



**LIFE**  
**RESILIENT**  
**FORESTS**

# Manual DSS “CAFE”





## Contenido

1. Visión general de CAFE .....	5
2. Objetivo.....	10
3. Alcance .....	10
4. Requisitos técnicos: Hardware y Software .....	10
5. Instalación.....	10
6. Arrancar DSS.....	11
7. Configuración previa.....	11
7.1 Calibración .....	11
BIOME-BGC_MuSo .....	11
RHESsys .....	14
Worldfile y Flowtable .....	14
Header .....	18
Tecfile.....	18
Climatic .....	19
Parameter Definition .....	20
Tetis .....	21
7.2 Introducir casos propios a DSS.....	23
Caso Biome .....	24
Caso RHESsys .....	27
8. Interfaz.....	28
9. Flujo de trabajo .....	29
1. Arrancar CAFE .....	29
2. Preparar entradas .....	30
2.1. Montar casos .....	30
2.2. Introducir en DSS .....	30
3. Configurar.....	30
3.1. Modelos de Simulación.....	31
3.1.1. RHESSys .....	31

3.1.1.1. Simulation Inputs .....	32
3.1.1.2. Interventions' configuration .....	33
3.1.1.3. Constraints .....	34
3.1.2. Tetis .....	34
3.1.2.1. Simulation Inputs .....	35
3.1.2.2. Interventions' configuration .....	36
3.1.3. BIOME-BGC_MuSo .....	36
3.1.3.1. Simulation Inputs .....	36
3.1.3.2. Interventions' configuration .....	36
3.2. Comunes .....	38
3.2.1. Selección de Métricas .....	39
3.2.2. Configuración de Algoritmo .....	41
3.2.3. Directorio de Resultados .....	41
3.3. Filtrados Stands .....	41
4. Ejecutar herramienta .....	42
5. Visualizar resultados .....	42
5.1. Frente de Pareto .....	43
5.2. Mapa de Claras .....	44
6. Exportar resultados .....	45
7. Apagar DSS .....	45
10. Referencias .....	46

# 1. Visión general de CAFE

CAFE es un sistema de soporte a la decisión multiobjetivo (MODSS) para la gestión forestal que se enmarca en el programa del proyecto europeo LIFE, titulado "Life Resilient Forests" (<https://www.resilientforest.eu/>), que pretende promover un enfoque de gestión forestal a escala de cuenca hidrográfica que mejore la resiliencia de los bosques ante los incendios forestales, la escasez de agua, la degradación ambiental y otros efectos inducidos por el cambio climático.

Esta herramienta determina las actividades selvícolas óptimas para gestionar múltiples bienes y servicios como la producción de biomasa, el secuestro de carbono, el riesgo de incendios, el aprovisionamiento de agua, la resiliencia climática o la biodiversidad, que se cuantifican simultáneamente en el tiempo y el espacio. Para ello, CAFE combina la simulación ecohidrológica y la optimización multiobjetivo con algoritmos evolutivos. La ejecución de la herramienta finaliza con una visualización interactiva de los resultados que permite al usuario comprender y seleccionar la opción más adecuada. Por tanto, los tres bloques en los que se estructura este DSS son: Simulación, optimización y visualización (Fig. 1). La combinación y comunicación de estos bloques lo convierten en una herramienta polivalente y útil para la toma de decisiones de los gestores forestales.

