 361.9683
11: 2024-01-17 10:00:00    40 -0.56675290  FALSE  0.37615192  0.38563969 -0.57251788 531.7042
12: 2024-01-17 11:00:00    40 -0.30501420  FALSE  0.45507309  0.47245429 -0.32078152 643.2621
13: 2024-01-17 12:00:00    40 -0.04327541  FALSE  0.48746054  0.50917897 -0.04634006 689.0429
14: 2024-01-17 13:00:00    40  0.21846346  FALSE  0.47110809  0.49054659  0.23178786 665.9281
15: 2024-01-17 14:00:00    40  0.48020243  FALSE  0.40712958  0.41930919  0.49254063 575.4922
16: 2024-01-17 15:00:00    40  0.74194148  FALSE  0.29988299  0.30457000  0.72379629 423.8953
17: 2024-01-17 16:00:00    40  1.00368062  FALSE  0.15667361  0.15732176  0.92469276 221.4637
18: 2024-01-17 17:00:00    40  1.26541985  TRUE -0.01274358 -0.01274392  1.10120336  0.0000
19: 2024-01-17 18:00:00    40  1.52715917  TRUE -0.19682837 -0.19812195  1.26194203  0.0000
20: 2024-01-17 19:00:00    40  1.78889857  TRUE -0.38304142 -0.39308659  1.41671214  0.0000
21: 2024-01-17 20:00:00    40  2.05063807  TRUE -0.55869839 -0.59281557  1.57757727  0.0000
22: 2024-01-17 21:00:00    40  2.31237766  TRUE -0.71183398 -0.79210598  1.76293575  0.0000
23: 2024-01-17 22:00:00    40  2.57411733  TRUE -0.83201697 -0.98273364  2.00815884  0.0000
24: 2024-01-17 23:00:00    40  2.83585709  TRUE -0.91106075 -1.14584973  2.39029855  0.0000
      Dates    lat    w  night    cosThzS    ALS    AzS    Bo0

```

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

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

³ $\gamma_s = \arcsin(\cos(\theta_s))$.

```

1 soli_nigth <- fSoli(sold = sold[1], sample = 'hour', keep.night = FALSE)
2 show(soli_nigth)

```

	Dates <POSc>	lat <num>	w <num>	night <lgcl>	cosThzS <num>	AlS <num>	AzS <num>	Bo0 <num>
1:	2024-01-17 08:00:00	40	-1.09023003	FALSE	0.1030156	0.1031987	-0.98536387	145.6163
2:	2024-01-17 09:00:00	40	-0.82849151	FALSE	0.2560730	0.2589575	-0.79338297	361.9683
3:	2024-01-17 10:00:00	40	-0.56675290	FALSE	0.3761519	0.3856397	-0.57251788	531.7042
4:	2024-01-17 11:00:00	40	-0.30501420	FALSE	0.4550731	0.4724543	-0.32078152	643.2621
5:	2024-01-17 12:00:00	40	-0.04327541	FALSE	0.4874605	0.5091790	-0.04634006	689.0429
6:	2024-01-17 13:00:00	40	0.21846346	FALSE	0.4711081	0.4905466	0.23178786	665.9281
7:	2024-01-17 14:00:00	40	0.48020243	FALSE	0.4071296	0.4193092	0.49254063	575.4922
8:	2024-01-17 15:00:00	40	0.74194148	FALSE	0.2998830	0.3045700	0.72379629	423.8953
9:	2024-01-17 16:00:00	40	1.00368062	FALSE	0.1566736	0.1573218	0.92469276	221.4637

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.

```

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

4.1.1. Radiación en el plano horizontal.

1. La información de irradiación en el plano horizontal (en todos sus componentes o, en su defecto, solo la global($G_d(0)$)) y temperatura viene dada en un objeto de clase **Meteo**.
2. Mediante la función **fCompD**, se calcula:

- La fracción de radiación difusa diaria (F_{Dd}).
 - El índice de claridad diario (K_{Td}).
 - Si solo se tienen datos de la componente global de irradiación:
 - La irradiación directa en el plano horizontal ($B_d(0)$).
 - La irradiación difusa en el plano horizontal ($D_d(0)$).
3. Mediante la función `fCompI`, se calcula:
- La fracción de radiación difusa (F_D).
 - El índice de claridad (K_T).
 - Si solo se tienen datos de la componenete global de irradiancia ($G(0)$):
 - La irradiancia directa en el plano horizontal ($B(0)$).
 - La irradiancia difusa en el plano horizontal ($D(0)$).
4. El resultado de ambas funciones junto a medias mensuales y valores anuales se consolidan en un solo objeto de clase **G0** (que incluye los objetos **Sol** y **Meteo** de los que parte) mediante la función `calcG0`.

