



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, 20 de agosto de 2024

Agradecimientos

Agradezco a ...

Resumen

Este proyecto se resume en

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

Abstract

In this project.

Keywords: solar geometry, solar radiation, solar energy, photovoltaic, visualitation methods, temporal series, space-time 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	2
1.3. Aspectos técnicos	3
2 Estado del arte	5
2.1. Situación actual de la generación fotovoltaica	5
2.2. Soluciones existentes y sus carencias	6
3 Parte teórica y desarrollo del código	7
3.1. Naturaleza de la radiación solar	8
3.2. Radiación en superficies inclinadas	10
3.3. Cálculo de la energía producida por el generador	14
3.4. Operaciones del paquete solarR2	19
4 Ejemplo práctico de aplicación	23
4.1. solar	23
4.2. PVsyst	23
4.3. solar	23
4.4. Comparación entre los tres	23
5 Detalles de la programación	25
A Código completo	27
A.1. Constructores	27
A.2. Clases	50
A.3. Funciones	53
A.4. Métodos	82
A.5. Conjunto de datos	103

Índice de figuras

3.1. Procedimiento de cálculo	7
3.2. Perfil de irradiancia difusa y global obtenido a partir del generador empírico de [CR79] para valores de irradiancia tomadas cada 10 minutos	11
3.3. Ángulo de visión del cielo	12
3.4. Pérdidas angulares de un módulo fotovoltaico para diferentes grados de suciedad en función del ángulo de incidencia.	13
3.5. Curvas corriente-tensión(línea discontinua) y potencia-tensión(línea continua) de una célula solar ($T_a = 20^{\circ}C$ y $G = 800w/m^2$)	14
3.6. Evolución de la eficiencia de células según la tecnología (según el National Renewable Energy Laboratory [Nat24] (EEUU)).	15
3.7. Proceso de cálculo de las funciones de solar2	20

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 estas producciones 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 [CITAR CÓDIGO]
- Tratamiento de datos meteorológicos (en especial de radiación), procedentes de datos ofrecidos del usuario y de la red de estaciones SIAR [Min23] [CITAR CÓDIGO]

- Una vez calculado lo anterior, se pueden hacer estimaciones de:
 - Los componentes de radiación horizontal [CITAR CALCG0].
 - Los componentes de radiación eficaz en el plano inclinado [CITAR CALCGEF].
 - La producción de sistemas fotovoltaicos conectados a red [CITAR PRODGCPV] y sistemas fotovoltaicos de bombeo [CITAR PRODPVPS].

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 \LaTeX (partiendo de un archivo `.org`, se puede exportar a un archivo `.tex` para posteriormente exportar un pdf).
- Obtener conocimientos teóricos acerca de la radiación solar y de la producción de energía solar mediante sistemas fotovoltaicos y sus diversos tipos. Para ello se ha usado en mayor medida el libro “Energía Solar Fotovoltaica” [Per23].

1.2. Análisis previo de soluciones

Este proyecto, como ya se ha comentado, es el heredero del paquete `solar` desarrollado por Oscar Perpiñán. La filosofía de ambos paquetes es la misma y los resultados que dan son muy similares. Sin embargo, lo que les diferencia es el paquete sobre el que construyen sus datos. Mientras que `solar` basa sus clases y métodos en el paquete `zoo`, `solar2` en el paquete `data.table`. Los dos paquetes pueden trabajar con series temporales, pero, mientras que `zoo` es más eficaz trabajando con series temporales, `data.table` es más eficiente a la hora de trabajar con una cantidad grande de datos, lo cual a la hora de realizar estimaciones muy precisas es beneficioso. Por otro lado, existen otras soluciones fuera de R:

1. PVsyst - Photovoltaic Software

Este software es probablemente el más conocido dentro del ámbito del estudio y la estimación de instalaciones fotovoltaicas. Permite una gran personalización de todos los componentes de la instalación.

2. SISIFO

Herramienta web 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 apartado [??] se realizará un ejemplo práctico que compare los resultados entre **PVsyst**, **solaR** y **solaR2**

1.3. Aspectos técnicos

Para elaborar un paquete en R se deben aportar una serie de ficheros:

- **R**: Fichero que contiene todos los archivos .R que se van a ejecutar en la instalación del paquete. Esto incluye funciones, clases y métodos.
- **data**: Aquí se incluyen los datos externos que el paquete necesita para funcionar.
- **DESCRIPTION**: Contiene metadatos sobre el paquete, como el nombre, la versión, el autor, etc.
- **NAMESPACE**: Especifica qué funciones y datos se exportan y se importan.
- **inst**: Se usa para almacenar archivos importantes pero que no se almacenan en el resto de ficheros.
- **tests**: Se utiliza para almacenar scripts de pruebas que aseguran que el código del paquete funcione correctamente.
- **man**: Donde se alojan los ficheros .Rd relacionados con el manual de uso del paquete. En estos se almacenan la información de funciones, métodos, clases y datos.

Una vez se tienen todos estos ficheros, el paquete se construye y se prueba.

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.

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.

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.

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

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

2.2. Soluciones existentes y sus carencias

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.

Parte teórica y desarrollo del código

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

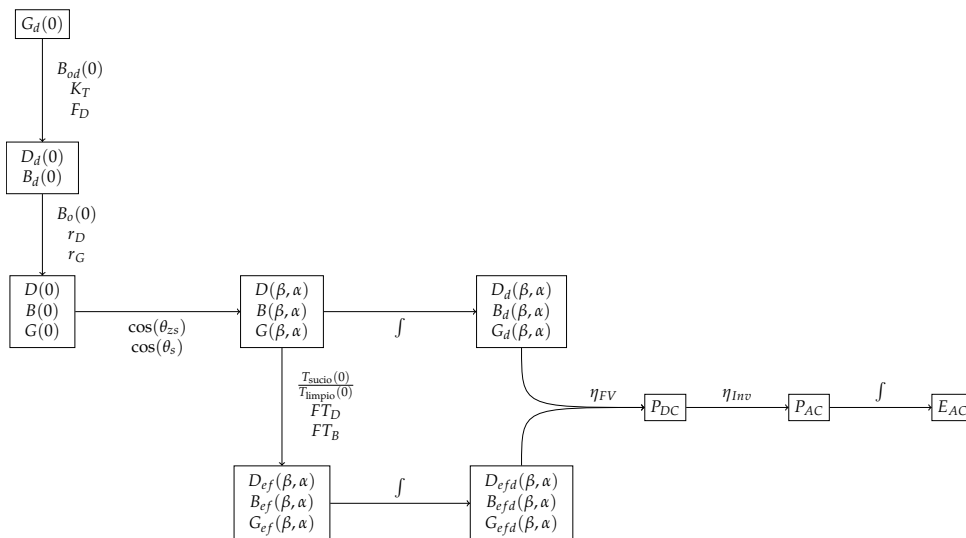


FIGURA 3.1: Procedimiento de cálculo

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.
- **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:

- Irradiancia extra-terrestre: $B_0 = 1367 \frac{W}{m^2}$
- 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:

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.

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

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)

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}

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

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

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.

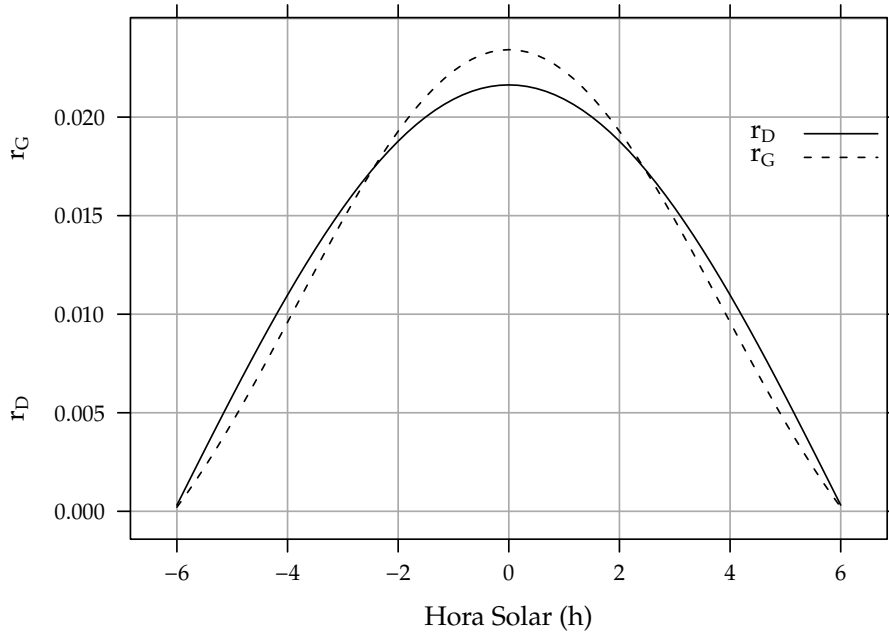


FIGURA 3.2: Perfil de irradiancia difusa y global obtenido a partir del generador empírico de [CR79] para valores de irradiancia tomadas cada 10 minutos

3.2.1. Transformación al plano del generador

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

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

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

- **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:

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

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:

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

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

Donde:

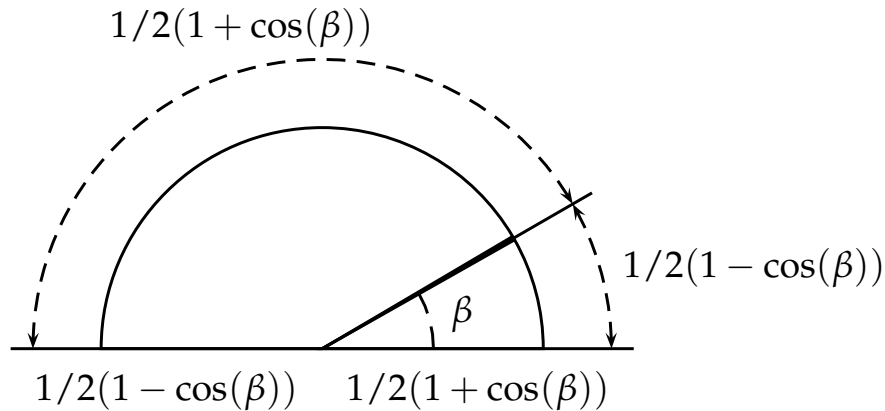


FIGURA 3.3: Ángulo de visión del cielo

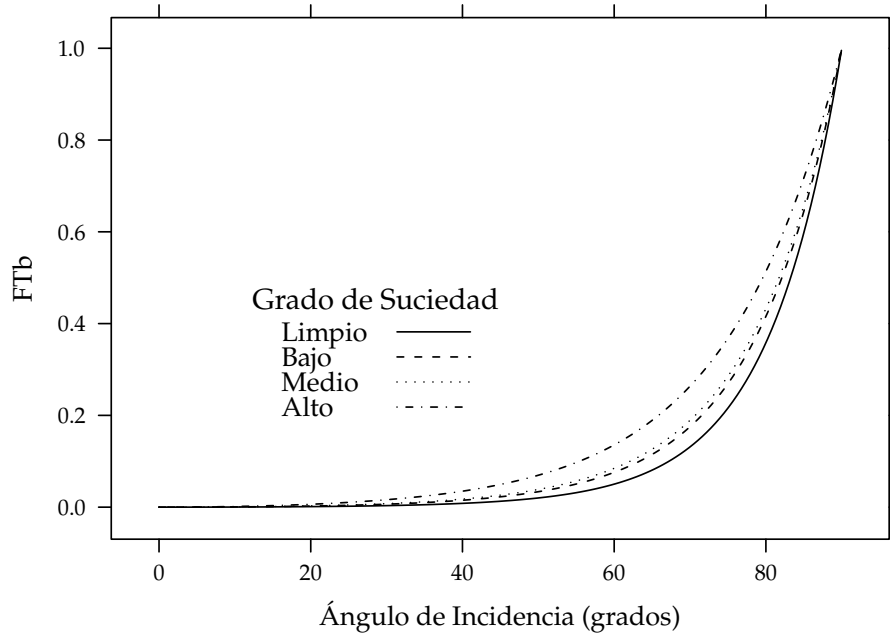


FIGURA 3.4: Pérdidas angulares de un módulo fotovoltaico para diferentes grados de suciedad en función del ángulo de incidencia.

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

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

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

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

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

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

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).

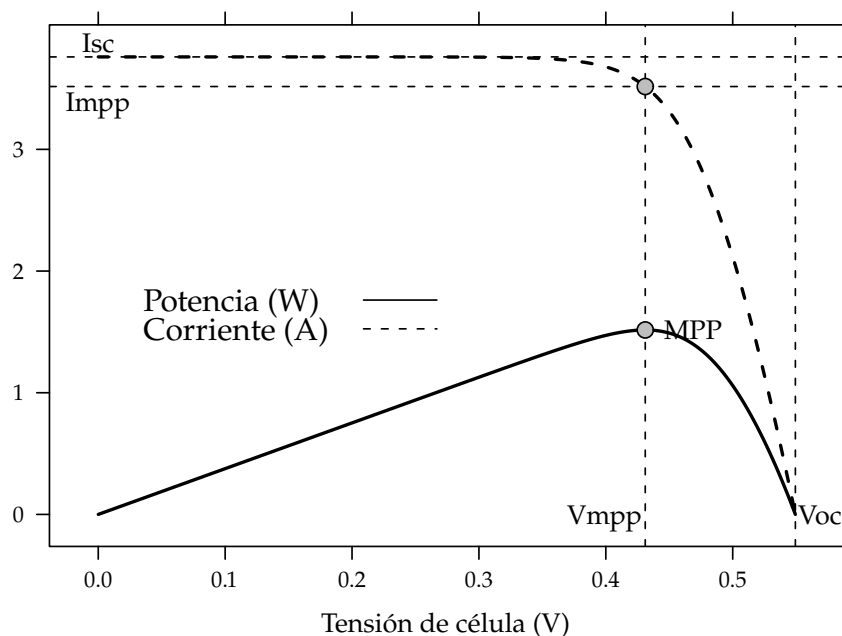


FIGURA 3.5: Curvas corriente-tensión(línea discontinua) y potencia-tensión(línea continua) de una célula solar ($T_a = 20^\circ\text{C}$ y $G = 800\text{w}/\text{m}^2$)

Factor de forma y eficiencia

El área encerrada por el rectángulo definido por el producto $I_{mpp} \cdot V_{mpp}$ es, como se observa 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 $\frac{d\eta}{dT_c} = -0,4\%/^\circ C$.

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

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

- Irradiancia: $G_{stc} = 1000 W/m^2$ con incidencia normal. {Irradiancia incidente en condiciones estándar de medida}

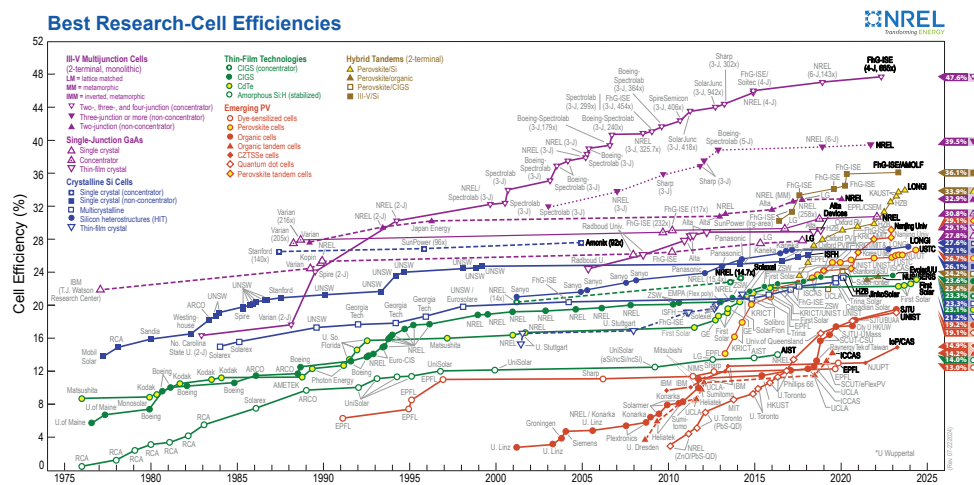


FIGURA 3.6: Evolución de la eficiencia de células según la tecnología (según el National Renewable Energy Laboratory [Nat24] (EEUU)).

- Temperatura de célula: $T_c^* = 25^\circ\text{C}$.
- 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°C . Sin embargo, la temperatura de operación de la célula es diferente y depende directamente de la radiación que recibe el módulo en cada momento.

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

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

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

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

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

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 información detallada, se puede asumir un valor constante de $T_a = 25^\circ\text{C}$ para simulaciones anuales. Sin embargo, si se conocen los valores máximos y mínimos diarios de la temperatura ambiente, se puede generar una secuencia intradiaria usando una combinación de funciones coseno.

Cálculo de V_{oc} y I_{sc}

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

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

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

Factor de forma variable

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

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

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

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

entonces

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

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

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

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

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

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

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

- **Cálculo de r_s :** Utilizando 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:

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

3.4. Operaciones del paquete solar2

En la figura 3.7, 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:

3.4.1. Geometría que definen la posición de la Tierra frente al Sol.

1. Mediante la función fSolD, se calcula:

- El ángulo de declinación de la Tierra (δ).
- La corrección debida a la excentricidad de la elipse de la trayectoria terrestre alrededor del sol (ϵ_0).
- La ecuación del tiempo (EoT).
- El ángulo del amanecer

2. Mediante la función fSolI, se calcula:

- La hora solar (ω).
- El momento del día en el que es de noche.
- El ángulo zenital solar (θ_{zs}).
- El ángulo de altura solar (γ_s).
- El ángulo azimutal solar (ψ_s).
- La irradiancia extra-terrestre en el plano horizontal ($B_0(0)$).

3. El resultado de ambas funciones se juntan en un solo objeto de clase Sol mediante la función calcSol.

3.4.2. 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 ($B_d(0)$).

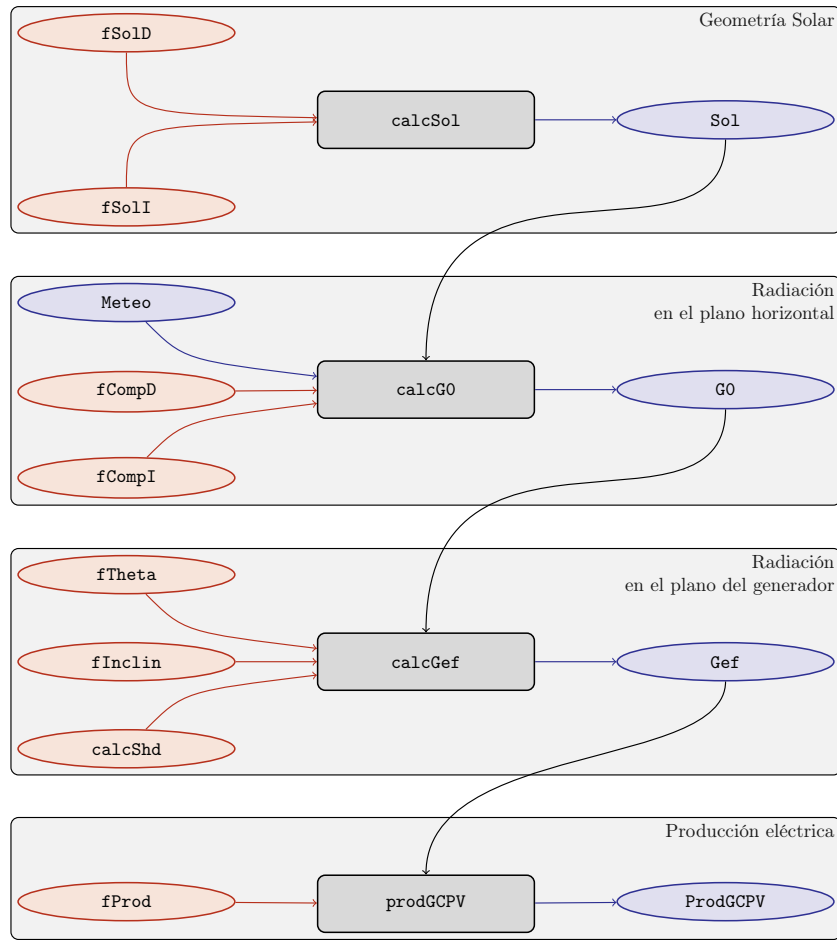


FIGURA 3.7: Proceso de cálculo de las funciones de *solar2*

- 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`.

3.4.3. 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, isotrópica 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, isotrópica 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`.

3.4.4. 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...

4.1. solar

...

4.2. PVsyst

...

4.3. solar

...

4.4. Comparación entre los tres

CAPÍTULO 5

Detalles de la programación

...