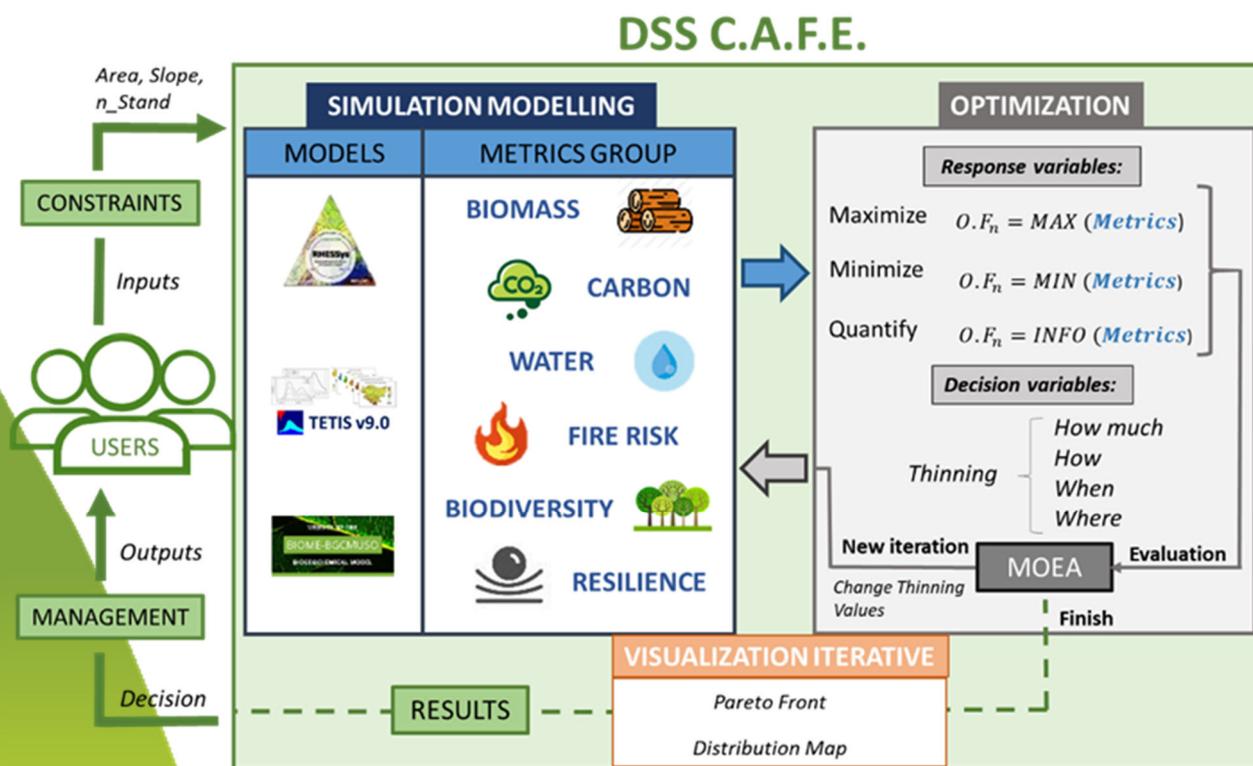


Figura 1. Esquema de Sistema de Soporte a la Decisión, C.A.F.E.

## Bloque 1: Simulación

Este bloque lo componen los modelos basados en procesos (PBM), también conocidos como modelos mecanísticos o de ecosistemas, que son la representación matemática del funcionamiento de un sistema biológico bien definido (Tanevski et al., 2017). Los PBM pueden ser espacialmente distribuidos o no distribuidos. Los distribuidos son capaces de diferenciar los procesos que ocurren en un área determinada por las características del terreno o de la vegetación, y pueden trabajar a nivel de colina (o píxel) o de cuenca. Por el contrario, los modelos no distribuidos hacen una representación puntual y promediada de las características del terreno y trabajan a nivel de parcela o región de características homogéneas (Fig. 2).

Dentro de este bloque, la herramienta cuenta con 4 PBMs, siendo 2 distribuidos (RHESys y Tetis) y 2 no distribuidos (Biome-Bgc\_MuSo y CLM). Ambos tipos se han implementado para satisfacer las diferentes necesidades de los gestores, de manera que pueden simular un bosque entero o sólo una parcela experimental. Los modelos distribuidos pueden ser interesantes cuando el área de trabajo es heterogénea, o cuando se quiera diferenciar espacialmente lo que ocurre con los procesos que se simulan. Si se quiere caracterizar un rodal homogéneo o un área de producción, se pueden ejecutar los no distribuidos y tener un valor de escala de parcela que sea representativo de su área total. Además, los modelos distribuidos también son capaces de trabajar como los no distribuidos, siendo por tanto aplicables a todos los casos.