4.1.2. Radiación en el plano del generador.

1. La información de radiación puede venir dada en forma de un objeto de clase **Meteo** o un objeto de clase **G0** (ya que es este último el que se necesita para estimar la radiación en el plano del generador).
2. Mediante la función `fTheta`, se calcula:
 - Ángulo de inclinación de la superficie del módulo (β).
 - Ángulo azimutal de la superficie del módulo (α).
 - Ángulo de incidencia de la irradiancia solar en la superficie del módulo (θ_s).
3. Mediante la función `fInclin`, se calcula:
 - La irradiancia extra-terrestre en la superficie inclinada ($B_0(\beta, \alpha)$).
 - La irradiancia directa normal ($B(n)$).
 - Las irradiancias global ($G(\beta, \alpha)$), directa ($B(\beta, \alpha)$), difusa ($D(\beta, \alpha)$)(total, isotropica y anisotrópica) y del albedo ($R(\beta, \alpha)$) sobre una superficie inclinada.
 - Las irradiancias efectivas global ($G_{ef}(\beta, \alpha)$), directa ($B_{ef}(\beta, \alpha)$), difusa ($D_{ef}(\beta, \alpha)$)(total, isotropica y anisotrópica) y del albedo ($R_{ef}(\beta, \alpha)$) sobre una superficie inclinada.
 - Los factores de pérdidas angulares para las componentes directa (FT), difusa (FT_D), y del albedo (FT_R).
4. Mediante la función `calcShd`, se puede calcular:
 - La irradiancia e irradiación incluyendo sombras para seguidores a dos ejes y horizontales y paneles fijos mediante la función `fSombra`.
5. El resultado de estas funciones junto a medias mensuales y valores anuales se consolidan en un solo objeto de clase **Gef** (que incluye el objeto **G0** del que parte) mediante la función `calcGef`.

4.1.3. Producción eléctrica.

1. Mediante la función `fProd`, se calcula:
 - La potencia en corriente continua (P_{DC}).
 - La potencia en corriente alterna (P_{AC}).
2. Estos resultados, llevados a valores diarios, mensuales y anuales, se pueden convertir en valores de energía (E_{DC} y E_{AC}) y de productividad del sistema (Y_f), los cuales se consolidan en un solo objeto de clase **ProdGCPV** (que incluye el objeto **Gef** del que parte) mediante la función `prodGCPV`.

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

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$G0dm
        BTd <- fBTd(mode='serie')
        sold <- fSold(lat, BTd)
        G0d <- markovG0(dataRad, sold)
        res <- dt2Meteo(G0d, lat=lat, source='aguilar')
    }, #End of aguilar
    bdI = {
        if (!is.list(dataRad)) dataRad <- list(file=dataRad)
        switch(class(dataRad$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'

```

```

        GOD=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 {
    radHoriz <- as(dataRad, 'G0') #use a prev calculation
  }

  ### 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 'GO'
            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 calcGO, calcGef or prodGCPV calculation.

    stopifnot(class(dataRad) %in% c('GO', 'Gef', 'ProdGCPV'))
    radEf <- switch(class(dataRad),
                    GO=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,
             prodD=prodD,
             prodDm=prodDm,
             prody=prody,
             #contains 'Gef'

```



```

        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, 'GO')
    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 <- 'G0d'
    if(all(c('D0d', 'B0d') %in% names(bd))){
      nms0 <- c(nms0, 'D0d', 'B0d')
    }
    nms0 <- c(nms0, 'Ta')
    if(all(c('TempMin', 'TempMax') %in% names(bd))){
      nms0 <- c(nms0, 'TempMin', 'TempMax')
    }
    nms0
  },
  bdI = {
    nms0 <- 'G0'
    if(all(c('D0', 'B0') %in% names(bd))){
      nms0 <- c(nms0, 'D0', 'B0')
    }
    if('Ta' %in% names(bd)){
      nms0 <- c(nms0, 'Ta')
    }
    nms0
  })

## Columns order and set key
setcolorder(bd, c('Dates', nms0))
setkey(bd, 'Dates')
## Result
result <- new(Class = 'Meteo',
  latm = lat,
  data = bd,
  type = type,
  source = source)
}