Código completo

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

A.1. Constructores

A.1.1. calcSol

```

1 calcSol <- function(lat, BTd,
2                     sample = 'hour', BTi,
3                     EoT = TRUE,
4                     keep.night = TRUE,
5                     method = 'michalsky')
6 {
7   if(missing(BTd)) BTd <- truncDay(BTi)
8   sold <- fSold(lat, BTd, method = method) #daily values
9   soli <- fSoli(sold = sold, sample = sample, #intradaily values
10              BTi = BTi, keep.night = keep.night,
11              EoT = EoT, method = method)
12
13   if(!missing(BTi)){
14     sample <- soli$Dates[2]-soli$Dates[1]
15     sample <- format(sample)
16   }
17
18   sold[, lat := NULL]
19   soli[, lat := NULL]
20   result <- new('Sol',
21               lat = lat,
22               sold = sold,
23               soli = soli,
24               sample = sample,
25               method = method)
26   return(result)
27 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.1: *calcSol*

A.1.2. calcG0

```

1  calcG0 <- function(lat,
2      modeRad='prom',
3      dataRad,
4      sample='hour',
5      keep.night=TRUE,
6      sunGeometry='michalsky',
7      corr, f, ...)
8  {
9
10     if (missing(lat)) stop('lat missing. You must provide a latitude value.')
11
12     stopifnot(modeRad %in% c('prom', 'aguiar', 'bd', 'bdI'))
13
14
15     ###Datos de Radiacion
16     if (missing(corr)){
17         corr = switch(modeRad,
18             bd = 'CPR', #Correlation between Fd and Kt for daily values
19             aguiar = 'CPR', #Correlation between Fd and Kt for daily values
20             prom = 'Page', #Correlation between Fd and Kt for monthly
21             averages
22             bdI = 'BRL'      #Correlation between fd and kt for intraday
23             values
24         )
25     }
26
27     if(is(dataRad, 'Meteo')){BD <- dataRad}
28     else{
29         BD <- switch(modeRad,
30             bd = {
31                 if (!is.list(dataRad)) dataRad <- list(file=dataRad)
32                 switch(class(dataRad$file)[1],
33                     character={
34                         bd.default=list(file='', lat=lat)
35                         bd=modifyList(bd.default, dataRad)
36                         res <- do.call('readBDd', bd)
37                         res
38                     },
39                     data.table= ,
40                     data.frame={
41                         bd.default=list(file='', lat=lat)
42                         bd=modifyList(bd.default, dataRad)
43                         res <- do.call('dt2Meteo', bd)
44                         res
45                     },
46                     zoo={
47                         bd.default=list(file='', lat=lat, source='')
48                         bd=modifyList(bd.default, dataRad)
49                         res <- do.call('zoo2Meteo', bd)
50                         res
51                     })
52             }, #End of bd
53             prom = {
54                 if (!is.list(dataRad)) dataRad <- list(G0dm=dataRad)
55                 prom.default <- list(G0dm=numeric(), lat=lat)
56                 prom = modifyList(prom.default, dataRad)
57                 res <- do.call('readG0dm', prom)

```

```

56     }, #End of prom
57     aguiar = {
58         if (is.list(dataRad)) dataRad <- dataRad$G0dm
59         BTd <- fBTd(mode='serie')
60         sold <- fSold(lat, BTd)
61         G0d <- markovG0(dataRad, sold)
62         res <- dt2Meteo(G0d, lat=lat, source='aguiar')
63     }, #End of aguiar
64     bdI = {
65         if (!is.list(dataRad)) dataRad <- list(file=dataRad)
66         switch(class(dataRad$file)[1],
67             character = {
68                 bdI.default <- list(file='', lat=lat)
69                 bdI <- modifyList(bdI.default, dataRad)
70                 res <- do.call('readBDi', bdI)
71                 res
72             },
73             data.table = ,
74             data.frame = {
75                 bdI.default <- list(file='', lat=lat)
76                 bdI <- modifyList(bdI.default, dataRad)
77                 res <- do.call('dt2Meteo', bdI)
78                 res
79             },
80             zoo = {
81                 bdI.default <- list(file='', lat=lat, source='')
82                 bdI <- modifyList(bdI.default, dataRad)
83                 res <- do.call('zoo2Meteo', bdI)
84                 res
85             },
86             stop('dataRad$file should be a character, a data.table, a
data.frame or a zoo.'))
87     }) #End of btI
88     ) #End of general switch
89 }
90
91
92 ### Angulos solares y componentes de irradiancia
93 if (modeRad=='bdI') {
94     sol <- calcSol(lat, sample = sample,
95                   BTi = indexD(BD), keep.night=keep.night, method=sunGeometry)
96     compI <- fCompI(sol=sol, G0I=BD, corr=corr, f=f, ...)
97     compD <- compI[, lapply(.SD, P2E, sol@sample),
98                   .SDcols = c('G0', 'D0', 'B0'),
99                   by = truncDay(Dates)]
100     names(compD)[1] <- 'Dates'
101     names(compD)[-1] <- paste(names(compD)[-1], 'd', sep = '')
102     compD$Fd <- compD$D0d/compD$G0d
103     compD$Kt <- compD$G0d/sol@solD$Bo0d
104 } else { ##modeRad!='bdI'
105     sol <- calcSol(lat, indexD(BD), sample = sample,
106                   keep.night = keep.night, method = sunGeometry)
107     compD<-fCompD(sol=sol, G0d=BD, corr=corr, f, ...)
108     compI<-fCompI(sol=sol, compD=compD, ...)
109 }
110
111 ###Temperature
112

```

```

113 Ta=switch(modeRad,
114     bd={
115         if (all(c("TempMax","TempMin") %in% names(BD@data))) {
116             fTemp(sol, BD)
117         } else {
118             if ("Ta" %in% names(BD@data)) {
119                 data.table(Dates = indexD(sol),
120                     Ta =BD@data$Ta)
121             } else {
122                 warning('No temperature information available!')
123             }
124         }
125     },
126     bdI={
127         if ("Ta" %in% names(BD@data)) {
128             data.table(Dates = indexI(sol),
129                 Ta = BD@data$Ta)
130         } else {
131             warning('No temperature information available!')
132         }
133     },
134     prom={
135         if ("Ta" %in% names(BD@data)) {
136             data.table(Dates = indexD(sol),
137                 Ta = BD@data$Ta)
138         } else {
139             warning('No temperature information available!')
140         }
141     },
142     aguiar={
143         data.table(Dates = indexI(sol),
144             Ta = BD@data$Ta)
145     }
146 )
147
148 ###Medias mensuales y anuales
149 nms <- c('G0d', 'D0d', 'B0d')
150 G0dm <- compD[, lapply(.SD/1000, mean, na.rm = TRUE),
151     .SDcols = nms,
152     by = .(month(Dates), year(Dates))]
153
154 if(modeRad == 'prom'){
155     G0dm[, DayOfMonth := DOM(G0dm)]
156     G0y <- G0dm[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
157         .SDcols = nms,
158         by = .(Dates = year)]
159     G0dm[, DayOfMonth := NULL]
160 } else{
161     G0y <- compD[, lapply(.SD/1000, sum, na.rm = TRUE),
162         .SDcols = nms,
163         by = .(Dates = year(Dates))]
164 }
165 G0dm[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
166 G0dm[, c('month', 'year') := NULL]
167 setcolorder(G0dm, 'Dates')
168
169 ###Result
170 result <- new(Class='G0',

```

```

171         BD,          #G0 contains "Meteo"
172         sol,          #G0 contains 'Sol'
173         GOD=compD, #results of fCompD
174         G0dm=G0dm, #monthly means
175         G0y=G0y,   #yearly values
176         G0I=compI, #results of fCompD
177         Ta=Ta      #ambient temperature
178     )
179     return(result)
180 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.2: *calcG0*

A.1.3. *calcGef*

```

1  calcGef<-function(lat,
2      modeTrk='fixed',      #c('two','horiz','fixed')
3      modeRad='prom',
4      dataRad,
5      sample='hour',
6      keep.night=TRUE,
7      sunGeometry='michalsky',
8      corr, f,
9      betaLim=90, beta=abs(lat)-10, alfa=0,
10     iS=2, alb=0.2, horizBright=TRUE, HCPV=FALSE,
11     modeShd='',      #modeShd=c('area','bt','prom')
12     struct=list(), #list(W=23.11, L=9.8, Nrow=2, Ncol=8),
13     distances=data.frame(),#data.table(Lew=40, Lns=30, H=0)){
14     ...){
15
16     stopifnot(is.list(struct), is.data.frame(distances))
17
18     if (('bt' %in% modeShd) & (modeTrk!='horiz')) {
19         modeShd[which(modeShd=='bt')]='area'
20         warning('backtracking is only implemented for modeTrk=horiz')
21     }
22
23     if (modeRad!='prev'){ #not use a prev calculation
24         radHoriz <- calcG0(lat=lat, modeRad=modeRad,
25             dataRad=dataRad,
26             sample=sample, keep.night=keep.night,
27             sunGeometry=sunGeometry,
28             corr=corr, f=f, ...)
29     } else {
30         radHoriz <- as(dataRad, 'G0')
31     }
32
33     ### Inclined and effective radiation
34     BT=("bt" %in% modeShd)
35     angGen <- fTheta(radHoriz, beta, alfa, modeTrk, betaLim, BT, struct, distances)
36     inclin <- fInclin(radHoriz, angGen, iS, alb, horizBright, HCPV)
37
38     ### Daily, monthly and yearly values
39     by <- radHoriz@sample
40     nms <- c('Bo', 'Bn', 'G', 'D', 'B', 'Gef', 'Def', 'Bef')
41     nmsd <- paste(nms, 'd', sep = '')
42

```

```

43   if(radHoriz@type == 'prom'){
44     Gefdm <- inclin[, lapply(.SD/1000, P2E, by),
45                           .SDcols = nms,
46                           by = .(month(Dates), year(Dates))]
47     names(Gefdm)[-c(1,2)] <- nmsd
48     GefD <- Gefdm[, .SD*1000,
49                   .SDcols = nmsd,
50                   by = .(Dates = indexD(radHoriz))]
51
52     Gefdm[, DayOfMonth := DOM(Gefdm)]
53     Gefy <- Gefdm[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
54                   .SDcols = nmsd,
55                   by = .(Dates = year)]
56     Gefdm[, DayOfMonth := NULL]
57   } else{
58     GefD <- inclin[, lapply(.SD, P2E, by),
59                     .SDcols = nms,
60                     by = .(Dates = truncDay(Dates))]
61     names(GefD)[-1] <- nmsd
62
63     Gefdm <- GefD[, lapply(.SD/1000, mean, na.rm = TRUE),
64                   .SDcols = nmsd,
65                   by = .(month(indexD(radHoriz)), year(indexD(radHoriz)))]
66     Gefy <- GefD[, lapply(.SD/1000, sum, na.rm = TRUE),
67                   .SDcols = nmsd,
68                   by = .(Dates = year(indexD(radHoriz)))]
69   }
70
71   Gefdm[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
72   Gefdm[, c('month', 'year') := NULL]
73   setcolorder(Gefdm, 'Dates')
74
75   ###Resultado antes de sombras
76   result0=new('Gef',
77              radHoriz,                      #Gef contains 'GO'
78              Theta=angGen,
79              GefD=GefD,
80              Gefdm=Gefdm,
81              Gefy=Gefy,
82              GefI=inclin,
83              iS=iS,
84              alb=alb,
85              modeTrk=modeTrk,
86              modeShd=modeShd,
87              angGen=list(alfa=alfa, beta=beta, betaLim=betaLim),
88              struct=struct,
89              distances=distances
90              )
91   ###Shadows
92   if (isTRUE(modeShd == "") ||             #If modeShd==' ' there is no shadow calculation
93       ('bt' %in% modeShd)) {                #nor if there is backtracking
94     return(result0)
95   } else {
96     result <- calcShd(result0, modeTrk, modeShd, struct, distances)
97     return(result)
98   }
99 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.3: *calcGef*A.1.4. *prodGCPV*

```

1 prodGCPV<-function(lat,
2     modeTrk='fixed',
3     modeRad='prom',
4     dataRad,
5     sample='hour',
6     keep.night=TRUE,
7     sunGeometry='michalsky',
8     corr, f,
9     betaLim=90, beta=abs(lat)-10, alfa=0,
10    iS=2, alb=0.2, horizBright=TRUE, HCPV=FALSE,
11    module=list(),
12    generator=list(),
13    inverter=list(),
14    effSys=list(),
15    modeShd='',
16    struct=list(),
17    distances=data.table(),
18    ...){
19
20    stopifnot(is.list(module),
21              is.list(generator),
22              is.list(inverter),
23              is.list(effSys),
24              is.list(struct),
25              is.data.table(distances))
26
27    if (('bt' %in% modeShd) & (modeTrk!='horiz')) {
28      modeShd[which(modeShd=='bt')]='area'
29      warning('backtracking is only implemented for modeTrk=horiz')}
30
31    if (modeRad!='prev'){ #We do not use a previous calculation
32
33      radEf<-calcGef(lat=lat, modeTrk=modeTrk, modeRad=modeRad,
34                    dataRad=dataRad,
35                    sample=sample, keep.night=keep.night,
36                    sunGeometry=sunGeometry,
37                    corr=corr, f=f,
38                    betaLim=betaLim, beta=beta, alfa=alfa,
39                    iS=iS, alb=alb, horizBright=horizBright, HCPV=HCPV,
40                    modeShd=modeShd, struct=struct, distances=distances, ...)
41
42    } else { #We use a previous calcGO, calcGef or prodGCPV calculation.
43
44      stopifnot(class(dataRad) %in% c('GO', 'Gef', 'ProdGCPV'))
45      radEf <- switch(class(dataRad),
46                      GO=calcGef(lat=lat,
47                                modeTrk=modeTrk, modeRad='prev',
48                                dataRad=dataRad,
49                                betaLim=betaLim, beta=beta, alfa=alfa,
50                                iS=iS, alb=alb, horizBright=horizBright, HCPV=HCPV,
51                                modeShd=modeShd, struct=struct, distances=distances,

```

```

52         Gef=dataRad,
53         ProdGCPV=as(dataRad, 'Gef')
54     )
55 }
56
57
58 ##Production
59 prodI<-fProd(radEf,module,generator,inverter,effSys)
60 module=attr(prodI, 'module')
61 generator=attr(prodI, 'generator')
62 inverter=attr(prodI, 'inverter')
63 effSys=attr(prodI, 'effSys')
64
65 ##Calculation of daily, monthly and annual values
66 Pg=generator$Pg #Wp
67
68 by <- radEf@sample
69 nms1 <- c('Pac', 'Pdc')
70 nms2 <- c('Eac', 'Edc', 'Yf')
71
72
73 if(radEf@type == 'prom'){
74     prodDm <- prodI[, lapply(.SD/1000, P2E, by),
75                         .SDcols = nms1,
76                         by = .(month(Dates), year(Dates))]
77     names(prodDm)[-c(1,2)] <- nms2[-3]
78     prodDm[, Yf := Eac/(Pg/1000)]
79     prodD <- prodDm[, .SD*1000,
80                     .SDcols = nms2,
81                     by = .(Dates = indexD(radEf))]
82     prodD[, Yf := Yf/1000]
83
84     prodDm[, DayOfMonth := DOM(prodDm)]
85     prody <- prodDm[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
86                     .SDcols = nms2,
87                     by = .(Dates = year)]
88     prodDm[, DayOfMonth := NULL]
89 } else {
90     prodD <- prodI[, lapply(.SD, P2E, by),
91                     .SDcols = nms1,
92                     by = .(Dates = truncDay(Dates))]
93     names(prodD)[-1] <- nms2[-3]
94     prodD[, Yf := Eac/Pg]
95
96     prodDm <- prodD[, lapply(.SD/1000, mean, na.rm = TRUE),
97                       .SDcols = nms2,
98                       by = .(month(Dates), year(Dates))]
99     prodDm[, Yf := Yf * 1000]
100    prody <- prodD[, lapply(.SD/1000, sum, na.rm = TRUE),
101                    .SDcols = nms2,
102                    by = .(Dates = year(Dates))]
103    prody[, Yf := Yf * 1000]
104 }
105
106 prodDm[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
107 prodDm[, c('month', 'year') := NULL]
108 setcolorder(prodDm, 'Dates')
109

```



```

110   result <- new('ProdGCPV',
111               radEf,                #contains 'Gef'
112               prodD=prodD,
113               prodDm=prodDm,
114               prody=prody,
115               prodI=prodI,
116               module=module,
117               generator=generator,
118               inverter=inverter,
119               effSys=effSys
120               )
121 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.4: *prodGCPV*

A.1.5. prodPVPS

```

1  prodPVPS<-function(lat,
2      modeTrk='fixed',
3      modeRad='prom',
4      dataRad,
5      sample='hour',
6      keep.night=TRUE,
7      sunGeometry='michalsky',
8      corr, f,
9      betaLim=90, beta=abs(lat)-10, alfa=0,
10     iS=2, alb=0.2, horizBright=TRUE, HCPV=FALSE,
11     pump , H,
12     Pg, converter= list(), #Pnom=Pg, Ki=c(0.01,0.025,0.05)),
13     effSys=list(),
14     ...){
15
16     stopifnot(is.list(converter),
17              is.list(effSys))
18
19     if (modeRad!='prev'){ #We do not use a previous calculation
20
21         radEf<-calcGef(lat=lat, modeTrk=modeTrk, modeRad=modeRad,
22                       dataRad=dataRad,
23                       sample=sample, keep.night=keep.night,
24                       sunGeometry=sunGeometry,
25                       corr=corr, f=f,
26                       betaLim=betaLim, beta=beta, alfa=alfa,
27                       iS=iS, alb=alb, horizBright=horizBright, HCPV=HCPV,
28                       modeShd='', ...)
29
30     } else { #We use a previous calculation of calcG0, calcGef or prodPVPS
31         stopifnot(class(dataRad) %in% c('G0', 'Gef', 'ProdPVPS'))
32         radEf <- switch(class(dataRad),
33                        G0=calcGef(lat=lat,
34                                  modeTrk=modeTrk, modeRad='prev',
35                                  dataRad=dataRad,
36                                  betaLim=betaLim, beta=beta, alfa=alfa,
37                                  iS=iS, alb=alb, horizBright=horizBright, HCPV=HCPV,
38                                  modeShd='', ...),
39                        Gef=dataRad,
40                        ProdPVPS=as(dataRad, 'Gef'))

```

```

41         )
42     }
43
44     ###Electric production
45     converter.default=list(Ki = c(0.01,0.025,0.05), Pnom=Pg)
46     converter=modifyList(converter.default, converter)
47
48     effSys.default=list(ModQual=3,ModDisp=2,OhmDC=1.5,OhmAC=1.5,MPP=1,TrafoMT=1,Disp
49     =0.5)
50     effSys=modifyList(effSys.default, effSys)
51
52     TONC=47
53     Ct=(TONC-20)/800
54     lambda=0.0045
55     Gef=radEf@GefI$Gef
56     night=radEf@solI$night
57     Ta=radEf@Ta$Ta
58
59     Tc=Ta+Ct*Gef
60     Pdc=Pg*Gef/1000*(1-lambda*(Tc-25))
61     Pdc[is.na(Pdc)]=0 #Necessary for the functions provided by fPump
62     PdcN=with(effSys,
63               Pdc/converter$Pnom*(1-ModQual/100)*(1-ModDisp/100)*(1-OhmDC/100)
64               )
65     PacN=with(converter,{
66         A=Ki[3]
67         B=Ki[2]+1
68         C=Ki[1]-(PdcN)
69         ##AC power normalized to the inverter
70         result=(-B+sqrt(B^2-4*A*C))/(2*A)
71     })
72     PacN[PacN<0]<-0
73
74     Pac=with(converter,
75             PacN*Pnom*(1-effSys$OhmAC/100))
76     Pdc=PdcN*converter$Pnom*(Pac>0)
77
78     ###Pump
79     fun<-fPump(pump=pump, H=H)
80     ##I limit power to the pump operating range.
81     rango=with(fun,Pac>=lim[1] & Pac<=lim[2])
82     Pac[!rango]<-0
83     Pdc[!rango]<-0
84     prodI=data.table(Pac=Pac,Pdc=Pdc,Q=0,Pb=0,Ph=0,f=0)
85     prodI=within(prodI,{
86         Q[rango]<-fun$fQ(Pac[rango])
87         Pb[rango]<-fun$fPb(Pac[rango])
88         Ph[rango]<-fun$fPh(Pac[rango])
89         f[rango]<-fun$fFreq(Pac[rango])
90         etam=Pb/Pac
91         etab=Ph/Pb
92     })
93
94     prodI[night,]<-NA
95     prodI[, Dates := indexI(radEf)]
96     setcolorder(prodI, c('Dates', names(prodI)[-length(prodI)]))
97

```

```

98  ###daily, monthly and yearly values
99
100  by <- radEf@sample
101
102  if(radEf@type == 'prom'){
103    prodDm <- prodI[, .(Eac = P2E(Pac, by)/1000,
104                        Qd = P2E(Q, by)),
105                      by = .(month(Dates), year(Dates))]
106    prodDm[, Yf := Eac/(Pg/1000)]
107
108    prodD <- prodDm[, .(Eac = Eac*1000,
109                      Qd,
110                      Yf),
111                    by = .(Dates = indexD(radEf))]
112
113    prodDm[, DayOfMonth := DOM(prodDm)]
114
115    prody <- prodDm[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
116                      .SDcols = c('Eac', 'Qd', 'Yf'),
117                      by = .(Dates = year)]
118    prodDm[, DayOfMonth := NULL]
119  } else {
120    prodD <- prodI[, .(Eac = P2E(Pac, by)/1000,
121                      Qd = P2E(Q, by)),
122                    by = .(Dates = truncDay(Dates))]
123    prodD[, Yf := Eac/Pg*1000]
124
125    prodDm <- prodD[, lapply(.SD, mean, na.rm = TRUE),
126                      .SDcols = c('Eac', 'Qd', 'Yf'),
127                      by = .(month(Dates), year(Dates))]
128    prody <- prodD[, lapply(.SD, sum, na.rm = TRUE),
129                      .SDcols = c('Eac', 'Qd', 'Yf'),
130                      by = .(Dates = year(Dates))]
131
132  }
133
134  prodDm[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
135  prodDm[, c('month', 'year') := NULL]
136  setcolorder(prodDm, 'Dates')
137
138  result <- new('ProdPVPS',
139               radEf,                                #contains 'Gef'
140               prodD=prodD,
141               prodDm=prodDm,
142               prody=prody,
143               prodI=prodI,
144               pump=pump,
145               H=H,
146               Pg=Pg,
147               converter=converter,
148               effSys=effSys
149             )
150 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.5: *prodGCPV***A.1.6. calcShd**