**-RHESys** es un modelo ecohidrológico diseñado para simular el ciclo y el transporte integrados de agua, carbono y nitrógeno en un terreno espacialmente variable. El modelo está estructurado como una representación del paisaje jerárquica y espacialmente anidada, con una serie de procesos hidrológicos, microclimáticos y ecosistémicos asociados a objetos específicos del mismo en diferentes niveles de la jerarquía. Este enfoque está diseñado para facilitar el análisis ambiental que requiere una comprensión de los procesos dentro de la cuenca, así como los flujos agregados de agua, carbono y nitrógeno. RHESys se ha aplicado en una variedad de tipos de ecosistemas, incluyendo regiones boscosas de coníferas caducifolias y praderas, ecosistemas de tipo alpino y mediterráneo, y zonas urbanas (Tague y Band, 2004).

**-Tetis** es un modelo de simulación hidrológica distribuido espacialmente mediante la subdivisión de la cuenca en celdas regulares con parámetros de base física (Francés et al., 2007). Tetis permite el acoplamiento de diversos submódulos y para este trabajo se ha activado el de vegetación (Pasquato et al., 2015; Ruiz-Pérez et al., 2017). El modelo incorpora adecuadamente la variabilidad espacial de los ciclos hidrológicos y parte del crecimiento de la vegetación. Su base conceptual se basa en el principio de parsimonia, es decir, se selecciona el modelo con el menor número de parámetros para obtener prestaciones similares.

**-Biome-BGC\_MuSo** es un modelo de procesos ecosistémicos que estima el almacenamiento y el flujo de energía, carbono, nitrógeno y agua para los componentes de la vegetación y el suelo de los ecosistemas terrestres. Lo llamamos modelo de procesos porque sus algoritmos representan los procesos físicos y biológicos que controlan los flujos de energía y masa (Hydi, et al, 2016).

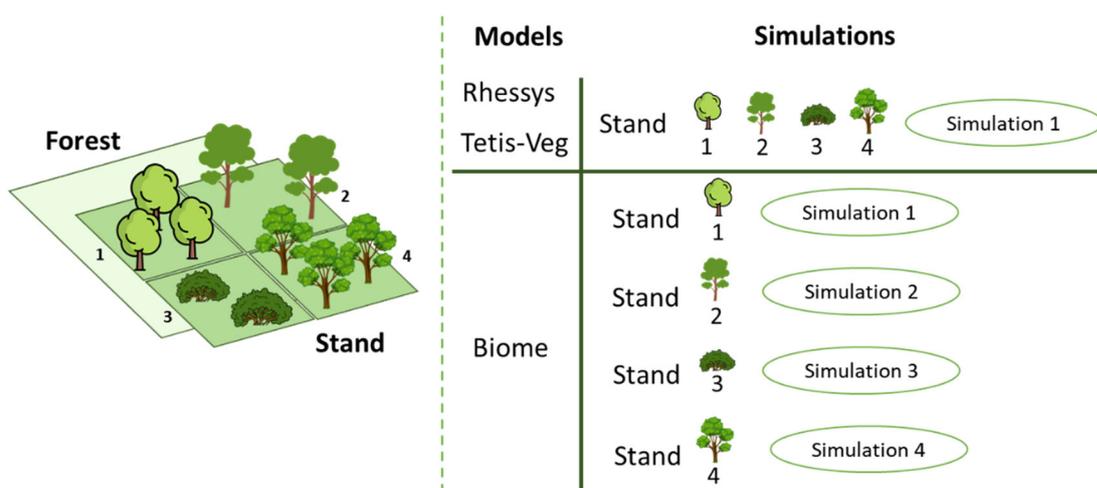


Figura 2. Diferencia entre modelos de simulación distribuidos y no distribuidos.

Las métricas que CAFE proporciona a los usuarios (Tabla 1) pueden agruparse en las siguientes categorías: biomasa extraída, carbono secuestrado, incremento de agua almacenada, reducción del riesgo de incendio, biodiversidad estructural y resiliencia forestal. Para obtener estas variables, es necesario evaluar el ciclo del agua y del carbono que proporcionan los modelos. Dado que el DSS no está cerrado, se están incluyendo nuevas métricas y se está evaluando el comportamiento de los valores simulados con datos de campo.