#### 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,
                     GO = Radiacion,
                     Ta = TempMedia)]
    return(res0)
  },
  Diarios = {
    res0[, Dates := as.IDate(Fecha)]
    res0 <- res0[, .(Dates,
                     GOd = 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,
                     GOd = 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)
  ]

  ## Weights 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, including G (Wh/m2) and Ta (°C)
    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(
    GOD = 'data.table', #result of fCompD
    G0dm = 'data.table', #monthly means
    G0y = 'data.table', #yearly values
    G0I = 'data.table', #result of fCompI
    Ta = 'data.table' #Ambient temperature
  ),
  contains = c('Sol', 'Meteo'),
  validity = function(object) {return(TRUE)}
)

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.11: Clase *G0*

A.2.4. Gef

```

setClass(
  Class='Gef',
  slots = c(
    GefD='data.table', #daily values
    Gefdm='data.table', #monthly means
    Gefy='data.table', #yearly values
    GefI='data.table', #result of fInclin
    Theta='data.table', #result of fTheta
    iS='numeric', #dirt index
    alb='numeric', #albedo
    modeTrk='character', #tracking mode
    modeShd='character', #shadow mode
    angGen='list', #includes alpha, beta and betaLim
    struct='list', #structure dimensions
    distances='data.frame' #distances between structures
  ),
  contains='G0',
  validity=function(object) {return(TRUE)}
)

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.12: Clase *Gef*

A.2.5. ProdGCPV

```

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

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.13: Clase *ProdGCPV*

A.2.6. ProdPVPS

```

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

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.14: Clase *ProdPVPS*

A.2.7. Shade

```

setClass(
  Class='Shade',
  slots = c(
    FS='numeric', #shadows factor values
    GRR='numeric', #Ground Requirement Ratio
    Yf='numeric', #final productivity
    FS.loess='loess', #local fitting of FS with loess
    Yf.loess='loess', #local fitting of Yf with loess
    modeShd='character', #mode of shadow
    struct='list',        #dimensions of the structures
    distances='data.frame', #distances between structures
    res='numeric'         #difference between the different steps of the
    calculations
  ),
  contains='ProdGCPV', ##Resultado de prodGCPV sin sombras (Prod0)
  validity=function(object) {return(TRUE)}
)

```

)

EXTRACTO DE CÓDIGO A.15: Clase **Shade**

A.3. Funciones

A.3.1. corrFdKt

```
##### 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(17,14,15,15,15,10,18,18,19,18,13)
  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, G0d, 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(G0d)[1] != 'Meteo'){
    dt <- copy(data.table(G0d))
    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/B0d
}

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, GOI,
                  corr = 'EKDh', f,
                  filterGO = 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(GOI)) {

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

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

```

```

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

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

  if (corr!='none'){
    GO <- getGO(GOI)
    ## Filter values: surface irradiation must be lower than
    ## extraterrestrial;
    if (filterGO) {is.na(GO) <- (GO > Bo0)}

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

    Kt <- Fd$Kt
    Fd <- Fd$Fd
    DO <- Fd * GO
    BO <- GO - DO

  } else {
    GO <- getGO(GOI)
    DO <- getData(GOI)[['DO']]
    BO <- getData(GOI)[['BO']]
    ## Filter values: surface irradiation must be lower than
    ## extraterrestrial;
    if (isTRUE(filterGO)) is.na(GO) <- is.na(DO) <- is.na(BO) <- (GO > Bo0)

    Fd <- DO/GO
    Kt <- GO/Bo0
  }
}

## Values outside sunrise-sunset are set to zero
GO[night] <- DO[night] <- BO[night] <- Kt[night] <- Fd[night] <- 0

result <- data.table(Dates, Fd, Kt, GO, DO, BO)
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, impv : *cell* values
## Voc, Isc, Vmpp, Impv : *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
  Gsc <- 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/Gsc