```

1  calcShd<-function(radEf,##class='Gef'
2      modeTrk='fixed',      #c('two','horiz','fixed')
3      modeShd='prom',      #modeShd=c('area','bt','prom')
4      struct=list(), #list(W=23.11, L=9.8, Nrow=2, Ncol=8),
5      distances=data.frame() #data.table(Lew=40, Lns=30, H=0)){
6      )
7  {
8      stopifnot(is.list(struct), is.data.frame(distances))
9
10     ##For now I only use modeShd = 'area'
11     ##With different modeShd (to be defined) I will be able to calculate Gef in a
12     ##different way
13     ##See macagnan thesis
14     prom=("prom" %in% modeShd)
15     prev <- as.data.tableI(radEf, complete=TRUE)
16     ## shadow calculations
17     sol <- data.table(AzS = prev$AzS,
18                     Als = prev$Als)
19     theta <- radEf@Theta
20     AngGen <- data.table(theta, sol)
21     FS <- fSombra(AngGen, distances, struct, modeTrk, prom)
22     ## irradiance calculation
23     gef0 <- radEf@GefI
24     Bef0 <- gef0$Bef
25     Dcef0 <- gef0$Dcef
26     Gef0 <- gef0$Gef
27     Dief0 <- gef0$Dief
28     Ref0 <- gef0$Ref
29     ## calculation
30     Bef <- Bef0*(1-FS)
31     Dcef <- Dcef0*(1-FS)
32     Def <- Dief0+Dcef
33     Gef <- Dief0+Ref0+Bef+Dcef #Including shadows
34     ##Change names
35     nms <- c('Gef', 'Def', 'Dcef', 'Bef')
36     nmsIndex <- which(names(gef0) %in% nms)
37     names(gef0)[nmsIndex]<- paste(names(gef0)[nmsIndex], '0', sep='')
38     GefShd <- gef0
39     GefShd[, c(nms, 'FS') := .(Gef, Def, Dcef, Bef, FS)]
40
41     ## daily, monthly and yearly values
42     by <- radEf@sample
43     nms <- c('Gef0', 'Def0', 'Bef0', 'G', 'D', 'B', 'Gef', 'Def', 'Bef')
44     nmsd <- paste(nms, 'd', sep = '')
45
46     Gefdm <- GefShd[, lapply(.SD/1000, P2E, by),
47                     by = .(month(truncDay(Dates)), year(truncDay(Dates))),
48                     .SDcols = nms]
49     names(Gefdm)[-c(1, 2)] <- nmsd
50
51     if(radEf@type == 'prom'){
52         GefD <- Gefdm[, .SD[, -c(1, 2)] * 1000,
53                     .SDcols = nmsd,
54                     by = .(Dates = indexD(radEf))]
55
56         Gefdm[, DayOfMonth := DOM(Gefdm)]

```

```

57     Gefy <- Gefdm[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
58                        .SDcols = nmsd,
59                        by = .(Dates = year)]
60     Gefdm[, DayOfMonth := NULL]
61   } else{
62     GefD <- GefShd[, lapply(.SD/1000, P2E, by),
63                     .SDcols = nms,
64                     by = .(Dates = truncDay(Dates))]
65     names(GefD)[-1] <- nmsd
66
67     Gefy <- GefD[, lapply(.SD[, -1], sum, na.rm = TRUE),
68                  .SDcols = nmsd,
69                  by = .(Dates = year(Dates))]
70   }
71
72   Gefdm[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
73   Gefdm[, c('month', 'year') := NULL]
74   setcolorder(Gefdm, c('Dates', names(Gefdm)[-length(Gefdm)]))
75
76   ## Object of class Gef
77   ## modifying the 'modeShd', 'GefI', 'GefD', 'Gefdm', and 'Gefy' slots
78   ## from the original radEf object
79   radEf@modeShd=modeShd
80   radEf@GefI=GefShd
81   radEf@GefD=GefD
82   radEf@Gefdm=Gefdm
83   radEf@Gefy=Gefy
84   return(radEf)
85 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.6: *calcShd*

A.1.7. optimShd

```

1  optimShd<-function(lat,
2                      modeTrk='fixed',
3                      modeRad='prom',
4                      dataRad,
5                      sample='hour',
6                      keep.night=TRUE,
7                      sunGeometry='michalsky',
8                      betaLim=90, beta=abs(lat)-10, alfa=0,
9                      iS=2, alb=0.2, HCPV=FALSE,
10                     module=list(),
11                     generator=list(),
12                     inverter=list(),
13                     effSys=list(),
14                     modeShd='',
15                     struct=list(),
16                     distances=data.table(),
17                     res=2,      #resolution, distance spacing
18                     prog=TRUE){ #Drawing progress bar
19
20   if (('bt' %in% modeShd) & (modeTrk!='horiz')) {
21     modeShd[which(modeShd=='bt')]='area'
22     warning('backtracking is only implemented for modeTrk=horiz')
23   }

```

```

24  ##I save function arguments for later use
25
26  listArgs<-list(lat=lat, modeTrk=modeTrk, modeRad=modeRad,
27               dataRad=dataRad,
28               sample=sample, keep.night=keep.night,
29               sunGeometry=sunGeometry,
30               betaLim=betaLim, beta=beta, alfa=alfa,
31               iS=iS, alb=alb, HCPV=HCPV,
32               module=module, generator=generator,
33               inverter=inverter, effSys=effSys,
34               modeShd=modeShd, struct=struct,
35               distances=data.table(Lew=NA, Lns=NA, D=NA))
36
37
38  ##I think network on which I will do the calculations
39  Red=switch(modeTrk,
40            horiz=with(distances,
41                       data.table(Lew=seq(Lew[1],Lew[2],by=res),
42                                   H=0)),
43            two=with(distances,
44                    data.table(
45                      expand.grid(Lew=seq(Lew[1],Lew[2],by=res),
46                                    Lns=seq(Lns[1],Lns[2],by=res),
47                                    H=0))),
48            fixed=with(distances,
49                      data.table(D=seq(D[1],D[2],by=res),
50                                  H=0))
51  )
52
53  casos<-dim(Red)[1] #Number of possibilities to study
54
55  ##I prepare the progress bar
56  if (prog) {pb <- txtProgressBar(min = 0, max = casos+1, style = 3)
57            setTxtProgressBar(pb, 0)}
58
59  ###Calculations
60  ##Reference: No shadows
61  listArgs0 <- modifyList(listArgs,
62                         list(modeShd='', struct=NULL, distances=NULL) )
63  Prod0<-do.call(prodGCPV, listArgs0)
64  YfAnual0=mean(Prod0@prody$Yf) #I use mean in case there are several years
65  if (prog) {setTxtProgressBar(pb, 1)}
66
67  ##The loop begins
68
69  ##I create an empty vector of the same length as the cases to be studied
70  YfAnual<-numeric(casos)
71
72  BT=('bt' %in% modeShd)
73  if (BT) { ##There is backtracking, then I must start from horizontal radiation.
74          RadBT <- as(Prod0, 'G0')
75          for (i in seq_len(casos)){
76            listArgsBT <- modifyList(listArgs,
77                                   list(modeRad='prev', dataRad=RadBT,
78                                       distances=Red[i,]))
79            prod.i <- do.call(prodGCPV, listArgsBT)
80            YfAnual[i]=mean(prod.i@prody$Yf)
81            if (prog) {setTxtProgressBar(pb, i+1)}

```

```

82     }
83   } else {
84     prom=('prom' %in% modeShd)
85     for (i in seq_len(casos)){
86       Gef0=as(Prod0, 'Gef')
87       GefShd=calcShd(Gef0, modeTrk=modeTrk, modeShd=modeShd,
88                     struct=struct, distances=Red[i,])
89       listArgsShd <- modifyList(listArgs,
90                               list(modeRad='prev', dataRad=GefShd)
91                               )
92       prod.i <- do.call(prodGCPV, listArgsShd)
93       YfAnual[i]=mean(prod.i@prody$Yf)
94       if (prog) {setTxtProgressBar(pb, i+1)}
95     }
96   }
97   if (prog) {close(pb)}
98
99
100  ###Results
101  FS=1-YfAnual/YfAnual0
102  GRR=switch(modeTrk,
103            two=with(Red,Lew*Lns)/with(struct,L*W),
104            fixed=Red$D/struct$L,
105            horiz=Red$Lew/struct$L)
106  SombraDF=data.table(Red,GRR,FS,Yf=YfAnual)
107  FS.loess=switch(modeTrk,
108                two=loess(FS~Lew*Lns,data=SombraDF),
109                horiz=loess(FS~Lew,data=SombraDF),
110                fixed=loess(FS~D,data=SombraDF))
111  Yf.loess=switch(modeTrk,
112                two=loess(Yf~Lew*Lns,data=SombraDF),
113                horiz=loess(Yf~Lew,data=SombraDF),
114                fixed=loess(Yf~D,data=SombraDF))
115  result <- new('Shade',
116              Prod0, ##contains ProdGCPV
117              FS=FS,
118              GRR=GRR,
119              Yf=YfAnual,
120              FS.loess=FS.loess,
121              Yf.loess=Yf.loess,
122              modeShd=modeShd,
123              struct=struct,
124              distances=Red,
125              res=res
126              )
127  result
128 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.7: *optimShd*

A.1.8. meteoReaders

```

1  ##### monthly means of irradiation #####
2  readG0dm <- function(G0dm, Ta = 25, lat = 0,
3                      year = as.POSIXlt(Sys.Date())$year + 1900,
4                      promDays = c(17, 14, 15, 15, 15, 10, 18, 18, 18, 19, 18, 13),
5                      source = '')

```

```

6 {
7   if(missing(lat)){lat <- 0}
8   Dates <- as.IDate(paste(year, 1:12, promDays, sep = '-'), tz = 'UTC')
9   G0dm.dt <- data.table(Dates = Dates,
10                        G0d = G0dm,
11                        Ta = Ta)
12   setkey(G0dm.dt, 'Dates')
13   results <- new(Class = 'Meteo',
14                 latm = lat,
15                 data = G0dm.dt,
16                 type = 'prom',
17                 source = source)
18 }
19
20 ##### file to Meteo (daily) #####
21 readBDd <- function(file, lat,
22                    format = "%d/%m/%Y", header = TRUE,
23                    fill = TRUE, dec = '.', sep = ';',
24                    dates.col = 'Dates', ta.col = 'Ta',
25                    g0.col = 'G0', keep.cols = FALSE)
26 {
27   #stops if the arguments are not characters or numerics
28   stopifnot(is.character(dates.col) || is.numeric(dates.col))
29   stopifnot(is.character(ta.col) || is.numeric(ta.col))
30   stopifnot(is.character(g0.col) || is.numeric(g0.col))
31
32   #read from file and set it in a data.table
33   bd <- fread(file, header = header, fill = fill, dec = dec, sep = sep)
34
35   #check the columns
36   if(!(dates.col %in% names(bd))) stop(paste('The column', dates.col, 'is not in the
37   file'))
38   if(!(g0.col %in% names(bd))) stop(paste('The column', g0.col, 'is not in the file'
39   ))
40   if(!(ta.col %in% names(bd))) stop(paste('The column', ta.col, 'is not in the file'
41   ))
42
43   #name the dates column by Dates
44   Dates <- bd[[dates.col]]
45   bd[, (dates.col) := NULL]
46   bd[, Dates := as.IDate(Dates, format = format)]
47
48   #name the g0 column by G0
49   G0 <- bd[[g0.col]]
50   bd[, (g0.col) := NULL]
51   bd[, G0 := as.numeric(G0)]
52
53   #name the ta column by Ta
54   Ta <- bd[[ta.col]]
55   bd[, (ta.col) := NULL]
56   bd[, Ta := as.numeric(Ta)]
57
58   names0 <- NULL
59   if(all(c('D0', 'B0') %in% names(bd))){
60     names0 <- c(names0, 'D0', 'B0')
61   }
62
63   names0 <- c(names0, 'Ta')

```



```

61
62   if(all(c('TempMin', 'TempMax') %in% names(bd))){
63       names0 <- c(names0, 'TempMin', 'TempMax')
64   }
65   if(keep.cols)
66   {
67       #keep the rest of the columns but reorder the columns
68       setcolorder(bd, c('Dates', 'G0', names0))
69   }
70   else
71   {
72       #erase the rest of the columns
73       cols <- c('Dates', 'G0', names0)
74       bd <- bd[, ..cols]
75   }
76
77   setkey(bd, 'Dates')
78   result <- new(Class = 'Meteo',
79                 latm = lat,
80                 data = bd,
81                 type = 'bd',
82                 source = file)
83 }
84
85 ##### file to Meteo (intradaily) #####
86 readBDi <- function(file, lat,
87                     format = "%d/%m/%Y %H:%M:%S",
88                     header = TRUE, fill = TRUE, dec = '.',
89                     sep = ';', dates.col = 'dates', times.col,
90                     ta.col = 'Ta', g0.col = 'G0', keep.cols = FALSE)
91 {
92     #stops if the arguments are not characters or numerics
93     stopifnot(is.character(dates.col) || is.numeric(dates.col))
94     stopifnot(is.character(ta.col) || is.numeric(ta.col))
95     stopifnot(is.character(g0.col) || is.numeric(g0.col))
96
97     #read from file and set it in a data.table
98     bd <- fread(file, header = header, fill = fill, dec = dec, sep = sep)
99
100    #check the columns
101    if(!(dates.col %in% names(bd))) stop(paste('The column', dates.col, 'is not in the
102    file'))
103    if(!(g0.col %in% names(bd))) stop(paste('The column', g0.col, 'is not in the file'
104    ))
105    if(!(ta.col %in% names(bd))) stop(paste('The column', ta.col, 'is not in the file'
106    ))
107
108    if(!missing(times.col)){
109        stopifnot(is.character(times.col) || is.numeric(times.col))
110        if(!(times.col %in% names(bd))) stop(paste('The column', times.col, 'is not in
111        the file'))
112
113        #name the dates column by Dates
114        format <- strsplit(format, ' ')
115        dd <- as.IDate(bd[[dates.col]], format = format[[1]][1])
116        tt <- as.ITime(bd[[times.col]], format = format[[1]][2])
117        bd[, (dates.col) := NULL]
118        bd[, (times.col) := NULL]

```

```

115     bd[, Dates := as.POSIXct(dd, tt, tz = 'UTC')]
116   }
117
118   else
119   {
120     dd <- as.POSIXct(bd[[dates.col]], format = format, tz = 'UTC')
121     bd[, (dates.col) := NULL]
122     bd[, Dates := dd]
123   }
124
125   #name the g0 column by GO
126   GO <- bd[[g0.col]]
127   bd[, (g0.col) := NULL]
128   bd[, GO := as.numeric(GO)]
129
130   #name the ta column by Ta
131   Ta <- bd[[ta.col]]
132   bd[, (ta.col) := NULL]
133   bd[, Ta := as.numeric(Ta)]
134
135   names0 <- NULL
136   if(all(c('D0', 'B0') %in% names(bd))){
137     names0 <- c(names0, 'D0', 'B0')
138   }
139
140   names0 <- c(names0, 'Ta')
141
142   if(keep.cols)
143   {
144     #keep the rest of the columns but reorder the columns
145     setcolorder(bd, c('Dates', 'GO', names0))
146   }
147   else
148   {
149     #erase the rest of the columns
150     cols <- c('Dates', 'GO', names0)
151     bd <- bd[, ..cols]
152   }
153
154   setkey(bd, 'Dates')
155   result <- new(Class = 'Meteo',
156                 latm = lat,
157                 data = bd,
158                 type = 'bdI',
159                 source = file)
160 }
161
162
163 dt2Meteo <- function(file, lat, source = '', type){
164   ## Make sure its a data.table
165   bd <- data.table(file)
166
167   ## Dates is an as.POSIX element
168   bd[, Dates := as.POSIXct(Dates, tz = 'UTC')]
169
170   ## type
171   if(missing(type)){
172     sample <- median(diff(file$Dates))

```

```

173   IsDaily <- as.numeric(sample, units = 'days')
174   if(is.na(IsDaily)) IsDaily <- ifelse('G0d' %in% names(bd),
175                                     1, 0)
176   if(IsDaily >= 30) type <- 'prom'
177   else{
178     type <- ifelse(IsDaily >= 1, 'bd', 'bdI')
179   }
180
181 }
182 if(!('Ta' %in% names(bd))){
183   if(all(c('Tempmin', 'TempMax') %in% names(bd))){
184     bd[, Ta := mean(c(Tempmin, TempMax))]
185   } else bd[, Ta := 25]
186 }
187
188 ## Columns of the data.table
189 nms0 <- switch(type,
190               bd = ,
191               prom = {
192                 nms0 <- 'G0d'
193                 if(all(c('D0d', 'B0d') %in% names(bd))){
194                   nms0 <- c(nms0, 'D0d', 'B0d')
195                 }
196                 nms0 <- c(nms0, 'Ta')
197                 if(all(c('TempMin', 'TempMax') %in% names(bd))){
198                   nms0 <- c(nms0, 'TempMin', 'TempMax')
199                 }
200                 nms0
201               },
202               bdI = {
203                 nms0 <- 'G0'
204                 if(all(c('D0', 'B0') %in% names(bd))){
205                   nms0 <- c(nms0, 'D0', 'B0')
206                 }
207                 if('Ta' %in% names(bd)){
208                   nms0 <- c(nms0, 'Ta')
209                 }
210                 nms0
211               })
212 ## Columns order and set key
213 setcolorder(bd, c('Dates', nms0))
214 setkey(bd, 'Dates')
215 ## Result
216 result <- new(Class = 'Meteo',
217               latm = lat,
218               data = bd,
219               type = type,
220               source = source)
221 }
222
223 ##### Liu and Jordan, Collares-Pereira and Rabl proposals #####
224 collper <- function(sol, compD)
225 {
226   Dates <- indexI(sol)
227   x <- as.Date(Dates)
228   ind.rep <- cumsum(c(1, diff(x) != 0))
229   solI <- as.data.tableI(sol, complete = T)
230   ws <- solI$ws

```

```

231   w <- solI$w
232
233   a <- 0.409-0.5016*sin(ws+pi/3)
234   b <- 0.6609+0.4767*sin(ws+pi/3)
235
236   rd <- solI[, Bo0/Bo0d]
237   rg <- rd * (a + b * cos(w))
238
239   # Daily irradiation components
240   G0d <- compD$G0d[ind.rep]
241   B0d <- compD$B0d[ind.rep]
242   D0d <- compD$D0d[ind.rep]
243
244   # Daily profile
245   G0 <- G0d * rg
246   D0 <- D0d * rd
247
248   # This method may produce diffuse irradiance higher than
249   # global irradiance
250   G0 <- pmax(G0, D0, na.rm = TRUE)
251   B0 <- G0 - D0
252
253   # Negative values are set to NA
254   neg <- (B0 < 0) | (D0 < 0) | (G0 < 0)
255   is.na(G0) <- neg
256   is.na(B0) <- neg
257   is.na(D0) <- neg
258
259   # Daily profiles are scaled to keep daily irradiation values
260   day <- truncDay(indexI(sol))
261   sample <- sol@sample
262
263   G0dCP <- ave(G0, day, FUN=function(x) P2E(x, sample))
264   B0dCP <- ave(B0, day, FUN=function(x) P2E(x, sample))
265   D0dCP <- ave(D0, day, FUN=function(x) P2E(x, sample))
266
267   G0 <- G0 * G0d/G0dCP
268   B0 <- B0 * B0d/B0dCP
269   D0 <- D0 * D0d/D0dCP
270
271   res <- data.table(G0, B0, D0)
272   return(res)
273 }
274
275
276 ##### intradaily Meteo to daily Meteo #####
277 MeteoI2Meteod <- function(G0i)
278 {
279   lat <- G0i@latm
280   source <- G0i@source
281
282   dt0 <- getData(G0i)
283   dt <- dt0[, lapply(.SD, sum),
284             .SDcols = names(dt0)[!names(dt0) %in% c('Dates', 'Ta')],
285             by = .(Dates = as.IDate(Dates))]
286   if('Ta' %in% names(dt0)){
287     Ta <- dt0[, .(Ta = mean(Ta),
288                     TempMin = min(Ta),

```