Tabla 1. Métricas calculadas para cuantificar y optimizar.

Métricas	Descripción	Unidades	Modelo
<b>Extracción de biomasa</b>	Es la suma de todos los rodales a los que se aplica la diferencia de carbono entre el día anterior a la clara o clareo y el posterior al mismo, repitiéndose tantas veces como intervenciones se realicen a lo largo de la simulación.	Kg/m <sup>2</sup>	Todos
<b>Secuestro de carbono</b>	Carbono almacenado en suelo y en vuelo que se promedia a lo largo del periodo de simulación.	Kg/m <sup>2</sup>	Rhessys Biome
<b>Respiración del suelo</b>	Calculada a partir del CO <sub>2</sub> emitido por el suelo, el cual se promedia a lo largo del periodo de simulación.	Kg/m <sup>2</sup>	Rhessys Biome
<b>Percolación</b>	Se obtiene mediante la suma de los totales anuales para el periodo de simulación y la división por los años de simulación.	mm	Todos
<b>Agua azul</b>	Calculada por a partir de la suma total de escorrentía superficial y percolación de todo el periodo de simulación.	mm	Todos
<b>Agua circulante</b>	Suma total del caudal que circula por los arroyos durante todo el periodo de simulación.	Hm <sup>3</sup>	Todos
<b>KBDI</b>	Es el valor medio del KBDI (índice de riesgo de incendio) para el periodo de simulación.	adimensional	Rhessys
<b>Biodiversidad Estructural</b>	Es la suma de diferentes valores estructurales del rodal como la densidad, el número de estratos, los	adimensional	Rhessys

	diámetros, la madera muerta en el suelo y en el vuelo en el rodal.		
<b>Resiliencia</b>	Es el valor medio de los valores medios anuales de la relación entre el agua utilizada por la planta y el crecimiento de la madera, en comparación con la situación de partida.	adimensional	Rhessys Biome
<b>Mejora de Situación</b>	Es la suma del valor categórico proporcionado a cada una de las métricas que superan los valores con actuación forestal en comparación con la situación de referencia.	adimensional	Todos

### Bloque 2: Optimización

Un problema de optimización multiobjetivo (MOP) implica una serie de funciones objetivo que deben minimizarse o maximizarse, sujetas a una serie de restricciones y límites variables. A menudo, los objetivos entran en conflicto entre sí, ya que la mejora de uno de ellos puede provocar el deterioro de otro. Por tanto, no existe una solución única que pueda optimizar todos los objetivos simultáneamente. En su lugar, se obtienen las mejores soluciones de compromiso, denominadas soluciones óptimas de Pareto, que son importantes para un responsable de la toma de decisiones (DM). Estas soluciones son los puntos que se encuentran en el frente de no dominación, donde, por definición, no llegan a ser dominados por ningún otro punto del espacio objetivo; de ahí que constituyan el Frente Pareto-óptimo (FP). Es característico de los MOP que no exista una solución única, sino que se pueda identificar un conjunto de soluciones matemáticamente igual de buenas. Debido a su naturaleza poblacional, los algoritmos evolutivos multiobjetivo (MOEA) son capaces de aproximar todo el FP de un MOP en una sola ejecución y es uno de los métodos de optimización heurística más utilizados en la investigación en los últimos 20 años (Deb, 2015; Zhou et al., 2011). Para crear el módulo de optimización con MOEA en CAFE, se ha utilizado la biblioteca Rhodium de código abierto de Python, que permite la toma de decisiones robusta (RDM), la toma de decisiones robusta multiobjetivo (MORDM) y la modelización exploratoria. Estos marcos de apoyo a la toma de decisiones permiten identificar estrategias robustas para la gestión de sistemas ambientales complejos, evaluando las compensaciones entre las estrategias candidatas y caracterizando sus vulnerabilidades (Hadjimichael et al., 2020).