  ## 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

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

  vdc <- vmpp
  idc <- impv

  ## 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+1)
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. fSolid

```

fSolid <- 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 90°, and
therefore the Sun is behind the panel.

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

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.32: f_{Theta}

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'))

HQCure<-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+1)
    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
  A0=3600*dst(x)
  A0neg=(A0<0)
  if (any(A0neg)) {
    A0[A0neg]=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')-A0+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))]
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 irradiation ####
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'))
T0 <- hms(BTi)

w=switch(method,
  cooper = h2r(T0-12)+EoT,
  spencer = h2r(T0-12)+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
    ##T0 has been previously corrected with local2Solar in order
    ##to include the longitude, daylight savings, etc.
    lmst <- (h2d(6.697375 + 0.0657098242*jd + T0))%%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
    ##T0 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='GO'),
  definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
    g0 <- copy(object)
    BTi <- indexI(g0)
    BTi <- truncDay(BTi)
    ind.rep <- cumsum(c(1, diff(BTi)!=0))
    GOI <- g0@GOI
    solI <- g0@solI
    solD <- g0@solD[ind.rep]
    Ta <- g0@Ta
    if(length(Ta[[1]]!=length(GOI[[1]]))) Ta <- Ta[ind.rep]
    if(complete){
      data <- data.table(solI,
                        GOI[, 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)
    GOD <- g0@GOD
    sold <- g0@sold
    if(complete){
        data <- data.table(GOD, sold[, Dates := NULL])
    } else {
        GOD[, Fd := NULL]
        GOD[, Kt := NULL]
        data <- GOD
    }
    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
    GOD <- gef@GOD
    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, G0y[, Dates := NULL])
    } else {data <- Gefy}
    if(day){data[, year := Dates]}
    return(data)
  }
)

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

```

```

                                G0y[, Dates := NULL])
    } else {data <- prody}
    if(day){data[, year := Dates]}
    return(data)
  }
)

setMethod('as.data.tableY',
  signature = (object='ProdPVPS'),
  definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
    prodpvps <- copy(object)
    prody <- prodpvps@prody
    Gefy <- prodpvps@Gefy
    G0y <- prodpvps@G0y
    if(complete){
      data <- data.table(prody,
                          Gefy[, Dates := NULL],
                          G0y[, Dates := NULL])
    } else {data <- prody}
    if(day){data[, year := Dates]}
    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='GO'),
  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-YfACO/YfDC)
    AC=mean(1-datY$Yf/YfACO)
    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,
                  GOD=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='GO', 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	-0.8844444444	38.67639	519	1999-11-09	2000-03-19
2:	Camp de Mirra	A02	-0.7727777778	38.67917	589	1999-11-09	<NA>
3:	Vila Joiosa	A03	-0.2561111111	38.52778	73	1999-11-10	<NA>
4:	Ondara	A04	0.0063888889	38.81833	38	1999-11-10	<NA>
5:	Dénia Gata	A05	0.0825000000	38.79250	86	1999-11-15	<NA>
6:	Pinoso	A06	-1.0605555556	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, auto-documentado y en tiempo real. 1985. URL: <https://www.gnu.org/software/emacs/>.
- [Mic88] Joseph J. Michalsky. “The Astronomical Almanac’s algorithm for approximate solar position (1950-2050)”. En: *Solar Energy* 40.3 (1988), págs. 227-235. ISSN: 0038-092X. DOI: DOI:10.1016/0038-092X(88)90045-X.
- [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 transición ecológica y el reto demográfico. *Plan + Seguridad Energética*. 2022. URL: <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/seguridad-energetica.html#planSE>.
- [Eur22] Consejo Europeo. *REPowerEU*. 2022. URL: <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/eu-recovery-plan/repowereu/>.
- [Hac22] Ministerio de Hacienda. *Mecanismo de Recuperación y Resiliencia*. 2022. URL: <https://www.hacienda.gob.es/es-ES/CDI/Paginas/FondosEuropeos/Fondos-relacionados-COVID/MRR.aspx>.
- [Mer+23] Olaf Mersmann et al. *microbenchmark: Accurate Timing Functions*. Proporciona infraestructura para medir y comparar con precisión el tiempo de ejecución de las expresiones de R. 2023. URL: <https://github.com/joshuaulrich/microbenchmark>.
- [Min23] pesca y alimentación Ministerio de agricultura. *Sistema de Información Agroclimática para el Regadío*. 2023. URL: <https://servicio.mapa.gob.es/websiar/>.
- [Per23] O. Perpiñán. *Energía Solar Fotovoltaica*. 2023. URL: <https://oscarperpinan.github.io/esf/>.
- [R C23] R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2023. URL: <https://www.R-project.org/>.
- [UNE23] UNEF. “Fomentando la biodiversidad y el crecimiento sostenible”. En: *Informe anual UNEF* (2023). URL: <https://www.unef.es/es/recursos-informes?idMultimediaCategoria=18>.
- [Wan+23] Chris Wanstrath et al. *GitHub*. 2023. URL: <https://github.com/>.
- [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>.