```

289         TempMax = max(Ta)),
290         by = .(Dates = as.IDate(Dates))])
291     if(all(Ta$Ta == c(Ta$TempMin, Ta$TempMax))) Ta[, c('TempMin', 'TempMax') :=
NULL]
292     dt <- merge(dt, Ta)
293 }
294 if('G0' %in% names(dt)){
295     names(dt)[names(dt) == 'G0'] <- 'G0d'
296 }
297 if('D0' %in% names(dt)){
298     names(dt)[names(dt) == 'D0'] <- 'D0d'
299 }
300 if('B0' %in% names(dt)){
301     names(dt)[names(dt) == 'B0'] <- 'B0d'
302 }
303 G0d <- dt2Meteo(dt, lat, source, type = 'bd')
304 return(G0d)
305 }
306
307 ##### daily Meteo to monthly Meteo #####
308 Meteod2Meteom <- function(G0d)
309 {
310     lat <- G0d@latm
311     source <- G0d@source
312
313     dt <- getData(G0d)
314     nms <- names(dt)[-1]
315     dt <- dt[, lapply(.SD, mean),
316         .SDcols = nms,
317         by = .(month(Dates), year(Dates))]
318     dt[, Dates := fBTd()]
319     dt <- dt[, c('month', 'year') := NULL]
320
321     setcolorder(dt, 'Dates')
322
323     G0m <- dt2Meteo(dt, lat, source, type = 'prom')
324     return(G0m)
325 }
326
327 zoo2Meteo <- function(file, lat, source = '')
328 {
329     sample <- median(diff(index(file)))
330     IsDaily <- as.numeric(sample, units = 'days')>=1
331     type <- ifelse(IsDaily, 'bd', 'bdI')
332     result <- new(Class = 'Meteo',
333         latm = lat,
334         data = file,
335         type = type,
336         source = source)
337 }
338
339 siarGET <- function(id, inicio, final, tipo = 'Mensuales', ambito = 'Estacion'){
340     if(!(tipo %in% c('Horarios', 'Diarios', 'Semanales', 'Mensuales'))){
341         stop('argument \'tipo\' must be: Horarios, Diarios, Semanales or Mensuales')
342     }
343     if(!(ambito %in% c('CCAA', 'Provincia', 'Estacion'))){
344         stop('argument \'ambito\' must be: CCAA, Provincia or Estacion')
345     }

```

```

346
347 mainURL <- "https://servicio.mapama.gob.es"
348
349 path <- paste('/apisiar/API/v1/Datos', tipo, ambito, sep = '/')
350
351 ## prepare the APISiar
352 req <- request(mainURL) |>
353   req_url_path(path) |>
354   req_url_query(Id = id,
355                 FechaInicial = inicio,
356                 FechaFinal = final,
357                 ClaveAPI = '_Q8L_niYFBBmBs-vB3UomUqdUYy98FTRX1aYbrZ8n2FXuHYGTV')
358
359 ## execute it
360 resp <- req_perform(req)
361
362 ##JSON to R
363 respJSON <- resp_body_json(resp, simplifyVector = TRUE)
364
365 if(!is.null(respJSON$MensajeRespuesta)){
366   stop(respJSON$MensajeRespuesta)
367 }
368
369 res0 <- data.table(respJSON$Datos)
370
371 res <- switch(tipo,
372              Horarios = {
373                res0[, HoraMin := as.ITime(sprintf('%04d', HoraMin),
374                                                  format = '%H%M')]
375                res0[, Fecha := as.IDate(Fecha, format = '%Y-%m-%d')]
376                res0[, Fecha := as.IDate(ifelse(HoraMin == as.ITime(0),
377                                                  Fecha+1, Fecha))]
378                res0[, Dates := as.POSIXct(HoraMin, Fecha,
379                                              tz = 'Europe/Madrid')]
380                res0 <- res0[, .(Dates,
381                                GO = Radiacion,
382                                Ta = TempMedia)]
383                return(res0)
384              },
385              Diarios = {
386                res0[, Dates := as.IDate(Fecha)]
387                res0 <- res0[, .(Dates,
388                                GOd = Radiacion * 277.78,
389                                Ta = TempMedia,
390                                TempMin,
391                                TempMax)]
392                return(res0)
393              },
394              Semanales = res0,
395              Mensuales = {
396                promDays<-c(17,14,15,15,15,10,18,18,18,19,18,13)
397                names(res0)[1] <- 'Year'
398                res0[, Dates := as.IDate(paste(Year, Mes,
399                                              promDays[Mes],
400                                              sep = '-'))]
401                res0 <- res0[, .(Dates,
402                                GOd = Radiacion * 277.78,
403                                Ta = TempMedia,
404                                TempMin,

```

```

404                                     TempMax)]
405     })
406
407     return(res)
408 }
409
410 haversine <- function(lat1, lon1, lat2, lon2) {
411     R <- 6371 # Radius of the Earth in kilometers
412     dLat <- (lat2 - lat1) * pi / 180
413     dLon <- (lon2 - lon1) * pi / 180
414     a <- sin(dLat / 2) * sin(dLat / 2) + cos(lat1 * pi / 180) *
415         cos(lat2 * pi / 180) * sin(dLon / 2) * sin(dLon / 2)
416     c <- 2 * atan2(sqrt(a), sqrt(1 - a))
417     d <- R * c
418     return(d)
419 }
420
421 readSIAR <- function(Lon = 0, Lat = 0,
422     inicio = paste(year(Sys.Date())-1, '01-01', sep = '-'),
423     final = paste(year(Sys.Date())-1, '12-31', sep = '-'),
424     tipo = 'Mensuales', n_est = 3){
425     inicio <- as.Date(inicio)
426     final <- as.Date(final)
427
428     n_reg <- switch(tipo,
429         Horarios = {
430             tt <- difftime(final, inicio, units = 'days')
431             tt <- (as.numeric(tt)+1)*48
432             tt <- tt*n_est
433             tt
434         },
435         Diarios = {
436             tt <- difftime(final, inicio, units = 'days')
437             tt <- as.numeric(tt)+1
438             tt <- tt*n_est
439             tt
440         },
441         Semanales = {
442             tt <- difftime(final, inicio, units = 'weeks')
443             tt <- as.numeric(tt)
444             tt <- tt*n_est
445             tt
446         },
447         Mensuales = {
448             tt <- difftime(final, inicio, units = 'weeks')
449             tt <- as.numeric(tt)/4.34524
450             tt <- ceiling(tt)
451             tt <- tt*n_est
452             tt
453         })
454     if(n_reg > 100) stop(paste('Number of requested records (', n_reg,
455         ') exceeds the maximum allowed (100)', sep = ''))
456     ## Obtain the nearest stations
457     siar <- est_SIAR[
458         Fecha_Instalacion <= final & (is.na(Fecha_Baja) | Fecha_Baja >= inicio)
459     ]
460
461     ## Weights for the interpolation

```

```

462   siar[, dist := haversine(Latitud, Longitud, Lat, Lon)]
463   siar <- siar[order(dist)][1:n_est]
464   siar[, peso := 1/dist]
465   siar[, peso := peso/sum(peso)]
466   ## Is the given location within the polygon formed by the stations?
467   siar <- siar[, .(Estacion,Codigo, dist, peso)]
468
469   ## List for the data.tables of siarGET
470   siar_list <- list()
471   for(codigo in siar$Codigo){
472     siar_list[[codigo]] <- siarGET(id = codigo,
473                                   inicio = as.character(inicio),
474                                   final = as.character(final),
475                                   tipo = tipo)
476     siar_list[[codigo]]$peso <- siar[Codigo == codigo, peso]
477   }
478
479   ## Bind the data.tables
480   s_comb <- rbindlist(siar_list, use.names = TRUE, fill = TRUE)
481
482   nms <- names(s_comb)
483   nms <- nms[-c(1, length(nms))]
484
485   ## Interpole
486   res <- s_comb[, lapply(.SD * peso, sum, na.rm = TRUE),
487                     .SDcols = nms,
488                     by = Dates]
489
490   ## Source
491   mainURL <- "https://servicio.mapama.gob.es"
492   Estaciones <- siar[, paste(Estacion, '(', Codigo, ')', sep = '')]
493   Estaciones <- paste(Estaciones, collapse = ', ')
494   source <- paste(mainURL, '\n -Estaciones:', Estaciones, sep = ' ')
495
496   res <- switch(tipo,
497               Horarios = {dt2Meteo(res, lat = Lat, source = mainURL, type = 'bdI')
498               },
499               Diarios = {dt2Meteo(res, lat = Lat, source = mainURL, type = 'bd')},
500               Semanales = {res},
501               Mensuales = {dt2Meteo(res, lat = Lat, source = source, type = 'prom'
502   ))
501   return(res)
502 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.8: *meteoReaders*

A.2. Clases

A.2.1. Sol

```

1  setClass(
2    Class='Sol', ##Solar angles
3    slots = c(
4      lat='numeric',#latitud in degrees, >0 if North
5      sold='data.table',#daily angles
6      soli='data.table',#intradaily angles
7      sample='character',#sample of time

```



```

8         method='character'#method used for geometry calculations
9     ),
10    validity=function(object) {return(TRUE)}
11 )

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.9: Clase Sol

A.2.2. Meteo

```

1 setClass(
2     Class = 'Meteo', ##radiation and temperature data
3     slots = c(
4         latm='numeric',#latitud in degrees, >0 if North
5         data='data.table',#data, including G (Wh/m2) and Ta (°C)
6         type='character',#choose between 'prom', 'bd' and 'bdI'
7         source='character'#origin of the data
8     ),
9     validity=function(object) {return(TRUE)}
10 )

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.10: Clase Meteo

A.2.3. G0

```

1 setClass(
2     Class = 'G0',
3     slots = c(
4         GOD = 'data.table', #result of fCompD
5         G0dm = 'data.table', #monthly means
6         G0y = 'data.table', #yearly values
7         G0I = 'data.table', #result of fCompI
8         Ta = 'data.table' #Ambient temperature
9     ),
10    contains = c('Sol', 'Meteo'),
11    validity = function(object) {return(TRUE)}
12 )
13

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.11: Clase G0

A.2.4. Gef

```

1 setClass(
2     Class='Gef',
3     slots = c(
4         GefD='data.table', #daily values
5         Gefdm='data.table', #monthly means
6         Gefy='data.table', #yearly values
7         GefI='data.table', #result of fInclin
8         Theta='data.table', #result of fTheta
9         iS='numeric', #dirt index
10        alb='numeric', #albedo
11        modeTrk='character', #tracking mode
12        modeShd='character', #shadow mode
13        angGen='list', #includes alpha, beta and betaLim

```

```

14         struct='list',          #structure dimensions
15         distances='data.frame' #distances between structures
16     ),
17     contains='GO',
18     validity=function(object) {return(TRUE)}
19 )

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.12: *Clase Gef*

A.2.5. ProdGCPV

```

1  setClass(
2      Class='ProdGCPV',
3      slots = c(
4          prodD='data.table', #daily values
5          prodDm='data.table', #monthly means
6          prody='data.table', #yearly values
7          prodI='data.table', #results of fProd
8          module='list',      #module characteristics
9          generator='list',    #generator characteristics
10         inverter='list',     #inverter characteristics
11         effSys='list'        #efficiency values of the system
12     ),
13     contains='Gef',
14     validity=function(object) {return(TRUE)}
15 )

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.13: *Clase ProdGCPV*

A.2.6. ProdPVPS

```

1  setClass(
2      Class='ProdPVPS',
3      slots = c(
4          prodD='data.table', #daily values
5          prodDm='data.table', #monthly means
6          prody='data.table', #yearly values
7          prodI='data.table', #results of fPump
8          Pg='numeric',       #generator power
9          H='numeric',         #manometric head
10         pump='list',          #parameters of the pump
11         converter='list',     #inverter characteristics
12         effSys='list'        #efficiency values of the system
13     ),
14     contains='Gef',
15     validity=function(object) {return(TRUE)}
16 )

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.14: *Clase ProdPVPS*

A.2.7. Shade

```

1  setClass(
2      Class='Shade',
3      slots = c(

```

```

4      FS='numeric', #shadows factor values
5      GRR='numeric', #Ground Requirement Ratio
6      Yf='numeric', #final productivity
7      FS.loess='loess', #local fitting of FS with loess
8      Yf.loess='loess', #local fitting of Yf with loess
9      modeShd='character', #mode of shadow
10     struct='list',      #dimensions of the structures
11     distances='data.frame', #distances between structures
12     res='numeric'      #difference between the different steps of the
calculations
13   ),
14   contains='ProdGCPV',##Resultado de prodGCPV sin sombras (Prod0)
15   validity=function(object) {return(TRUE)}
16 )

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.15: *Clase Shade*

A.3. Funciones

A.3.1. corrFdKt

```

1  ##### monthly Kt #####
2  Ktm <- function(sol, G0dm){
3    solf <- sol@solD[, .(Dates, Bo0d)]
4    solf[, c('month', 'year') := .(month(Dates), year(Dates))]
5    solf[, Bo0m := mean(Bo0d), by = .(month, year)]
6    G0df <- G0dm@data[, .(Dates, G0d)]
7    G0df[, c('month', 'year') := .(month(Dates), year(Dates))]
8    G0df[, G0d := mean(G0d), by = .(month, year)]
9    Ktm <- G0df$G0d/solf$Bo0m
10   return(Ktm)
11 }
12
13 ##### daily Kt #####
14 Ktd <- function(sol, G0d){
15   Bo0d <- sol@solD$Bo0d
16   G0d <- getG0(G0d)
17   Ktd <- G0d/Bo0d
18   return(Ktd)
19 }
20
21 ### intradaily
22 Kti <- function(sol, G0i){
23   Bo0 <- sol@solI$Bo0
24   G0i <- getG0(G0i)
25   Kti <- G0i/Bo0
26   return(Kti)
27 }
28
29
30 ##### monthly correlations #####
31
32 ### Page ###
33 FdKtPage <- function(sol, G0dm){
34   Kt <- Ktm(sol, G0dm)
35   Fd=1-1.13*Kt
36   return(data.table(Fd, Kt))

```

```

37 }
38
39 ### Liu and Jordan ###
40 FdKtLJ <- function(sol, G0dm){
41   Kt <- Ktm(sol, G0dm)
42   Fd=(Kt<0.3)*0.595774 +
43     (Kt>=0.3 & Kt<=0.7)*(1.39-4.027*Kt+5.531*Kt^2-3.108*Kt^3)+
44     (Kt>0.7)*0.215246
45   return(data.table(Fd, Kt))
46 }
47
48
49 ##### daily correlations #####
50
51 ### Collares-Pereira and Rabl
52 FdKtCPR <- function(sol, G0d){
53   Kt <- Ktd(sol, G0d)
54   Fd=(0.99*(Kt<=0.17))+(Kt>0.17 & Kt<0.8)*
55     (1.188-2.272*Kt+9.473*Kt^2-21.856*Kt^3+14.648*Kt^4)+
56     (Kt>=0.8)*0.2426688
57   return(data.table(Fd, Kt))
58 }
59
60 ### Erbs, Klein and Duffie ###
61 FdKtEKDd <- function(sol, G0d){
62   ws <- sol@sold$ws
63   Kt <- Ktd(sol, G0d)
64
65   WS1=(abs(ws)<1.4208)
66   Fd=WS1*((Kt<0.715)*(1-0.2727*Kt+2.4495*Kt^2-11.9514*Kt^3+9.3879*Kt^4)+
67     (Kt>=0.715)*(0.143))+
68     !WS1*((Kt<0.722)*(1+0.2832*Kt-2.5557*Kt^2+0.8448*Kt^3)+
69     (Kt>=0.722)*(0.175))
70   return(data.table(Fd, Kt))
71 }
72
73 ### CLIMED1 ###
74 FdKtCLIMEDd <- function(sol, G0d){
75   Kt <- Ktd(sol, G0d)
76   Fd=(Kt<=0.13)*(0.952)+
77     (Kt>0.13 & Kt<=0.8)*(0.868+1.335*Kt-5.782*Kt^2+3.721*Kt^3)+
78     (Kt>0.8)*0.141
79   return(data.table(Fd, Kt))
80 }
81
82 ##### intradaily correlations #####
83
84 ### intradaily EKD ###
85 FdKtEKDh <- function(sol, G0i){
86   Kt <- Kti(sol, G0i)
87   Fd=(Kt<=0.22)*(1-0.09*Kt)+
88     (Kt>0.22 & Kt<=0.8)*(0.9511-0.1604*Kt+4.388*Kt^2-16.638*Kt^3+12.336*Kt^4)+
89     (Kt>0.8)*0.165
90   return(data.table(Fd, Kt))
91 }
92
93 ### intradaily CLIMED
94 FdKtCLIMEDh <- function(sol, G0i){

```

```

95   Kt <- Kti(sol, GOi)
96   Fd=(Kt<=0.21)*(0.995-0.081*Kt)+
97       (Kt>0.21 & Kt<=0.76)*(0.724+2.738*Kt-8.32*Kt^2+4.967*Kt^3)+
98       (Kt>0.76)*0.180
99   return(data.table(Fd, Kt))
100 }
101
102 ### intradaily Boland, Ridley and Lauret ###
103 FdKtBRL <- function(sol, GOi){
104   Kt <- Kti(sol, GOi)
105   sample <- sol@sample
106
107   solI <- as.data.tableI(sol, complete = TRUE)
108   w <- solI$w
109   night <- solI$night
110   AlS <- solI$AlS
111
112   G0d <- Meteoi2Meteod(GOi)
113   ktd <- Ktd(sol, G0d)
114
115   ##persistence
116   pers <- persistence(sol, ktd)
117
118   ##indexRep for ktd and pers
119   Dates <- indexI(sol)
120   x <- as.Date(Dates)
121   ind.rep <- cumsum(c(1, diff(x) != 0))
122   ktd <- ktd[ind.rep]
123   pers <- pers[ind.rep]
124
125   ##fd calculation
126   Fd=(1+exp(-5.38+6.63*Kt+0.006*r2h(w)-0.007*r2d(AlS)+1.75*ktd+1.31*pers))^-1)
127
128   return(data.table(Fd, Kt))
129 }
130
131 persistence <- function(sol, Ktd){
132   kt <- data.table(indexD(sol), Ktd)
133   ktNA <- na.omit(kt)
134   iDay <- truncDay(ktNA[[1]])
135
136   x <- rle(as.numeric(iDay))$lengths
137   xLast <- cumsum(x)
138
139   lag1 <- shift(ktNA$Ktd, -1, fill = NA)
140   for (i in xLast){
141     if ((i-1) != 0){lag1[i] <- ktNA$Ktd[i-1]}
142   }
143
144   lag2 <- shift(ktNA$Ktd, 1, fill = NA)
145   for (i in xLast){
146     if ((i+1) <= length(ktNA$Ktd)){lag2[i] <- ktNA$Ktd[i+1]}
147   }
148   pers <- data.table(lag1, lag2)
149   pers[, mean := 1/2 * (lag1+lag2)]
150   pers[, mean]
151 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.16: *corrFdKt*A.3.2. *fBTd*

```

1 fBTd<-function(mode='prom',
2               year= as.POSIXlt(Sys.Date())$year+1900,
3               start=paste('01-01-',year,sep=''),
4               end=paste('31-12-',year,sep=''),
5               format='%d-%m-%Y'){
6   promDays<-c(17,14,15,15,15,10,18,18,18,19,18,13)
7   BTd=switch(mode,
8             serie={
9               start.<-as.POSIXct(start, format=format, tz='UTC')
10              end.<-as.POSIXct(end, format=format, tz='UTC')
11              res<-seq(start., end., by="1 day")
12            },
13            prom=as.POSIXct(paste(year, 1:12, promDays, sep='-'), tz='UTC')
14            )
15   BTd
16 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.17: *fBTd*A.3.3. *fBTi*

```

1 intervalo <- function(day, sample){
2   intervalo <- seq.POSIXt(from = as.POSIXct(paste(day, '00:00:00'), tz = 'UTC'),
3                           to = as.POSIXct(paste(day, '23:59:59'), tz = 'UTC'),
4                           by = sample)
5   return(intervalo)
6 }
7
8 fBTi <- function(d, sample = 'hour'){
9   BTi <- lapply(d, intervalo, sample)
10  BTi <- do.call(c, BTi)
11  return(BTi)
12 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.18: *fBTi*A.3.4. *fCompD*

```

1 fCompD <- function(sol, G0d, corr = 'CPR', f)
2 {
3   if(!(corr %in% c('CPR', 'Page', 'LJ', 'EKDd', 'CLIMEDd', 'user', 'none'))){
4     warning('Wrong descriptor of correlation Fd-Ktd. Set CPR.')
5     corr <- 'CPR'
6   }
7   if(class(sol)[1] != 'Sol'){
8     sol <- sol[, calcSol(lat = unique(lat), BTi = Dates)]
9   }
10  if(class(G0d)[1] != 'Meteo'){
11    dt <- copy(data.table(G0d))
12    if(!('Dates' %in% names(dt))){

```

```

13     dt[, Dates := indexD(sol)]
14     setcolorder(dt, 'Dates')
15     setkey(dt, 'Dates')
16   }
17   if('lat' %in% names(dt)){
18     latg <- unique(dt$lat)
19     dt[, lat := NULL]
20   }else{latg <- getLat(sol)}
21   G0d <- dt2Meteo(dt, latg)
22 }
23
24 stopifnot(indexD(sol) == indexD(G0d))
25 Bo0d <- sol@solD$Bo0d
26 G0 <- getData(G0d)$G0
27
28 is.na(G0) <- (G0>Bo0d)
29
30 ### the Direct and Difuse data is not given
31 if(corr != 'none'){
32   Fd <- switch(corr,
33               CPR = FdKtCPR(sol, G0d),
34               Page = FdKtPage(sol, G0d),
35               LJ = FdKtLJ(sol, G0d),
36               CLIMEDd = FdKtCLIMEDd(sol, G0d),
37               user = f(sol, G0d))
38   Kt <- Fd$Kt
39   Fd <- Fd$Fd
40   D0d <- Fd * G0
41   B0d <- G0 - D0d
42 }
43 ### the Direct and Difuse data is given
44 else {
45   G0 <- getData(G0d)$G0
46   D0d <- getData(G0d)[['D0']]
47   B0d <- getData(G0d)[['B0']]
48   Fd <- D0d/G0
49   Kt <- G0/B0d
50 }
51
52 result <- data.table(Dates = indexD(sol), Fd, Kt, G0d = G0, D0d, B0d)
53 setkey(result, 'Dates')
54 result
55 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.19: *fCompD*

A.3.5. fCompI