Los MOEA tratan de optimizar o cuantificar las variables formuladas matemáticamente (métricas) en CAFE. Dichas métricas son consideradas como las funciones objetivo (OF), que se obtienen a partir de las operaciones con las salidas de los modelos de simulación. A los MOEA, hay que decirles si cada una de las OF debe ser maximizada, minimizada o solo cuantificada. Otro apartado importante de estos algoritmos son las variables de decisión, que son las variables sobre las que la optimización tiene que proporcionar sus valores adecuados para optimizar las OF. En CAFE hay hasta 4 variables de decisión sobre la clara/clareo que se quiere aplicar (¿Dónde?, ¿Cuándo?, ¿Cómo? o ¿Cuánto?) y una sobre la densidad inicial de plantación (¿Cuánto?), que hacen referencia al tipo de gestión forestal que se debe de aplicar. Se pueden utilizar todas o sólo algunas de ellas. Por último, se encuentran las restricciones, que son los límites que tiene la optimización sobre las variables de decisión o los OF. En este caso, la herramienta ha implementado por el momento la restricción de pendiente (limitando la intensidad de clara en pendientes elevadas), número de rodales o superficie máxima sobre la que actuar.

**Bloque 3: Visualización interactiva**

El último módulo implementado en CAFE es la parte de visualización interactiva. Se divide en tres partes, consola, gráficos interactivos y mapas de distribución de claras. La primera es donde se muestran los valores de cada iteración (Métrica-Actuaciones), y donde la optimización propone los valores de las variables de decisión ("¿Dónde?, ¿Cuándo?, ¿Cuánto?, ¿Cómo?"), se aplican los cambios propuestos sobre la vegetación, y se lanza la simulación. Terminada cada simulación, se calculan las métricas a cuantificar u optimizar, según la selección del usuario (cada una puede ser seleccionada como Maximizar, Minimizar o Info). El valor obtenido en cada una de las métricas (FO) es evaluado por el algoritmo, decide si almacena la solución o la descarta, y pasa a la siguiente iteración realizando cambios en las variables de decisión para repetir el proceso hasta que el MOEA encuentra la FP. Cuando esto sucede, se pasa a la segunda parte, que son los gráficos interactivos donde el usuario puede visualizar los resultados obtenidos y filtrar las soluciones por los criterios que considere. Aquí puede ver la tabla con los valores de las métricas, la frontera de Pareto y el cubo 3D. Una vez seleccionada la solución que prefiere el usuario, la tercera parte se abre y da paso a la visualización del mapa de distribución de claras, siempre que el caso de estudio utilice los modelos de simulación distribuidos (Fig. 3). Además, incorpora acceso a la aplicación J3 del proyecto Rhodium que tiene una visualización interactiva de los datos una vez finaliza y guardas tus resultados en tu disco local.