```

1 fCompI <- function(sol, compD, GOI,
2                   corr = 'EKDh', f,
3                   filterGO = TRUE){
4   if(!(corr %in% c('EKDh', 'CLIMEDh', 'BRL', 'user', 'none'))){
5     warning('Wrong descriptor of correlation Fd-Ktd. Set EKDh.')
6     corr <- 'EKDh'
7   }
8
9   if(class(sol)[1] != 'Sol'){

```

```

10     sol <- sol[, calcSol(lat = unique(lat), BTi = Dates)]
11 }
12
13 lat <- sol@lat
14 sample <- sol@sample
15 night <- sol@solI$night
16 Bo0 <- sol@solI$Bo0
17 Dates <- indexI(sol)
18
19 ## If instantaneous values are not provided, compD is used instead.
20 if (missing(GOI)) {
21
22     GOI <- collper(sol, compD)
23     GO <- GOI$GO
24     BO <- GOI$BO
25     DO <- GOI$DO
26
27     Fd <- DO/GO
28     Kt <- GO/Bo0
29
30 } else { ## Use instantaneous values if provided through GOI
31
32     if(class(GOI)[1] != 'Meteo'){
33         dt <- copy(GOI)
34         if(!('Dates' %in% names(GOI))){
35             dt[, Dates := indexI(sol)]
36             setcolorder(dt, 'Dates')
37             setkey(dt, 'Dates')
38         }
39         if('lat' %in% names(GOI)){latg <- unique(GOI$lat)}
40         else{latg <- lat}
41         GOI <- dt2Meteo(dt, latg)
42     }
43
44     if (corr!='none'){
45         GO <- getGO(GOI)
46         ## Filter values: surface irradiation must be lower than
47         ## extraterrestrial;
48         if (filterGO) {is.na(GO) <- (GO > Bo0)}
49
50         ## Fd-Kt correlation
51         Fd <- switch(corr,
52                     EKDh = FdKtEKDh(sol, GOI),
53                     CLIMEDh = FdKtCLIMEDh(sol, GOI),
54                     BRL = FdKtBRL(sol, GOI),
55                     user = f(sol, GOI))
56
57         Kt <- Fd$Kt
58         Fd <- Fd$Fd
59         DO <- Fd * GO
60         BO <- GO - DO
61
62     } else {
63         GO <- getGO(GOI)
64         DO <- getData(GOI)[['DO']]
65         BO <- getData(GOI)[['BO']]
66         ## Filter values: surface irradiation must be lower than
67         ## extraterrestrial;

```



```

68         if (isTRUE(filterG0)) is.na(G0) <- is.na(D0) <- is.na(B0) <- (G0 > Bo0)
69
70         Fd <- D0/G0
71         Kt <- G0/Bo0
72     }
73 }
74 ## Values outside sunrise-sunset are set to zero
75 G0[night] <- D0[night] <- B0[night] <- Kt[night] <- Fd[night] <- 0
76
77 result <- data.table(Dates, Fd, Kt, G0, D0, B0)
78 setkey(result, 'Dates')
79 result
80 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.20: *fCompI*

A.3.6. *fInclin*

```

1 fInclin <- function(compI, angGen, iS = 2, alb = 0.2, horizBright = TRUE, HCPV = FALSE
2 ){
3     ##compI es class='G0'
4
5     ##Arguments
6     stopifnot(iS %in% 1:4)
7     Beta <- angGen$Beta
8     Alfa <- angGen$Alfa
9     cosTheta <- angGen$cosTheta
10
11     comp <- as.data.tableI(compI, complete=TRUE)
12     night <- comp$night
13     B0 <- comp$B0
14     Bo0 <- comp$Bo0
15     D0 <- comp$D0
16     G0 <- comp$G0
17     cosThzS <- comp$cosThzS
18     is.na(cosThzS) <- night
19
20     ##N.Martin method for dirt and non-perpendicular incidence
21     Suc <- rbind(c(1, 0.17, -0.069),
22                 c(0.98,.2,-0.054),
23                 c(0.97,0.21,-0.049),
24                 c(0.92,0.27,-0.023))
25     FTb <- (exp(-cosTheta/Suc[iS,2]) - exp(-1/Suc[iS,2]))/(1 - exp(-1/Suc[iS,2]))
26     FTd <- exp(-1/Suc[iS,2] * (4/(3*pi) * (sin(Beta) + (pi - Beta - sin(Beta))/(1 +
27         cos(Beta)))) +
28         Suc[iS,3] * (sin(Beta) + (pi - Beta - sin(Beta))/(1 +
29         cos(Beta)))^2))
30     FTTr <- exp(-1/Suc[iS,2] * (4/(3*pi) * (sin(Beta) + (Beta - sin(Beta))/(1 - cos(
31         Beta)))) +
32         Suc[iS,3] * (sin(Beta) + (Beta - sin(Beta))/(1 - cos(
33         Beta)))^2))
34
35     ##Hay and Davies method for diffuse treatment
36     B <- B0 * cosTheta/cosThzS * (cosThzS>0.007) #The factor cosThzS>0.007 is needed
37     to eliminate erroneous results near dawn
38     k1 <- B0/(Bo0)
39     Di <- D0 * (1-k1) * (1+cos(Beta))/2

```

```

34  if (horizBright) Di <- Di * (1+sqrt(B0/G0) * sin(Beta/2)^3)
35  Dc <- D0 * k1 * cosTheta/cosThzS * (cosThzS>0.007)
36  R <- alb * G0 * (1-cos(Beta))/2
37  D <- (Di + Dc)
38  ##Extraterrestrial irradiance on the inclined plane
39  Bo <- Bo0 * cosTheta/cosThzS * (cosThzS>0.007)
40  ##Normal direct irradiance (DNI)
41  Bn <- B0/cosThzS
42  ##Sum of components
43  G <- B + D + R
44  Ref <- R * Suc[iS,1] * (1-FTr) * (!HCPV)
45  Ref[is.nan(FTr)] <- 0 #When cos(Beta)=1, FTr=NaN. Cancel Ref.
46  Dief <- Di * Suc[iS,1] * (1 - FTd) * (!HCPV)
47  Dcef <- Dc * Suc[iS,1] * (1 - FTb) * (!HCPV)
48  Def <- Dief + Dcef
49  Bef <- B * Suc[iS,1] * (1 - FTb)
50  Gef <- Bef + Def + Ref
51
52  result <- data.table(Bo, Bn,
53                      G, D, Di, Dc, B, R,
54                      FTb, FTd, FTr,
55                      Dief, Dcef, Gef, Def, Bef, Ref)
56
57  ## Use 0 instead of NA for irradiance values
58  result[night] <- 0
59  result[, Dates := indexI(compI)]
60  result[, .SD, by = Dates]
61  setcolorder(result, c('Dates', names(result)[-length(result)]))
62  result
63 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.21: *fInclin*

A.3.7. fProd

```

1  ## voc, isc, vmpp, impp : *cell* values
2  ## Voc, Isc, Vmpp, Imp: *module/generator* values
3
4  ## Compute Current - Voltage characteristic of a solar *cell* with Gef
5  ## and Ta
6  iv <- function(vocn, iscn, vmn, imn,
7                TONC, CoefVT = 2.3e-3,
8                Ta, Gef,
9                vmin = NULL, vmax = NULL)
10 {
11   ##Cell Constants
12   Gstc <- 1000
13   Ct <- (TONC - 20) / 800
14   Vtn <- 0.025 * (273 + 25) / 300
15   m <- 1.3
16
17   ##Cell temperature
18   Tc <- Ta + Ct * Gef
19   Vt <- 0.025 * (Tc + 273)/300
20
21   ## Series resistance
22   Rs <- (vocn - vmn + m * Vtn * log(1 - imn/iscn)) / imn

```

```

23
24   ## Voc and Isc at ambient conditions
25   voc <- vocn - CoefVT * (Tc - 25)
26   isc <- iscn * Gef/Gstc
27
28   ## Ruiz method for computing voltage and current characteristic of a *cell*
29   rs <- Rs * isc/voc
30   koc <- voc/(m * Vt)
31
32   ## Maximum Power Point
33   Dm0 <- (koc - 1)/(koc - log(koc))
34   Dm <- Dm0 + 2 * rs * Dm0^2
35
36   impv <- isc * (1 - Dm/koc)
37   vmpp <- voc * (1 - log(koc/Dm)/koc - rs * (1 - Dm/koc))
38
39   vdc <- vmpp
40   idc <- impv
41
42   ## When the MPP is below/above the inverter voltage limits, it
43   ## sets the voltage point at the corresponding limit.
44
45
46   ## Auxiliary functions for computing the current at a defined
47   ## voltage.
48   ilimit <- function(v, koc, rs)
49   {
50     if (is.na(koc))
51       result <- NA
52     else
53     {
54       ## The IV characteristic is an implicit equation. The starting
55       ## point is the voltage of the cell (imposed by the inverter
56       ## limit).
57
58       izero <- function(i, v, koc, rs)
59       {
60         vp <- v + i * rs
61         Is <- 1/(1 - exp(-koc * (1 - rs)))
62         result <- i - (1 - Is * (exp(-koc * (1 - vp)) - exp(-koc * (1 - rs))))
63       }
64
65       result <- uniroot(f = izero,
66                        interval = c(0,1),
67                        v = v,
68                        koc = koc,
69                        rs = rs)$root
70     }
71     result
72   }
73   ## Inverter minimum voltage
74   if (!is.null(vmin))
75   {
76     if (any(vmpp < vmin, na.rm = TRUE))
77     {
78       indMIN <- which(vmpp < vmin)
79       imin <- sapply(indMIN, function(i)
80         {

```

```

81         vocMIN <- voc[i]
82         kocMIN <- koc[i]
83         rsMIN <- rs[i]
84         vmin <- vmin/vocMIN
85         ##v debe estar entre 0 y 1
86         vmin[vmin < 0] <- 0
87         vmin[vmin > 1] <- 1
88         ilimit(vmin, kocMIN, rsMIN)
89     })
90     iscMIN <- isc[indMIN]
91     idc[indMIN] <- imin * iscMIN
92     vdc[indMIN] <- vmin
93     warning('Minimum MPP voltage of the inverter has been reached')}
94 }
95
96 if (!is.null(vmax))
97 {
98     if (any(vmpp > vmax, na.rm = TRUE))
99     {
100         indMAX <- which(vmpp > vmax)
101         imax <- sapply(indMAX, function(i)
102         {
103             vocMAX <- voc[i]
104             kocMAX <- koc[i]
105             rsMAX <- rs[i]
106             vmax <- vmax / vocMAX
107             ##v debe estar entre 0 y 1
108             vmax[vmax < 0] <- 0
109             vmax[vmax > 1] <- 1
110             ilimit(vmax, kocMAX, rsMAX)
111         })
112         iscMAX <- isc[indMAX]
113         idc[indMAX] <- imax * iscMAX
114         vdc[indMAX] <- vmax
115         warning('Maximum MPP voltage of the inverter has been reached')
116     }
117 }
118 data.table(Ta, Tc, Gef, voc, isc, vmpp, impp, vdc, idc)
119 }
120
121 fProd <- function(inclin,
122                 module=list(),
123                 generator=list(),
124                 inverter=list(),
125                 effSys=list()
126                 )
127 {
128
129     stopifnot(is.list(module),
130             is.list(generator),
131             is.list(inverter),
132             is.list(effSys)
133             )
134     ## Extract data from objects
135     if (class(inclin)[1]=='Gef') {
136         indInclin <- indexI(inclin)
137         gefI <- as.data.tableI(inclin, complete = TRUE)
138         Gef <- gefI$Gef

```

```

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

```

```

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

```

```

254     return(result)
255   } else {
256     result <- cbind(inclin, resProd)
257     return(result)
258   }
259 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.22: *fProd*

A.3.8. fPump

```

1  fPump <- function(pump, H){
2
3     w1=3000 ##synchronous rpm frequency
4     wm=2870 ##rpm frequency with slip when applying voltage at 50 Hz
5     s=(w1-wm)/w1
6     fen=50 ##Nominal electrical frequency
7     fmin=sqrt(H/pump$a)
8     fmax=with(pump, (-b*Qmax+sqrt(b^2*Qmax^2-4*a*(c*Qmax^2-H)))/(2*a))
9     ##fb is rotation frequency (Hz) of the pump,
10    ##fe is the electrical frequency applied to the motor
11    ##which makes it rotate at a frequency fb (and therefore also the pump).
12    fb=seq(fmin,min(60,fmax),length=1000) #The maximum frequency is 60
13    fe=fb/(1-s)
14
15    ###Flow
16    Q=with(pump, (-b*fb-sqrt(b^2*fb^2-4*c*(a*fb^2-H)))/(2*c))
17    Qmin=0.1*pump$Qn*fb/50
18    Q=Q+(Qmin-Q)*(Q<Qmin)
19
20    ###Hydraulic power
21    Ph=2.725*Q*H
22
23    ###Mechanical power
24    Q50=50*Q/fb
25    H50=H*(50/fb)^2
26    etab=with(pump, j*Q50^2+k*Q50+1)
27    Pb50=2.725*H50*Q50/etab
28    Pb=Pb50*(fb/50)^3
29
30    ###Electrical power
31    Pbc=Pb*50/fe
32    etam=with(pump, g*(Pbc/Pmn)^2+h*(Pbc/Pmn)+i)
33    Pmc=Pbc/etam
34    Pm=Pmc*fe/50
35    Pac=Pm
36    ##Pdc=Pm/(etac*(1-cab))
37
38    ###I build functions for flow, frequency and powers
39    ###to adjust the AC power.
40    fQ<-splinefun(Pac,Q)
41    fFreq<-splinefun(Pac,fe)
42    fPb<-splinefun(Pac,Pb)
43    fPh<-splinefun(Pac,Ph)
44    lim=c(min(Pac),max(Pac))
45    ##lim marks the operating range of the pump
46    result<-list(lim = lim,

```

```

47         fQ = fQ,
48         fPb = fPb,
49         fPh = fPh,
50         fFreq = fFreq)
51     }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.23: *fPump***A.3.9. fSolD**

```

1  fSolD <- function(lat, BTd, method = 'michalsky'){
2      if (abs(lat) > 90){
3          lat <- sign(lat) * 90
4          warning(paste('Latitude outside acceptable values. Set to', lat))
5      }
6      sun <- data.table(Dates = unique(as.IDate(BTd)),
7                      lat = lat)
8
9      ##### solarAngles #####
10
11     ##Declination
12     sun[, decl := declination(Dates, method = method)]
13     ##Eccentricity
14     sun[, eo := eccentricity(Dates, method = method)]
15     ##Equation of time
16     sun[, EoT := eot(Dates)]
17     ##Solar time
18     sun[, ws := sunrise(Dates, lat, method = method,
19                       decl = decl)]
20     ##Extraterrestrial irradiance
21     sun[, Bo0d := bo0d(Dates, lat, method = method,
22                      decl = decl,
23                      eo = eo,
24                      ws = ws
25                      )]
26     setkey(sun, Dates)
27     return(sun)
28 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.24: *fSolD***A.3.10. fSolI**

```

1  fSolI <- function(sold, sample = 'hour', BTi,
2                  EoT = TRUE, keep.night = TRUE, method = 'michalsky')
3  {
4      #Solar constant
5      Bo <- 1367
6
7      if(missing(BTi)){
8          d <- sold$Dates
9          BTi <- fBTi(d, sample)
10     }
11     sun <- data.table(Dates = as.IDate(BTi),
12                     Times = as.ITime(BTi))
13     sun <- merge(sold, sun, by = 'Dates')

```



```

14  sun[, eqtime := EoT]
15  sun[, EoT := NULL]
16
17  #sun hour angle
18  sun[, w := sunHour(Dates, BTi, EoT = EoT, method = method, eqtime = eqtime)]
19
20  #classify night elements
21  sun[, night := abs(w) >= abs(ws)]
22
23  #zenith angle
24  sun[, cosThzS := zenith(Dates, lat, BTi,
25                          method = method,
26                          decl = decl,
27                          w = w
28                          )]
29
30  #solar altitude angle
31  sun[, AlS := asin(cosThzS)]
32
33  #azimuth
34  sun[, AzS := azimuth(Dates, lat, BTi, sample,
35                       method = method,
36                       decl = decl,
37                       w = w,
38                       cosThzS = cosThzS)]
39
40  #Extraterrestrial irradiance
41  sun[, Bo0 := Bo * eo * cosThzS]
42
43  #When it is night there is no irradiance
44  sun[night == TRUE, Bo0 := 0]
45
46  #Erase columns that are in sold
47  sun[, decl := NULL]
48  sun[, eo := NULL]
49  sun[, eqtime := NULL]
50  sun[, ws := NULL]
51  sun[, Bo0d := NULL]
52
53  #Column Dates with Times
54  sun[, Dates := as.POSIXct(Dates, Times, tz = 'UTC')]
55  sun[, Times := NULL]
56
57  #keep night
58  if(!keep.night){
59    sun <- sun[night == FALSE]
60  }
61
62  return(sun)
63 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.25: *fSoll*

A.3.11. fSombra

```

1  fSombra<-function(angGen, distances, struct, modeTrk='fixed',prom=TRUE){
2

```

```

3   stopifnot(modeTrk %in% c('two','horiz','fixed'))
4   res=switch(modeTrk,
5             two={fSombra6(angGen, distances, struct, prom)},
6             horiz={fSombraHoriz(angGen, distances, struct)},
7             fixed= {fSombraEst(angGen, distances, struct)}
8             )
9   return(res)
10 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.26: *fSombra*

```

1 fSombra2X<-function(angGen,distances,struct)
2 {
3   stopifnot(is.list(struct),is.data.frame(distances))
4   ##I prepare starting data
5   P=with(struct,distances/W)
6   b=with(struct,L/W)
7   AzS=angGen$AzS
8   Beta=angGen$Beta
9   AlS=angGen$AlS
10
11   d1=abs(P$Lew*cos(AzS)-P$Lns*sin(AzS))
12   d2=abs(P$Lew*sin(AzS)+P$Lns*cos(AzS))
13   FC=sin(AlS)/sin(Beta+AlS)
14   s=b*cos(Beta)+(b*sin(Beta)+P$H)/tan(AlS)
15   FS1=1-d1
16   FS2=s-d2
17   SombraCond=(FS1>0)*(FS2>0)*(P$Lew*Azs>=0)
18   SombraCond[is.na(SombraCond)]<-FALSE #NAs are of no use to me in a logical vector.
19   I replace them with FALSE
20   ## Result
21   FS=SombraCond*(FS1*FS2*FC)/b
22   FS[FS>1]<-1
23   return(FS)
24 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.27: *fSombra2X*

```

1 fSombra6<-function(angGen, distances, struct, prom=TRUE)
2 {
3   stopifnot(is.list(struct),
4             is.data.frame(distances))
5   ##distances only has three distances, so I generate a grid
6   if (dim(distances)[1]==1){
7     Red <- distances[, .(Lew = c(-Lew, 0, Lew, -Lew, Lew),
8                               Lns = c(Lns, Lns, Lns, 0, 0),
9                               H=H)]
10  } else { #distances is an array, so there is no need to generate the grid
11    Red<-distances[1:5,] #I only need the first 5 rows...necessary in case a
12    wrong data.frame is delivered
13
14    ## I calculate the shadow due to each of the 5 followers
15    SombraGrupo<-matrix(ncol=5,nrow=dim(angGen)[1]) ###VECTORIZE
16    for (i in 1:5) {SombraGrupo[,i]<-fSombra2X(angGen,Red[i,],struct)}
17    ##To calculate the Average Shadow, I need the number of followers in each position
18    (distrib)
19    distrib=with(struct,c(1,Ncol-2,1,Nrow-1,(Ncol-2)*(Nrow-1),Nrow-1))
20    vProm=c(sum(distrib[c(5,6)]),
21            sum(distrib[c(4,5,6)]),

```

```

20     sum(distrib[c(4,5)]),
21     sum(distrib[c(2,3,5,6)]),
22     sum(distrib[c(1,2,4,5)]))
23 Nseg=sum(distrib) ##Total number of followers
24 ##With the SWEEP function I multiply the Shadow Factor of each type (ShadowGroup
columns) by the vProm result
25
26 if (prom==TRUE){
27     ## Average Shadow Factor in the group of SIX followers taking into account
distribution
28     FS=rowSums(sweep(SombraGrupo,2,vProm,'*'))/Nseg
29     FS[FS>1]<-1
30 } else {
31     ## Shadow factor on follower #5 due to the other 5 followers
32     FS=rowSums(SombraGrupo)
33     FS[FS>1]<-1}
34 return(FS)
35 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.28: *fSombra6*

```

1 fSombraEst<-function(angGen, distances, struct)
2 {
3     stopifnot(is.list(struct),is.data.frame(distances))
4     ## I prepare starting data
5     dist <- with(struct, distances/L)
6     Alfa <- angGen$Alfa
7     Beta <- angGen$Beta
8     AlS <- angGen$AlS
9     AzS <- angGen$AzS
10    cosTheta <- angGen$cosTheta
11    h <- dist$H #It must be previously normalized
12    d <- dist$D
13    ## Calculations
14    s=cos(Beta)+cos(Alfa-AzS)*(sin(Beta)+h)/tan(AlS)
15    FC=sin(AlS)/sin(Beta+AlS)
16    SombraCond=(s-d>0)
17    FS=(s-d)*SombraCond*FC*(cosTheta>0)
18    ## Result
19    FS=FS*(FS>0)
20    FS[FS>1]<-1
21    return(FS)
22 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.29: *fSombraEst*

```

1 fSombraHoriz<-function(angGen, distances, struct)
2 {
3     stopifnot(is.list(struct),is.data.frame(distances))
4     ## I prepare starting data
5     d <- with(struct, distances/L)
6     AzS <- angGen$AzS
7     AlS <- angGen$AlS
8     Beta <- angGen$Beta
9     lew <- d$Lew #It must be previously normalized
10    ## Calculations
11    Beta0=atan(abs(sin(AzS)/tan(AlS)))
12    FS=1-lew*cos(Beta0)/cos(Beta-Beta0)
13    SombraCond=(FS>0)

```

```

14  ## Result
15  FS=FS*SombraCond
16  FS[FS>1]<-1
17  return(FS)
18  }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.30: *fSombraHoriz***A.3.12. fTemp**

```

1  fTemp<-function(sol, BD)
2  {
3      ##sol is an object with class='Sol'
4      ##BD is an object with class='Meteo', whose 'data' slot contains two columns
        called "TempMax" and "TempMin"
5
6      stopifnot(class(sol)=='Sol')
7      stopifnot(class(BD)=='Meteo')
8
9      checkIndexD(indexD(sol), indexD(BD))
10
11     Dates<-indexI(sol)
12     x <- as.Date(Dates)
13     ind.rep <- cumsum(c(1, diff(x) != 0))
14
15     TempMax <- BD@data$TempMax[ind.rep]
16     TempMin <- BD@data$TempMin[ind.rep]
17     ws <- sol@solD$ws[ind.rep]
18     w <- sol@solI$w
19
20     ##Generate temperature sequence from database Maxima and Minima
21
22     Tm=(TempMin+TempMax)/2
23     Tr=(TempMax-TempMin)/2
24
25     wp=pi/4
26
27     a1=pi*12*(ws-w)/(21*pi+12*ws)
28     a2=pi*(3*pi-12*w)/(3*pi-12*ws)
29     a3=pi*(24*pi+12*(ws-w))/(21*pi+12*ws)
30
31     T1=Tm-Tr*cos(a1)
32     T2=Tm+Tr*cos(a2)
33     T3=Tm-Tr*cos(a3)
34
35     Ta=T1*(w<=ws)+T2*(w>ws&w<=wp)+T3*(w>wp)
36
37     ##Result
38     result<-data.table(Dates, Ta)
39 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.31: *fTemp***A.3.13. fTheta**

```

1  fTheta<-function(sol, beta, alfa=0, modeTrk='fixed', betaLim=90,

```

```

2         BT=FALSE, struct, dist)
3     {
4         stopifnot(modeTrk %in% c('two','horiz','fixed'))
5         if (!missing(struct)) {stopifnot(is.list(struct))}
6         if (!missing(dist)) {stopifnot(is.data.frame(dist))}
7
8         betaLim=d2r(betaLim)
9         lat=getLat(sol, 'rad')
10        signLat=ifelse(sign(lat)==0, 1, sign(lat)) ##When lat=0, sign(lat)=0. I change it
        to sign(lat)=1
11
12        solI<-as.data.tableI(sol, complete=TRUE, day = TRUE)
13        AlS=solI$AlS
14        AzS=solI$AzS
15        decl=solI$decl
16        w<-solI$w
17
18        night<-solI$night
19
20        Beta<-switch(modeTrk,
21                    two = {Beta2x=pi/2-AlS
22                          Beta=Beta2x+(betaLim-Beta2x)*(Beta2x>betaLim)},
23                    fixed = rep(d2r(beta), length(w)),
24                    horiz={BetaHoriz0=atan(abs(sin(AzS)/tan(AlS)))
25                          if (BT){lew=dist$Lew/struct$L
26                                Longitud=lew*cos(BetaHoriz0)
27                                Cond=(Longitud>=1)
28                                Longitud[Cond]=1
29                                ## When Cond==TRUE Length=1
30                                ## and therefore asin(Length)=pi/2,
31                                ## so that BetaHoriz=BetaHoriz0
32                                BetaHoriz=BetaHoriz0+asin(Longitud)-pi/2
33                          } else {
34                                BetaHoriz=BetaHoriz0
35                                rm(BetaHoriz0)}
36                          Beta=ifelse(BetaHoriz>betaLim,betaLim,BetaHoriz)}
37                    )
38        is.na(Beta) <- night
39
40        Alfa<-switch(modeTrk,
41                    two = AzS,
42                    fixed = rep(d2r(alfa), length(w)),
43                    horiz=pi/2*sign(AzS))
44        is.na(Alfa) <- night
45
46        cosTheta<-switch(modeTrk,
47                        two=cos(Beta-(pi/2-AlS)),
48                        horiz={
49                            t1=sin(decl)*sin(lat)*cos(Beta)
50                            t2=cos(decl)*cos(w)*cos(lat)*cos(Beta)
51                            t3=cos(decl)*abs(sin(w))*sin(Beta)
52                            cosTheta=t1+t2+t3
53                            rm(t1,t2,t3)
54                            cosTheta
55                        },
56                        fixed={
57                            t1=sin(decl)*sin(lat)*cos(Beta)
58                            t2=-signLat*sin(decl)*cos(lat)*sin(Beta)*cos(Alfa)

```

```

59         t3=cos(decl)*cos(w)*cos(lat)*cos(Beta)
60         t4=signLat*cos(decl)*cos(w)*sin(lat)*sin(Beta)*cos(Alfa)
61         t5=cos(decl)*sin(w)*sin(Alfa)*sin(Beta)
62         cosTheta=t1+t2+t3+t4+t5
63         rm(t1,t2,t3,t4,t5)
64         cosTheta
65     }
66 )
67 is.na(cosTheta) <- night
68 cosTheta=cosTheta*(cosTheta>0) #when cosTheta<0, Theta is greater than 90°, and
69 therefore the Sun is behind the panel.
70 result <- data.table(Dates = indexI(sol),
71                     Beta, Alfa, cosTheta)
72 return(result)
73 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.32: f_{Theta}

A.3.14. HQCurve

```

1  ## HQCurve: no visible binding for global variable 'fb'
2  ## HQCurve: no visible binding for global variable 'Q'
3  ## HQCurve: no visible binding for global variable 'x'
4  ## HQCurve: no visible binding for global variable 'y'
5  ## HQCurve: no visible binding for global variable 'group.value'
6
7  if(getRversion() >= "2.15.1") globalVariables(c('fb', 'Q', 'x', 'y', 'group.value'))
8
9  HQCurve<-function(pump){
10     w1=3000 #synchronous rpm frequency
11     wm=2870 #rpm frequency with slip when applying voltage at 50 Hz
12     s=(w1-wm)/w1
13     fen=50 #Nominal electrical frequency
14
15     f=seq(35,50,by=5)
16     Hn=with(pump,a*50^2+b*50*Qn+c*Qn^2) #height corresponding to flow rate and nominal
17     frequency
18     kiso=Hn/pump$Qn^2 #To paint the isoyield curve I take into account the laws of
19     similarity
20     Qiso=with(pump,seq(0.1*Qn,Qmax,l=10))
21     Hiso=kiso*Qiso^2 #Isoperformance curve
22
23     Curva<-expand.grid(fb=f,Q=Qiso)
24
25     Curva<-within(Curva,{
26         fe=fb/(1-s)
27         H=with(pump,a*fb^2+b*fb*Q+c*Q^2)
28
29         is.na(H) <- (H<0)
30         Q50=50*Q/fe
31         H50=H*(50/fe)^2
32         etab=with(pump,j*Q50^2+k*Q50+1)
33         Pb50=2.725*H50*Q50/etab
34         Pb=Pb50*(fb/50)^3

```

```

35   Pbc=Pb*50/fe
36   etam=with(pump,g*(Pbc/Pmn)^2+h*(Pbc/Pmn)+i)
37   Pmc=Pbc/etam
38   Pm=Pmc*fe/50
39
40   etac=0.95 #Variable frequency drive performance
41   cab=0.05  #Cable losses
42   Pdc=Pm/(etac*(1-cab))
43   rm(etac,cab,Pmc,Pbc,Pb50,Q50,H50)
44 })
45
46 ###H-Q curve at different frequencies
47 ##I check if I have the lattice package available, which should have been loaded in
48   .First.lib
49 lattice.disp<-"lattice" %in% .packages()
50 latticeExtra.disp<-"latticeExtra" %in% .packages()
51 if (lattice.disp && latticeExtra.disp) {
52   p<-xyplot(H~Q,groups=factor(fb),data=Curva, type='l',
53     par.settings=custom.theme.2(),
54     panel=function(x,y,groups,...){
55       panel.superpose(x,y,groups,...)
56       panel.xyplot(Qiso,Hiso,col='black',...)
57       panel.text(Qiso[1], Hiso[1], 'ISO', pos=3)}
58   )
59   p=p+glayer(panel.text(x[1], y[1], group.value, pos=3))
60   print(p)
61   result<-list(result=Curva, plot=p)
62 } else {
63   warning('lattice and/or latticeExtra packages are not available. Thus, the plot
64   could not be created')
65   result<-Curva}
66 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.33: *HQCurve*

A.3.15. local2Solar

```

1 local2Solar <- function(x, lon=NULL){
2   tz=attr(x, 'tzone')
3   if (tz==' ' || is.null(tz)) {tz='UTC'}
4   ##Daylight savings time
5   AO=3600*dst(x)
6   AOneg=(AO<0)
7   if (any(AOneg)) {
8     AO[AOneg]=0
9     warning('Some Daylight Savings Time unknown. Set to zero.')
10  }
11  ##Difference between local longitude and time zone longitude LH
12  LH=lonHH(tz)
13  if (is.null(lon))
14    {deltaL=0
15    } else
16    {deltaL=d2r(lon)-LH
17  }
18  ##Local time corrected to UTC
19  tt <- format(x, tz=tz)
20  result <- as.POSIXct(tt, tz='UTC')-AO+r2sec(deltaL)

```

```

21   result
22 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.34: *local2Solar*

A.3.16. markovG0

```

1  ## Objects loaded at startup from data/MTM.RData
2  if(getRversion() >= "2.15.1") globalVariables(c(
3      'MTM', ## Markov Transition Matrices
4      'Ktmtm', ## Kt limits to choose a matrix from MTM
5      'Ktlim' ## Daily kt range of each matrix.
6  ))
7
8  markovG0 <- function(G0dm, solD){
9      solD <- copy(solD)
10     timeIndex <- solD$Dates
11     Bo0d <- solD$Bo0d
12     Bo0dm <- solD[, mean(Bo0d), by = .(month(Dates), year(Dates))][[3]]
13     ktm <- G0dm/Bo0dm
14
15     ##Calculates which matrix to work with for each month
16     whichMatrix <- findInterval(ktm, Ktmtm, all.inside = TRUE)
17
18     ktd <- state <- numeric(length(timeIndex))
19     state[1] <- 1
20     ktd[1] <- ktm[state[1]]
21     for (i in 2:length(timeIndex)){
22         iMonth <- month(timeIndex[i])
23         colMonth <- whichMatrix[iMonth]
24         rng <- Ktlim[, colMonth]
25         classes <- seq(rng[1], rng[2], length=11)
26         matMonth <- MTM[(10*colMonth-9):(10*colMonth),]
27         ## http://www-rohan.sdsu.edu/~babailey/stat575/mcsim.r
28         state[i] <- sample(1:10, size=1, prob=matMonth[state[i-1],])
29         ktd[i] <- runif(1, min=classes[state[i]], max=classes[state[i]+1])
30     }
31     G0dmMarkov <- data.table(ktd, Bo0d)
32     G0dmMarkov <- G0dmMarkov[, mean(ktd*Bo0d), by = .(month(timeIndex), year(timeIndex))][[3]]
33     fix <- G0dm/G0dmMarkov
34     indRep <- month(timeIndex)
35     fix <- fix[indRep]
36     G0d <- data.table(Dates = timeIndex, G0d = ktd * Bo0d * fix)
37     G0d
38 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.35: *markovG0*

A.3.17. NmgPVPS

```

1  ## NmgPVPS: no visible binding for global variable 'Pnom'
2  ## NmgPVPS: no visible binding for global variable 'group.value'
3
4  if(getRversion() >= "2.15.1") globalVariables(c('Pnom', 'group.value'))
5

```



```

6 NmgPVPS <- function(pump, Pg, H, Gd, Ta=30,
7                     lambda=0.0045, TONC=47,
8                     eta=0.95, Gmax=1200, t0=6, Nm=6,
9                     title='', theme=custom.theme.2()){
10
11   ##I build the type day by IEC procedure
12   t=seq(-t0,t0,l=2*t0*Nm);
13   d=Gd/(Gmax*2*t0)
14   s=(d*pi/2-1)/(1-pi/4)
15   G=Gmax*cos(t/t0*pi/2)*(1+s*(1-cos(t/t0*pi/2)))
16   G[G<0]<-0
17   G=G/(sum(G,na.rm=1)/Nm)*Gd
18   Red<-expand.grid(G=G,Pnom=Pg,H=H,Ta=Ta)
19   Red<-within(Red,{Tcm<-Ta+G*(TONC-20)/800
20                   Pdc=Pnom*G/1000*(1-lambda*(Tcm-25)) #Available DC power
21                   Pac=Pdc*eta}) #Inverter yield
22
23   res=data.table(Red,Q=0)
24
25   for (i in seq_along(H)){
26     fun=fPump(pump, H[i])
27     Cond=res$H==H[i]
28     x=res$Pac[Cond]
29     z=res$Pdc[Cond]
30     rango=with(fun,x>=lim[1] & x<=lim[2]) #I limit the power to the operating
31     range of the pump.
32     x[!rango]<-0
33     z[!rango]<-0
34     y=res$Q[Cond]
35     y[rango]<-fun$fQ(x[rango])
36     res$Q[Cond]=y
37     res$Pac[Cond]=x
38     res$Pdc[Cond]=z
39   }
40
41   resumen <- res[, lapply(.SD, function(x)sum(x, na.rm = 1)/Nm),
42                   by = .(Pnom, H)]
43   param=list(pump=pump, Pg=Pg, H=H, Gd=Gd, Ta=Ta,
44             lambda=lambda, TONC=TONC, eta=eta,
45             Gmax=Gmax, t0=t0, Nm=Nm)
46
47   ###Abacus with common X-axes
48
49   ##I check if I have the lattice package available, which should have been loaded
50   in .First.lib
51   lattice.disp<-"lattice" %in% .packages()
52   latticeExtra.disp<-"latticeExtra" %in% .packages()
53   if (lattice.disp && latticeExtra.disp){
54     tema<-theme
55     tema1 <- modifyList(tema, list(layout.width = list(panel=1,
56                                                         ylab = 2, axis.left=1.0,
57                                                         left.padding=1, ylab.axis.padding=1,
58                                                         axis.panel=1)))
59     tema2 <- modifyList(tema, list(layout.width = list(panel=1,
60                                                         ylab = 2, axis.left=1.0, left.padding=1,
61                                                         ylab.axis.padding=1, axis.panel=1)))
62     temaT <- modifyList(tema, list(layout.heights = list(panel = c(1, 1))))

```

```

62     p1 <- xyplot(Q~Pdc, groups=H, data=resumen,
63                 ylab="Qd (m\u00b3/d)", type=c('l', 'g'),
64                 par.settings = tema1)
65
66     p1lab<-p1+glayer(panel.text(x[1], y[1], group.value, pos=2, cex=0.7))
67
68     ##I paint the linear regression because Pnom~Pdc depends on the height.
69     p2 <- xyplot(Pnom~Pdc, groups=H, data=resumen,
70                 ylab="Pg", type=c('l', 'g'), #type=c('smooth', 'g'),
71                 par.settings = tema2)
72     p2lab<-p2+glayer(panel.text(x[1], y[1], group.value, pos=2, cex=0.7))
73
74     p<-update(c(p1lab, p2lab, x.same = TRUE),
75              main=paste(title, '\nSP', pump$Qn, 'A', pump$stages, ' ',
76                          'Gd ', Gd/1000, " kWh/m\u00b2", sep=''),
77              layout = c(1, 2),
78              scales=list(x=list(draw=FALSE)),
79              xlab='',
80              ylab = list(c("Qd (m\u00b3/d)", "Pg (Wp)"), y = c(1/4, 3/4)),
81              par.settings = temaT
82              )
83     print(p)
84     result<-list(I=res, D=resumen, plot=p, param=param)
85 } else {
86     warning('lattice, latticeExtra packages are not all available. Thus, the plot
87     could not be created')
88     result<-list(I=res, D=resumen, param=param)
89 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.36: *NmgPVPS*

A.3.18. solarAngles

```

1  ##### Declination #####
2  declination <- function(d, method = 'michalsky')
3  {
4      ##Method check
5      if(!(method %in% c("michalsky", "cooper", "strous", "spencer"))){
6          warning("'method' must be: michalsky, cooper, strous or spencer. Set michalsky
7          ")
8          method = 'michalsky'
9      }
10
11     ## x is an IDate
12     d <- as.IDate(d)
13     ## Day of year
14     dn <- yday(d)
15     ## Days from 2000-01-01
16     origin <- as.IDate('2000-01-01')
17     jd <- as.numeric(d - origin)
18     X <- 2 * pi * (dn - 1) / 365
19
20     switch(method,
21            michalsky = {
22                meanLong <- (280.460 + 0.9856474 * jd)%%360
23                meanAnomaly <- (357.528 + 0.9856003 * jd)%%360

```

```

23     eclipLong <- (meanLong + 1.915 * sin(d2r(meanAnomaly)) +
24                 0.02 * sin(d2r(2 * meanAnomaly))) %% 360
25     excen <- 23.439 - 0.0000004 * jd
26     sinEclip <- sin(d2r(eclipLong))
27     sinExcen <- sin(d2r(excen))
28     asin(sinEclip * sinExcen)
29   },
30   cooper = {
31     ##P.I. Cooper. "The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills".
Solar Energy 12 (1969).
32     d2r(23.45) * sin(2 * pi * (dn + 284) / 365)
33   },
34   strous = {
35     meanAnomaly <- (357.5291 + 0.98560028 * jd) %% 360
36     coefC <- c(1.9148, 0.02, 0.0003)
37     sinC <- sin(outer(1:3, d2r(meanAnomaly), '*'))
38     C <- colSums(coefC * sinC)
39     trueAnomaly <- (meanAnomaly + C) %% 360
40     eclipLong <- (trueAnomaly + 282.9372) %% 360
41     excen <- 23.435
42     sinEclip <- sin(d2r(eclipLong))
43     sinExcen <- sin(d2r(excen))
44     asin(sinEclip * sinExcen)
45   },
46   spencer = {
47     ## J.W. Spencer. "Fourier Series Representation of the Position of the
Sun". 2 (1971).
48     ##URL: http://www.mail-archive.com/sundial@uni-koeln.de/msg01050.html.
49     0.006918 - 0.399912 * cos(X) + 0.070257 * sin(X) -
50     0.006758 * cos(2 * X) + 0.000907 * sin(2 * X) -
51     0.002697 * cos(3 * X) + 0.001480 * sin(3 * X)
52   })
53 }
54
55
56 ##### Eccentricity #####
57 eccentricity <- function(d, method = 'michalsky')
58 {
59   ##Method check
60   if(!(method %in% c("michalsky", "cooper", "strous", "spencer"))){
61     warning("'method' must be: michalsky, cooper, strous or spencer. Set michalsky
")
62     method = 'michalsky'
63   }
64
65   ##x is an IDate
66   d <- as.IDate(d)
67   ##Day of year
68   dn <- yday(d)
69   X <- 2 * pi * (dn-1)/365
70
71   switch(method,
72     cooper = 1 + 0.033*cos(2*pi*dn/365),
73     spencer = ,
74     michalsky = ,
75     strous = 1.000110 + 0.034221*cos(X) +
76             0.001280*sin(X) + 0.000719*cos(2*X) +
77             0.000077*sin(2*X)

```

```

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

```

```

134 Bo <- 1367
135 latr <- d2r(lat)
136 #The negative sign due to the definition of ws
137 Bo0d <- -24/pi * Bo * eo * (ws * sin(latr) * sin(decl) +
138                             cos(latr) * cos(decl) * sin(ws))
139 return(Bo0d)
140 }
141
142
143 ##### Sun hour angle #####
144 sunHour <- function(d, BTi, sample = '1 hour', EoT = TRUE, method = 'michalsky',
145                     eqtime = eot(d))
146 {
147     ##Method check
148     if(!(method %in% c("michalsky", "cooper", "strous", "spencer"))){
149         warning("'method' must be: michalsky, cooper, strous or spencer. Set michalsky
150         ")
151         method = 'michalsky'
152     }
153
154     if(missing(BTi)){
155         BTi <- fBTi(d = d, sample = sample)
156     }else {
157         if (inherits(BTi, 'data.table')) {
158             Times <- as.ITime(BTi$Times)
159             Dates <- as.IDate(BTi$Dates)
160             BTi <- as.POSIXct(Dates, Times, tz = 'UTC')
161         }
162         else {
163             BTi <- as.POSIXct(BTi, tz = 'UTC')
164         }
165     }
166     rep <- cumsum(c(1, diff(as.Date(BTi)) != 0))
167     if(EoT)
168     {
169         EoT <- eqtime
170         if(length(EoT) != length(BTi)){EoT <- EoT[rep]}
171     }else{EoT <- 0}
172
173     jd <- as.numeric(julian(BTi, origin = '2000-01-01 12:00:00 UTC'))
174     TO <- hms(BTi)
175
176     w=switch(method,
177             cooper = h2r(TO-12)+EoT,
178             spencer = h2r(TO-12)+EoT,
179             michalsky = {
180                 meanLong <- (280.460+0.9856474*jd)%%360
181                 meanAnomaly <- (357.528+0.9856003*jd)%%360
182                 eclipLong <- (meanLong +1.915*sin(d2r(meanAnomaly))+0.02*sin(d2r(2*
183                 meanAnomaly)))%%360
184                 excen <- 23.439-0.0000004*jd
185
186                 sinEclip <- sin(d2r(eclipLong))
187                 cosEclip <- cos(d2r(eclipLong))
188                 cosExcen <- cos(d2r(excen))
189
190                 ascension <- r2d(atan2(sinEclip*cosExcen, cosEclip))%%360

```

```

190     ##local mean sidereal time, LMST
191     ##T0 has been previously corrected with local2Solar in order
192     ##to include the longitude, daylight savings, etc.
193     lmst <- (h2d(6.697375 + 0.0657098242*jd + T0))%%360
194     w <- (lmst-ascension)
195     w <- d2r(w + 360*(w < -180) - 360*(w > 180))
196   },
197   strous = {
198     meanAnomaly <- (357.5291 + 0.98560028*jd)%%360
199     coefC <- c(1.9148, 0.02, 0.0003)
200     sinC <- sin(outer(1:3, d2r(meanAnomaly), '*'))
201     C <- colSums(coefC*sinC)
202     trueAnomaly <- (meanAnomaly + C)%%360
203     eclipLong <- (trueAnomaly + 282.9372)%%360
204     excen <- 23.435
205
206     sinEclip <- sin(d2r(eclipLong))
207     cosEclip <- cos(d2r(eclipLong))
208     cosExcen <- cos(d2r(excen))
209
210     ascension <- r2d(atan2(sinEclip*cosExcen, cosEclip))%%360
211
212     ##local mean sidereal time, LMST
213     ##T0 has been previously corrected with local2Solar in order
214     ##to include the longitude, daylight savings, etc.
215     lmst <- (280.1600+360.9856235*jd)%%360
216     w <- (lmst-ascension)
217     w <- d2r(w + 360*(w< -180) - 360*(w>180))
218   }
219 )
220 return(w)
221 }
222
223 ##### zenith angle #####
224 zenith <- function(d, lat, BTi, sample = '1 hour', method = 'michalsky',
225                   decl = declination(d, method),
226                   w = sunHour(d, BTi, sample, method = method))
227 {
228   ##Method check
229   if(!(method %in% c("michalsky", "cooper", "strous", "spencer"))){
230     warning("'method' must be: michalsky, cooper, strous or spencer. Set michalsky")
231     method = 'michalsky'
232   }
233
234   if(missing(BTi)){BTi <- fBTi(d, sample)}
235   x <- as.Date(BTi)
236   rep <- cumsum(c(1, diff(x) != 0))
237   latr <- d2r(lat)
238   if(length(decl) == length(BTi)){decl <- decl}
239   else{decl <- decl[rep]}
240   zenith <- sin(decl) * sin(latr) +
241     cos(decl) * cos(w) * cos(latr)
242   zenith <- ifelse(zenith > 1, 1, zenith)
243   return(zenith)
244 }
245
246 ##### azimuth #####

```

```

247 azimuth <- function(d, lat, BTi, sample = '1 hour', method = 'michalsky',
248                     decl = declination(d, method),
249                     w = sunHour(d, BTi, sample, method = method),
250                     cosThzS = zenith(d, lat, BTi, sample, method, decl, w))
251 {
252   ##Method check
253   if(!(method %in% c("michalsky", "cooper", "strous", "spencer"))){
254     warning("'method' must be: michalsky, cooper, strous or spencer. Set michalsky
255     ")
256     method = 'michalsky'
257   }
258   signLat <- ifelse(sign(lat) == 0, 1, sign(lat)) #if the sign of lat is 0, it
259   changes it to 1
260   if(missing(BTi)){BTi <- fBTi(d, sample)}
261   x <- as.Date(BTi)
262   rep <- cumsum(c(1, diff(x) != 0))
263   latr <- d2r(lat)
264   if(length(decl) != length(BTi)){decl <- decl[rep]}
265   ALS <- asin(cosThzS)
266   cosazimuth <- signLat * (cos(decl) * cos(w) * sin(latr) -
267                           cos(latr) * sin(decl)) / cos(ALS)
268   cosazimuth <- ifelse(abs(cosazimuth)>1, sign(cosazimuth), cosazimuth)
269   azimuth <- sign(w)*acos(cosazimuth)
270   return(azimuth)
271 }

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.37: *solarAngles*

A.3.19. utils-angles

```

1 #degrees to radians
2 d2r<-function(x){x*pi/180}
3
4 #radians to degrees
5 r2d<-function(x){x*180/pi}
6
7 #hours to radians
8 h2r<-function(x){x*pi/12}
9
10 #hours to degrees
11 h2d<-function(x){x*180/12}
12
13 #radians to hours
14 r2h<-function(x){x*12/pi}
15
16 #degrees to hours
17 d2h<-function(x){x*12/180}
18
19 #radians to seconds
20 r2sec<-function(x){x*12/pi*3600}
21
22 #radians to minutes
23 r2min<-function(x){x*12/pi*60}

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.38: *utils-angles*

A.3.20. utils-time

```
1 #complete time to hours
2 t2h <- function(x)
3 {
4   hour(x)+minute(x)/60+second(x)/3600
5 }
6
7 #hours minutes and seconds to hours
8 hms <- function(x)
9 {
10   hour(x)+minute(x)/60+second(x)/3600
11 }
12
13 #day of the year
14 doy <- function(x){
15   as.numeric(format(x, '%j'))
16 }
17
18 #day of the month
19 dom <- function(x){
20   as.numeric(format(x, '%d'))
21 }
22
23 #trunc days
24 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

A.4.2. as.data.tableD

```
1 setGeneric('as.data.tableD', function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
2   standardGeneric('as.data.tableD')})
3
4 setMethod('as.data.tableD',
5   signature=(object='Sol'),
6   definition=function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
7     sol <- copy(object)
8     sold <- sol@sold
9     data <- sold
10    if(day){
11      ind <- indexD(object)
12      data[, day := doy(ind)]
13      data[, month := month(ind)]
14      data[, year := year(ind)]
15    }
16    return(data)
17  })
18
19 setMethod('as.data.tableD',
20   signature = (object='GO'),
21   definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
```



```

22     g0 <- copy(object)
23     GOD <- g0@GOD
24     sold <- g0@sold
25     if(complete){
26         data <- data.table(GOD, sold[, Dates := NULL])
27     } else {
28         GOD[, Fd := NULL]
29         GOD[, Kt := NULL]
30         data <- GOD
31     }
32     if(day){
33         ind <- indexD(object)
34         data[, day := doy(ind)]
35         data[, month := month(ind)]
36         data[, year := year(ind)]
37     }
38     return(data)
39 })
40
41 setMethod('as.data.tableD',
42     signature = (object='Gef'),
43     definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
44         gef <- copy(object)
45         GefD <- gef@GefD
46         GOD <- gef@GOD
47         sold <- gef@sold
48         if(complete){
49             data <- data.table(GefD,
50                                 GOD[, Dates := NULL],
51                                 sold[, Dates := NULL])
52         } else {data <- GefD[, c('Dates', 'Gefd',
53                                 'Defd', 'Befd')]}
54         if(day){
55             ind <- indexD(object)
56             data[, day := doy(ind)]
57             data[, month := month(ind)]
58             data[, year := year(ind)]
59         }
60         return(data)
61     }
62 )
63
64 setMethod('as.data.tableD',
65     signature = (object='ProdGCPV'),
66     definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
67         prodgcpv <- copy(object)
68         prodD <- prodgcpv@prodD
69         GefD <- prodgcpv@GefD
70         GOD <- prodgcpv@GOD
71         sold <- prodgcpv@sold
72         if(complete){
73             data <- data.table(prodD,
74                                 GefD[, Dates := NULL],
75                                 GOD[, Dates := NULL],
76                                 sold[, Dates := NULL])
77         } else { data <- prodD[, c('Dates', 'Eac',
78                                 'Edc', 'Yf')]}
79     }

```

```

80         if(day){
81             ind <- indexD(object)
82             data[, day := doy(ind)]
83             data[, month := month(ind)]
84             data[, year := year(ind)]
85         }
86         return(data)
87     }
88 )
89
90 setMethod('as.data.tableD',
91     signature = (object='ProdPVPS'),
92     definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
93         prodpvps <- copy(object)
94         prodD <- prodpvps@prodD
95         GefD <- prodpvps@GefD
96         GOD <- prodpvps@GOD
97         sold <- prodpvps@sold
98         if(complete){
99             data <- data.table(prodD,
100                 GefD[, Dates := NULL],
101                 GOD[, Dates := NULL],
102                 sold[, Dates := NULL]
103             )
104         } else { data <- prodD[, c('Dates', 'Eac',
105             'Qd', 'Yf')]}
106         if(day){
107             ind <- indexD(object)
108             data[, day := doy(ind)]
109             data[, month := month(ind)]
110             data[, year := year(ind)]
111         }
112         return(data)
113     }
114 )

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.40: *as.data.tableD*

A.4.3. as.data.tableM

```

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

```

```

17
18 setMethod('as.data.tableM',
19   signature=(object='Gef'),
20   definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
21     gef <- copy(object)
22     Gefdm <- gef@Gefdm
23     G0dm <- gef@G0dm
24     if(complete){
25       data <- data.table(Gefdm, G0dm[, Dates := NULL])
26     } else {data <- Gefdm}
27     if(day){
28       ind <- indexD(object)
29       data[, month := month(ind)]
30       data[, year := year(ind)]
31     }
32     return(data)
33   }
34 )
35
36 setMethod('as.data.tableM',
37   signature = (object='ProdGCPV'),
38   definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
39     prodgcpv <- copy(object)
40     prodDm <- prodgcpv@prodDm
41     Gefdm <- prodgcpv@Gefdm
42     G0dm <- prodgcpv@G0dm
43     if(complete){
44       data <- data.table(prodDm,
45                           Gefdm[, Dates := NULL],
46                           G0dm[, Dates := NULL])
47     } else {data <- prodDm}
48     if(day){
49       ind <- indexD(object)
50       data[, month := month(ind)]
51       data[, year := year(ind)]
52     }
53     return(data)
54   }
55 )
56
57 setMethod('as.data.tableM',
58   signature = (object='ProdPVPS'),
59   definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
60     prodpvps <- copy(object)
61     prodDm <- prodpvps@prodDm
62     Gefdm <- prodpvps@Gefdm
63     G0dm <- prodpvps@G0dm
64     if(complete){
65       data <- data.table(prodDm,
66                           Gefdm[, Dates := NULL],
67                           G0dm[, Dates := NULL])
68     } else {data <- prodDm}
69     if(day){
70       ind <- indexD(object)
71       data[, month := month(ind)]
72       data[, year := year(ind)]
73     }
74     return(data)

```

```

75     }
76   )

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.41: *as.data.tableM*A.4.4. *as.data.tableY*

```

1  setGeneric('as.data.tableY', function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
2    standardGeneric('as.data.tableY')})
3
4  setMethod('as.data.tableY',
5    signature=(object='G0'),
6    definition=function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
7      g0 <- copy(object)
8      G0y <- g0@G0y
9      data <- G0y
10     if(day){data[, year := Dates]}
11     return(data)
12   }
13 )
14
15 setMethod('as.data.tableY',
16   signature = (object='Gefy'),
17   definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
18     gef <- copy(object)
19     Gefy <- gef@Gefy
20     G0y <- gef@G0y
21     if(complete){
22       data <- data.table(Gefy, G0y[, Dates := NULL])
23     } else {data <- Gefy}
24     if(day){data[, year := Dates]}
25     return(data)
26   }
27 )
28
29 setMethod('as.data.tableY',
30   signature = (object='ProdGCPV'),
31   definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
32     prodgcpv <- copy(object)
33     prody <- prodgcpv@prody
34     Gefy <- prodgcpv@Gefy
35     G0y <- prodgcpv@G0y
36     if(complete){
37       data <- data.table(prody,
38         Gefy[, Dates := NULL],
39         G0y[, Dates := NULL])
40     } else {data <- prody}
41     if(day){data[, year := Dates]}
42     return(data)
43   }
44 )
45
46 setMethod('as.data.tableY',
47   signature = (object='ProdPVPS'),
48   definition = function(object, complete=FALSE, day=FALSE){
49     prodpvps <- copy(object)
50     prody <- prodpvps@prody

```

```

50     Gefy <- prodpvps@Gefy
51     G0y <- prodpvps@G0y
52     if(complete){
53         data <- data.table(prody,
54                             Gefy[, Dates := NULL],
55                             G0y[, Dates := NULL])
56     } else {data <- prody}
57     if(day){data[, year := Dates]}
58     return(data)
59 }
60 )

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.42: *as.data.tableY*

A.4.5. compare

```

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

```

```

42
43 setMethod('compare',
44           signature='Gef',
45           definition=function(...){
46             vars <- c('Defd', 'Befd', 'Gefd')
47             res <- compareFunction(..., vars=vars)
48             return(res)
49           }
50         )
51
52 setMethod('compare',
53           signature='ProdGCPV',
54           definition=function(...){
55             vars <- c('G0d', 'Gefd', 'Yf')
56             res <- compareFunction(..., vars=vars)
57             return(res)
58           }
59         )

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.43: *compare*

A.4.6. `getData`

```

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

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.44: *getData*

A.4.7. `getG0`

```

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

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.45: *getG0*

A.4.8. `getLat`

```

1  ## extracts the latitude from the objects ##
2  setGeneric('getLat', function(object, units = 'rad')

```

```

3 {standardGeneric('getLat'))}
4
5 ## extracts the latitude from the objects ##
6 setGeneric('getLat', function(object, units = 'rad')
7 {standardGeneric('getLat'))}
8
9 setMethod('getLat',
10          signature = (object = 'Meteo'),
11          definition = function(object, units = 'rad'){
12              stopifnot(units %in% c('deg', 'rad'))
13              result = switch(units,
14                             rad = d2r(object@latm),
15                             deg = object@latm)
16              return(result)
17          })

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.46: *getLat*

A.4.9. indexD

```

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

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.47: *indexD*

A.4.10. indexI

```

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

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.48: *indexI*

A.4.11. levelplot

```

1 setGeneric('levelplot')
2
3 setMethod('levelplot',
4          signature=c(x='formula', data='Meteo'),
5          definition=function(x, data,
6                             par.settings = solaR.theme,
7                             panel = panel.levelplot.raster, interpolate = TRUE,

```

```

8             xscale.components = xscale.solar,
9             yscale.components = yscale.solar,
10            ...){
11    data0=getData(data)
12    ind=data0$Dates
13    data0$day=doy(ind)
14    data0$month=month(ind)
15    data0$year=year(ind)
16    data0$w=h2r(hms(ind)-12)
17    levelplot(x, data0,
18              par.settings = par.settings,
19              xscale.components = xscale.components,
20              yscale.components = yscale.components,
21              panel = panel, interpolate = interpolate,
22              ...)
23    }
24  )
25
26  setMethod('levelplot',
27    signature=c(x='formula', data='Sol'),
28    definition=function(x, data,
29                      par.settings = solaR.theme,
30                      panel = panel.levelplot.raster, interpolate = TRUE,
31                      xscale.components = xscale.solar,
32                      yscale.components = yscale.solar,
33                      ...){
34      data0=as.data.tableI(data, complete=TRUE, day=TRUE)
35      ind=data0$Dates
36      data0$day=doy(ind)
37      data0$month=month(ind)
38      data0$year=year(ind)
39      levelplot(x, data0,
40                par.settings = par.settings,
41                xscale.components = xscale.components,
42                yscale.components = yscale.components,
43                panel = panel, interpolate = interpolate,
44                ...)
45    }
46  )
47
48  setMethod('levelplot',
49    signature=c(x='formula', data='G0'),
50    definition=function(x, data,
51                      par.settings = solaR.theme,
52                      panel = panel.levelplot.raster, interpolate = TRUE,
53                      xscale.components = xscale.solar,
54                      yscale.components = yscale.solar,
55                      ...){
56      data0=as.data.tableI(data, complete=TRUE, day=TRUE)
57      ind=data0$Dates
58      data0$day=doy(ind)
59      data0$month=month(ind)
60      data0$year=year(ind)
61      levelplot(x, data0,
62                par.settings = par.settings,
63                xscale.components = xscale.components,
64                yscale.components = yscale.components,
65                panel = panel, interpolate = interpolate,

```



```

66         ... )
67     }
68 )

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.49: *levelplot*

A.4.12. losses

```

1  setGeneric('losses', function(object){standardGeneric('losses')})
2
3  setMethod('losses',
4      signature=(object='Gef'),
5      definition=function(object){
6          dat <- as.data.tableY(object, complete=TRUE)
7          isShd=('Gef0d' %in% names(dat)) ##is there shadows?
8          if (isShd) {
9              shd <- with(dat, mean(1-Gefd/Gef0d))
10             eff <- with(dat, mean(1-Gef0d/Gd))
11         } else {
12             shd <- 0
13             eff <- with(dat, mean(1-Gefd/Gd))
14         }
15         result <- data.table(Shadows = shd, AoI = eff)
16         result
17     }
18 )
19
20 setMethod('losses',
21     signature=(object='ProdGCPV'),
22     definition=function(object){
23         datY <- as.data.tableY(object, complete=TRUE)
24         module0=object@module
25         module0$CoefVT=0 ##No losses with temperature
26         Pg=object@generator$Pg
27         Nm=1/sample2Hours(object@sample)
28         datI <- as.data.tableI(object, complete=TRUE)
29         if (object@type=='prom'){
30             datI[, DayOfMonth := DOM(datI)]
31             YfDC0 <- datI[, sum(Vmpp*Impp/Pg*DayOfMonth, na.rm = TRUE),
32                             by = month(Dates)][[2]]
33             YfDC0 <- sum(YfDC0, na.rm = TRUE)
34             YfAC0 <- datI[, sum(Pdc*EffI/Pg*DayOfMonth, na.rm = TRUE),
35                             by = month(Dates)][[2]]
36             YfAC0 <- sum(YfAC0, na.rm = TRUE)
37         } else {
38             datI[, DayOfMonth := DOM(datI)]
39             YfDC0 <- datI[, sum(Vmpp*Impp/Pg*DayOfMonth, na.rm = TRUE),
40                             by = year(Dates)][[2]]
41             YfAC0 <- datI[, sum(Pdc*EffI/Pg*DayOfMonth, na.rm = TRUE),
42                             by = year(Dates)][[2]]
43         }
44         gen <- mean(1-YfDC0/datY$Gefd)
45         YfDC <- datY$Edc/Pg*1000
46         DC=mean(1-YfDC/YfDC0)
47         inv=mean(1-YfAC0/YfDC)
48         AC=mean(1-datY$Yf/YfAC0)
49         result0 <- losses(as(object, 'Gef'))

```

```

50     result1 <- data.table(Generator = gen,
51                           DC = DC,
52                           Inverter = inv,
53                           AC = AC)
54     result <- data.table(result0, result1)
55     result
56   }
57 )
58
59 ###compareLosses
60
61 ## compareLosses,ProdGCPV: no visible binding for global variable 'name'
62 if(getRversion() >= "2.15.1") globalVariables(c('name'))
63
64 setGeneric('compareLosses', signature='...', function(...){standardGeneric('
65   compareLosses')})
66
67 setMethod('compareLosses', 'ProdGCPV',
68   definition=function(...){
69     dots <- list(...)
70     nms0 <- substitute(list(...))
71     if (!is.null(names(nms0))){ ##do.call
72       nms <- names(nms0[-1])
73     } else {
74       nms <- as.character(nms0[-1])
75     }
76     foo <- function(object, label){
77       yY <- losses(object)
78       yY <- cbind(yY, name=label)
79       yY
80     }
81     cdata <- mapply(FUN=foo, dots, nms, SIMPLIFY=FALSE)
82     z <- do.call(rbind, cdata)
83     z <- melt(z, id.vars = 'name')
84     p <- dotplot(variable~value*100, groups=name, data=z,
85                 par.settings=solaR.theme, type='b',
86                 auto.key=list(corner=c(0.95,0.2), cex=0.7), xlab='Losses (%)'
87 )
88     print(p)
89     return(z)
90   }
91 )

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.50: *losses*

A.4.13. mergeSolar

```

1  setGeneric('mergesolaR', signature='...', function(...){standardGeneric('mergesolaR')
2    })
3  fooMeteo <- function(object, var){yY <- getData(object)[, .SD,
4                                     by = Dates,
5                                     .SDcols = var]}
6
7  fooGO <- function(object, var){yY <- as.data.tableD(object)[, .SD,
8                                     by = Dates,
9                                     .SDcols = var]}

```

```

10
11 mergeFunction <- function(..., foo, var){
12   dots <- list(...)
13   dots <- lapply(dots, as, class(dots[[1]])) ##the first element is the one that
14   dictates the class to everyone
15   nms0 <- substitute(list(...))
16   if (!is.null(names(nms0))){ ##do.call
17     nms <- names(nms0[-1])
18   } else {
19     nms <- as.character(nms0[-1])
20   }
21   cdata <- sapply(dots, FUN=foo, var, simplify=FALSE)
22   z <- cdata[[1]]
23   for (i in 2:length(cdata)){
24     z <- merge(z, cdata[[i]], by = 'Dates', suffixes = c("", paste0('.', i)))
25   }
26   names(z)[-1] <- nms
27   z
28 }
29
30 setMethod('mergesolaR',
31   signature='Meteo',
32   definition=function(...){
33     res <- mergeFunction(..., foo=fooMeteo, var='G0')
34     res
35   }
36 )
37
38 setMethod('mergesolaR',
39   signature='G0',
40   definition=function(...){
41     res <- mergeFunction(..., foo=fooG0, var='G0d')
42     res
43   }
44 )
45
46 setMethod('mergesolaR',
47   signature='Gef',
48   definition=function(...){
49     res <- mergeFunction(..., foo=fooG0, var='Gefd')
50     res
51   }
52 )
53
54 setMethod('mergesolaR',
55   signature='ProdGCPV',
56   definition=function(...){
57     res <- mergeFunction(..., foo=fooG0, var='Yf')
58     res
59   }
60 )
61
62 setMethod('mergesolaR',
63   signature='ProdPVPS',
64   definition=function(...){
65     res <- mergeFunction(..., foo=fooG0, var='Yf')
66     res
67   }
68 )

```

67)

EXTRACTO DE CÓDIGO A.51: *mergeSolaR*A.4.14. *shadeplot*

```

1 setGeneric('shadeplot', function(x, ...)standardGeneric('shadeplot'))
2
3 setMethod('shadeplot', signature(x='Shade'),
4     function(x,
5         main='',
6         xlab=expression(L[ew]),
7         ylab=expression(L[ns]),
8         n=9, ...){
9     red=x@distances
10    FS.loess=x@FS.loess
11    Yf.loess=x@Yf.loess
12    struct=x@struct
13    mode=x@modeTrk
14    if (mode=='two'){
15        Lew=seq(min(red$Lew),max(red$Lew),length=100)
16        Lns=seq(min(red$Lns),max(red$Lns),length=100)
17        Red=expand.grid(Lew=Lew,Lns=Lns)
18        FS=predict(FS.loess,Red)
19        Red$FS=as.numeric(FS)
20        AreaG=with(struct,L*W)
21        GRR=Red$Lew*Red$Lns/AreaG
22        Red$GRR=GRR
23        FS.m<-matrix(1-FS,
24            nrow=length(Lew),
25            ncol=length(Lns))
26        GRR.m<-matrix(GRR,
27            nrow=length(Lew),
28            ncol=length(Lns))
29        niveles=signif(seq(min(FS.m),max(FS.m),l=n+1),3)
30        pruebaCB<-("RColorBrewer" %in% .packages())
31        if (pruebaCB) {
32            paleta=rev(brewer.pal(n, 'YlOrRd'))
33        } else {
34            paleta=rev(heat.colors(n))}
35        par(mar=c(4.1,4.1,2.1,2.1))
36        filled.contour(x=Lew,y=Lns,z=FS.m,#...,
37            col=paleta, #levels=niveles,
38            nlevels=n,
39            plot.title=title(xlab=xlab,
40                ylab=ylab, main=main),
41            plot.axes={
42                axis(1);axis(2);
43                contour(Lew, Lns, FS.m,
44                    nlevels=n, #levels=niveles,
45                    col="black", labcex=.8, add=TRUE)
46                contour(Lew, Lns, GRR.m,
47                    col="black", lty=3, labcex=.8, add=TRUE)
48                grid(col="white",lty=3)},
49            key.title=title("1-FS",cex.main=.8))
50    }
51    if (mode=='horiz') {

```

```

52         Lew=seq(min(red$Lew),max(red$Lew),length=100)
53         FS=predict(FS.loess,Lew)
54         GRR=Lew/struct$L
55         plot(GRR,1-FS,main=main,type='l',...)
56         grid()      }
57     if (mode=='fixed'){
58         D=seq(min(red$D),max(red$D),length=100)
59         FS=predict(FS.loess,D)
60         GRR=D/struct$L
61         plot(GRR,1-FS,main=main,type='l',...)
62         grid()      }
63     }
64 )

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.52: *shadeplot*

A.4.15. window

```

1  setMethod('[',
2      signature='Meteo',
3      definition=function(x, i, j,...){
4          if (!missing(i)) {
5              i <- truncDay(i)
6          } else {
7              i <- indexD(x)[1]
8          }
9          if (!missing(j)) {
10             j <- truncDay(j)+86400-1 ##The end is the last second of the day
11         } else {
12             nDays <- length(indexD(x))
13             j <- indexD(x)[nDays]+86400-1
14         }
15         stopifnot(j>i)
16         if (!is.null(i)) i <- truncDay(i)
17         if (!is.null(j)) j <- truncDay(j)+86400-1
18         d <- indexD(x)
19         x@data <- x@data[(d >= i & d <= j)]
20         x
21     }
22 )
23
24
25 setMethod('[',
26     signature='Sol',
27     definition=function(x, i, j, ...){
28         if (!missing(i)) {
29             i <- truncDay(i)
30         } else {
31             i <- indexD(x)[1]
32         }
33         if (!missing(j)) {
34             j <- truncDay(j)+86400-1##The end is the last second of the day
35         } else {
36             nDays <- length(indexD(x))
37             j <- indexD(x)[nDays]+86400-1
38         }
39         stopifnot(j>i)

```

```

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

```

```

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

```

```

156     if (x@type=='prom'){
157         prodDmw[, DayOfMonth := DOM(prodDmw)]
158         prodyw <- prodDmw[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
159                             .SDcols = c('Eac', 'Edc', 'Yf'),
160                             by = .(Dates = year)]
161         prodDmw[, DayOfMonth := NULL]
162     } else {
163         prodyw <- prodDmw[, lapply(.SD/1000, sum, na.rm = TRUE),
164                             .SDcols = c('Eac', 'Edc', 'Yf'),
165                             by = .(Dates = year)]
166     }
167     prodDmw[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
168     prodDmw[, c('month', 'year') := NULL]
169     setcolorder(prodDmw, c('Dates', names(prodDmw)[-length(prodDmw)]))
170     result <- new('ProdGCPV',
171                 gef,
172                 prodD=prodDw,
173                 prodDm=prodDmw,
174                 prody=prodyw,
175                 prodI=prodIw,
176                 module=x@module,
177                 generator=x@generator,
178                 inverter=x@inverter,
179                 effSys=x@effSys
180                 )
181     result
182 }
183 )
184
185 setMethod('[',
186     signature='ProdPVPS',
187     definition=function(x, i, j, ...){
188         gef <- as(x, 'Gef')[i=i, j=j, ...] ##Gef method
189         i <- indexI(gef)[1]
190         j <- indexI(gef)[length(indexI(gef))]
191         d1 <- indexD(x)
192         d2 <- indexI(x)
193         prodIw <- x@prodI[(d2 >= i & d2 <= j)]
194         prodDw <- x@prodD[(d1 >= truncDay(i) & d1 <= truncDay(j))]
195         prodDmw <- prodDw[, .(Eac = Eac/1000,
196                             Qd = Qd,
197                             Yf = Yf),
198                             by = .(month(Dates), year(Dates))]
199         if (x@type=='prom'){
200             prodDmw[, DayOfMonth := DOM(prodDmw)]
201             prodyw <- prodDmw[, lapply(.SD*DayOfMonth, sum, na.rm = TRUE),
202                                     .SDcols = c('Eac', 'Qd', 'Yf'),
203                                     by = .(Dates = year)]
204             prodDmw[, DayOfMonth := NULL]
205         } else {
206             prodyw <- prodDw[, .(Eac = sum(Eac, na.rm = TRUE)/1000,
207                                 Qd = sum(Qd, na.rm = TRUE),
208                                 Yf = sum(Yf, na.rm = TRUE)),
209                                 by = .(Dates = year)]
210         }
211         prodDmw[, Dates := paste(month.abb[month], year, sep = '. ')]
212         prodDmw[, c('month', 'year') := NULL]
213         setcolorder(prodDmw, c('Dates', names(prodDmw)[-length(prodDmw)]))

```



```

214     result <- new('ProdPVPS',
215                 gef,
216                 prodD=prodDw,
217                 prodDm=prodDmw,
218                 prody=prodyw,
219                 prodI=prodIw,
220                 pump=x@pump,
221                 H=x@H,
222                 Pg=x@Pg,
223                 converter=x@converter,
224                 effSys=x@effSys
225                 )
226     result
227 }
228 )

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.53: *window*

A.4.16. writeSolar

```

1  setGeneric('writeSolar', function(object, file,
2                                complete=FALSE, day=FALSE,
3                                timeScales=c('i', 'd', 'm', 'y'), sep=',',
4                                ...){
5      standardGeneric('writeSolar')})
6
7  setMethod('writeSolar', signature=(object='Sol'),
8            definition=function(object, file, complete=FALSE, day=FALSE,
9                                timeScales=c('i', 'd', 'm', 'y'), sep=',', ...){
10      name <- strsplit(file, '\\.')[[1]][1]
11      ext <- strsplit(file, '\\.')[[1]][2]
12      timeScales <- match.arg(timeScales, several.ok=TRUE)
13      if ('i' %in% timeScales) {
14          zI <- as.data.tableI(object, complete=complete, day=day)
15          write.table(zI,
16                     file=file, sep=sep, row.names = FALSE, ...)
17      }
18      if ('d' %in% timeScales) {
19          zD <- as.data.tableD(object, complete=complete, day = day)
20          write.table(zD,
21                     file=paste(name, 'D', ext, sep='.'),
22                     sep=sep, row.names = FALSE, ...)
23      }
24      if ('m' %in% timeScales) {
25          zM <- as.data.tableM(object, complete=complete, day = day)
26          write.table(zM,
27                     file=paste(name, 'M', ext, sep='.'),
28                     sep=sep, row.names = FALSE, ...)
29      }
30      if ('y' %in% timeScales) {
31          zY <- as.data.tableY(object, complete=complete, day = day)
32          write.table(zY,
33                     file=paste(name, 'Y', ext, sep='.'),
34                     sep=sep, row.names = FALSE, ...)
35      }
36  })

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.54: *writeSolar*

A.4.17. xyplot

```

1 #####
2 ## THEMES
3 #####
4 xscale.solar <- function(...){ans <- xscale.components.default(...); ans$stop=FALSE;
  ans}
5 yscale.solar <- function(...){ans <- yscale.components.default(...); ans$right=FALSE;
  ans}
6
7 solaR.theme <- function(pch=19, cex=0.7, region=rev(brewer.pal(9, 'YlOrRd')), ...) {
8   theme <- custom.theme.2(pch=pch, cex=cex, region=region, ...)
9   theme$strip.background$col='transparent'
10  theme$strip.shingle$col='transparent'
11  theme$strip.border$col='transparent'
12  theme
13 }
14
15 solaR.theme.2 <- function(pch=19, cex=0.7, region=rev(brewer.pal(9, 'YlOrRd')), ...) {
16   theme <- custom.theme.2(pch=pch, cex=cex, region=region, ...)
17   theme$strip.background$col='lightgray'
18   theme$strip.shingle$col='lightgray'
19   theme
20 }
21
22 #####
23 ## XYPLOT
24 #####
25 setGeneric('xyplot')
26
27 setMethod('xyplot',
28   signature = c(x = 'data.frame', data = 'missing'),
29   definition = function(x, data,
30     par.settings = solaR.theme.2,
31     xscale.components=xscale.solar,
32     yscale.components=yscale.solar,
33     scales = list(y = 'free'),
34     ...){
35     N <- length(x)-1
36     x0 <- x[, lapply(.SD, as.numeric), by = Dates]
37     x0 <- melt(x0, id.vars = 'Dates')
38     x0$variable <- factor(x0$variable,
39       levels = rev(levels(factor(x0$variable))))
40     xyplot(value ~ Dates | variable, x0,
41       par.settings = par.settings,
42       xscale.components = xscale.components,
43       yscale.components = yscale.components,
44       scales = scales,
45       type = 'l', layout = c(1,N),
46       ...)
47   })
48
49 setMethod('xyplot',
50   signature=c(x='formula', data='Meteo'),
51   definition=function(x, data,
52     par.settings=solaR.theme,
53     xscale.components=xscale.solar,
54     yscale.components=yscale.solar,

```

```

55         ...){
56         data0=getData(data)
57         xyplot(x, data0,
58             par.settings = par.settings,
59             xscale.components = xscale.components,
60             yscale.components = yscale.components,
61             strip = strip.custom(strip.levels=c(TRUE, TRUE)), ...)
62     }
63 )
64
65 setMethod('xyplot',
66     signature=c(x='formula', data='Sol'),
67     definition=function(x, data,
68         par.settings=solaR.theme,
69         xscale.components=xscale.solar,
70         yscale.components=yscale.solar,
71         ...){
72         data0=as.data.tableI(data, complete=TRUE, day=TRUE)
73         data0[, w := h2r(hms(Dates)-12)]
74         xyplot(x, data0,
75             par.settings = par.settings,
76             xscale.components = xscale.components,
77             yscale.components = yscale.components,
78             strip = strip.custom(strip.levels=c(TRUE, TRUE)), ...)
79     }
80 )
81
82 setMethod('xyplot',
83     signature=c(x='formula', data='G0'),
84     definition=function(x, data,
85         par.settings=solaR.theme,
86         xscale.components=xscale.solar,
87         yscale.components=yscale.solar,
88         ...){
89         data0=as.data.tableI(data, complete=TRUE, day=TRUE)
90         xyplot(x, data0,
91             par.settings = par.settings,
92             xscale.components = xscale.components,
93             yscale.components = yscale.components,
94             strip = strip.custom(strip.levels=c(TRUE, TRUE)), ...)
95     }
96 )
97
98 setMethod('xyplot',
99     signature=c(x='formula', data='Shade'),
100    definition=function(x, data,
101        par.settings=solaR.theme,
102        xscale.components=xscale.solar,
103        yscale.components=yscale.solar,
104        ...){
105        data0=as.data.table(data)
106        xyplot(x, data0,
107            par.settings = par.settings,
108            xscale.components = xscale.components,
109            yscale.components = yscale.components,
110            strip = strip.custom(strip.levels=c(TRUE, TRUE)), ...)
111    }
112 )

```

```

113
114 setMethod('xyplot',
115           signature=c(x='Meteo', data='missing'),
116           definition=function(x, data,
117                               ...){
118             x0=getData(x)
119             xyplot(x0,
120                   scales=list(cex=0.6, rot=0, y='free'),
121                   strip=FALSE, strip.left=TRUE,
122                   par.strip.text=list(cex=0.6),
123                   ylab = '',
124                   ...)
125           }
126       )
127
128 setMethod('xyplot',
129           signature=c(x='GO', data='missing'),
130           definition=function(x, data, ...){
131             x0 <- as.data.tableD(x, complete=FALSE)
132             x0 <- melt(x0, id.vars = 'Dates')
133             xyplot(value~Dates, x0, groups = variable,
134                   par.settings=solaR.theme.2,
135                   xscale.components=xscale.solar,
136                   yscale.components=yscale.solar,
137                   superpose=TRUE,
138                   auto.key=list(space='right'),
139                   ylab='Wh/m\u00b2',
140                   type = 'l',
141                   ...)
142           }
143       )
144
145 setMethod('xyplot',
146           signature=c(x='ProdGCPV', data='missing'),
147           definition=function(x, data, ...){
148             x0 <- as.data.tableD(x, complete=FALSE)
149             xyplot(x0,
150                   strip = FALSE, strip.left = TRUE,
151                   ylab = '', ...)
152           }
153       )
154
155 setMethod('xyplot',
156           signature=c(x='ProdPVPS', data='missing'),
157           definition=function(x, data, ...){
158             x0 <- as.data.tableD(x, complete=FALSE)
159             xyplot(x0,
160                   strip = FALSE, strip.left = TRUE,
161                   ylab = '', ...)
162           }
163       )

```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.55: *xyplot*

A.5. Conjunto de datos

A.5.1. aguiar

```
1 data(MTM)
2 Ktlim
```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.56: *aguiar*

```
      [,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
```

```
1 Ktmtm
```

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

```
1 head(MTM)
```

```
      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

```
1 data(SIAR)
2 head(est_SIAR)
```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.57: *SIAR*

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

A.5.3. helios

```
1 data(helios)
2 head(helios)
```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.58: *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

```
1 data(prodEx)
2 head(prodEx)
```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.59: *prodEx*

	Dates <Date>	1 <num>	2 <num>	3 <num>	4 <num>	5 <num>	6 <num>	7 <num>	8 <num>	9 <num>
1:	2007-07-02	8.874982	8.847533	7.173181	8.874982	8.920729	8.975626	8.948177	8.948177	8.948177
2:	2007-07-03	8.710291	8.691992	8.655395	8.710291	8.737740	8.792637	8.774338	8.774338	8.746889
3:	2007-07-04	8.746889	8.737740	8.865832	8.737740	8.765188	8.838384	8.810935	8.792637	8.801786
4:	2007-07-05	8.280266	8.271117	8.408359	8.280266	8.344313	8.380911	8.353462	8.362612	8.316864
5:	2007-07-06	8.399209	8.417508	8.509003	8.435807	8.490704	8.490704	8.499854	8.527302	8.472405
6:	2007-07-07	8.197921	8.170473	8.335163	8.225370	8.243669	8.307715	8.298565	8.280266	8.243669

	10 <num>	11 <num>	12 <num>	13 <num>	14 <num>	15 <num>	16 <num>	17 <num>	18 <num>	19 <num>	20 <num>
1:	8.984775	8.783487	8.865832	8.966476	8.884131	8.774338	8.829234	8.627946	8.911580	8.807886	6.505270
2:	8.801786	8.545601	8.682843	8.774338	8.691992	8.591348	8.646245	8.426658	8.710291	8.563900	3.952569
3:	8.829234	8.545601	8.618797	8.829234	8.719441	8.618797	8.664544	8.426658	8.728590	8.612697	6.331430
4:	8.380911	8.179622	8.271117	8.353462	8.280266	8.207071	8.261968	8.188772	7.950886	8.222320	5.498829
5:	8.509003	8.316864	8.426658	8.490704	8.435807	8.344313	8.408359	8.371761	8.463256	8.332113	6.551017
6:	8.326014	8.152174	8.161323	8.316864	8.234519	8.143024	8.179622	8.170473	8.243669	8.161323	6.669960

	21 <num>	22 <num>
1:	3.742131	3.980018
2:	4.080662	3.238911
3:	1.363270	1.043039
4:	3.998316	2.461206
5:	5.361587	4.959010
6:	5.215195	4.922413

A.5.5. pumpCoef

```
1 data(pumpCoef)
2 head(pumpCoef)
```

EXTRACTO DE CÓDIGO A.60: *pumpCoef*

	Qn stages <int>	Qmax <num>	Pmn <int>	a <num>	b <num>	c <num>	g <num>	h <num>	i <num>	j <num>	k <num>	l <num>	
1:	2	6	2.6	370	0.01409736	0.018576	-3.6324	-0.32	0.74	0.22	-0.1614	0.5247	0.0694
2:	2	9	2.6	370	0.02114604	0.027864	-5.4486	-0.32	0.74	0.22	-0.1614	0.5247	0.0694
3:	2	13	2.6	550	0.03054428	0.040248	-7.8702	-0.12	0.49	0.27	-0.1614	0.5247	0.0694
4:	2	18	2.6	750	0.04229208	0.055728	-10.8972	-0.16	0.42	0.47	-0.1614	0.5247	0.0694
5:	2	23	2.6	1100	0.05403988	0.071208	-13.9242	-0.20	0.51	0.42	-0.1614	0.5247	0.0694
6:	2	28	2.6	1500	0.06578768	0.086688	-16.9512	-0.24	0.50	0.49	-0.1614	0.5247	0.0694

Bibliografía

- [LJ60] B. Y. H. Liu y R. C. Jordan. "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse, and total solar radiation". En: *Solar Energy* 4 (1960), págs. 1-19.
- [Pag61] J. K. Page. "The calculation of monthly mean solar radiation for horizontal and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40N-40S". En: *U.N. Conference on New Sources of Energy*. Vol. 4. 98. 1961, págs. 378-390.
- [Coo69] P.I. Cooper. "The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills". En: *Solar Energy* 12 (1969).
- [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/>.
- [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](https://doi.org/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>.
- [Per12] Oscar Perpiñán. "solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R". En: *Journal of Statistical Software* 50.9 (2012), págs. 1-32. DOI: [10.18637/jss.v050.i09](https://doi.org/10.18637/jss.v050.i09).
- [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>.