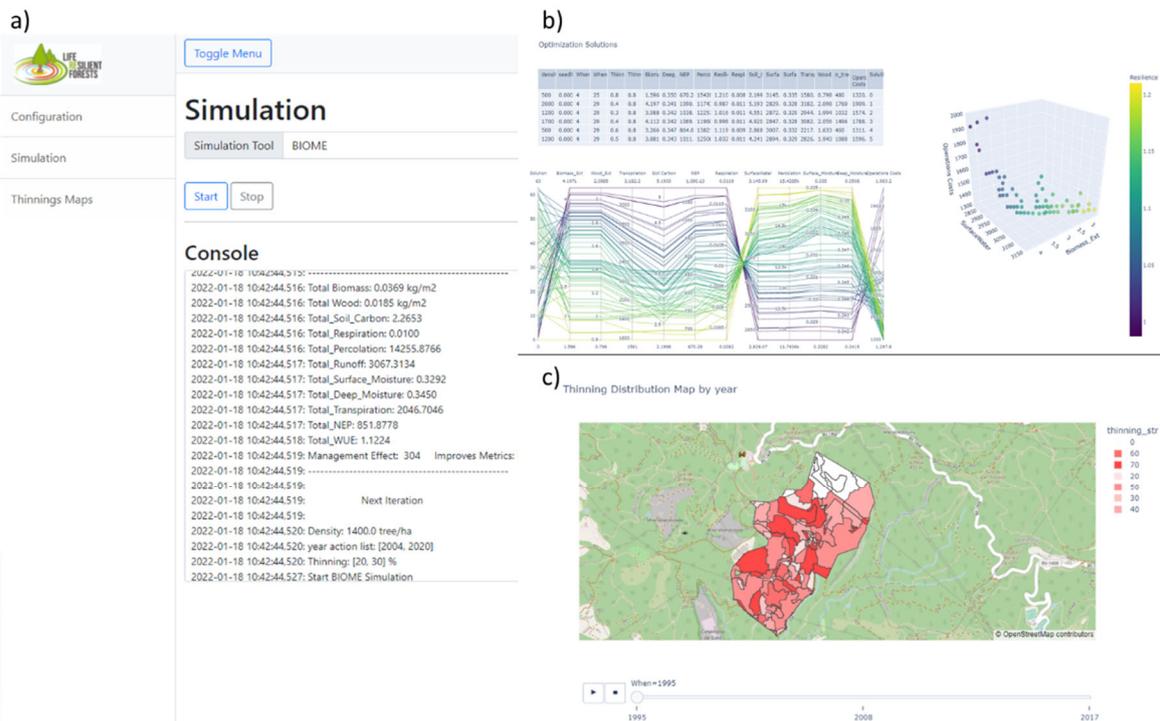


Figura 3. Visualización interactiva de CAFE. a) Consola que muestra las iteraciones, b) Frente de Pareto de las soluciones

## 2. Objetivo

La DSS CAFE es una herramienta de uso científico-técnica de libre uso que trata fomentar la gestión forestal sostenible por medio de una gestión multiobjetivo del bosque. Ayudando a los gestores a cuantificar y optimizar sus bienes y servicios derivados de la gestión forestal.

El proyecto Life ResilientForests no asume ninguna responsabilidad por su uso por parte de terceros, y no ofrece ninguna garantía, expresa o implícita, sobre su calidad, fiabilidad o cualquier otra característica de los resultados generados por el uso de esta herramienta. Para la obtención de resultados el usuario debe tener unos conocimientos previos sobre la calibración de los modelos empleados en su zona de estudio, sin los cuales el resultado que da la DSS carecen de valor contrastado.

## 3. Alcance

El presente documento pretende conformar el manual de usuario de la herramienta CAFE. Marcándose como reto la creación de una guía que permita la instalación y el uso de la DSS por cualquier usuario. El proyecto Life ResilientForests pretende fomentar el uso de esta herramienta que permita una gestión sostenible de los múltiples bienes y servicios del ecosistema. Se considera finalizado su cometido cuando el usuario sea capaz de utilizar sus propios casos de estudios con dicha herramienta.

## 4. Requisitos técnicos: Hardware y Software

Los requisitos que esta herramienta para poder ser instalada y utilizada son los propios requisitos que tienen asociados con la instalación de Docker, los cuales, dependen del sistema operativo que se utilice y que pueden verse especificados en siguiente enlace (<https://docs.docker.com/get-started/>). Estas limitaciones de software corresponden a las versiones más antiguas de cada sistema que son capaces de hacer funcionar este programa. Sin embargo, hay también una limitación común para todos los sistemas operativos referente al Hardware mínimo con el que Docker es capaz de funcionar para poder crear las máquinas virtuales, esta limitación corresponde a la RAM mínima de 4GB.

## 5. Instalación

Para completar la instalación de la herramienta CAFE, el usuario debe completar los siguientes pasos:

1. El usuario debe descargarse la versión en la página web del proyecto (<https://www.resilientforest.eu/resources/>) y guardarla en su disco local, dentro de una carpeta con el nombre que él desee (Ejemplo: C:/DSS\_CAFE). En dicha carpeta se almacenará una carpeta comprimida "dss\_cafe.tar.gz".
2. Para completar la instalación de CAFE, se debe descargar e instalar el software Docker (<https://www.docker.com/products/docker-desktop/>) según el equipo que se esté utilizando (Mac, Windows o Linux). Esta herramienta es capaz de ejecutar todas los requisitos y

componentes que conforman CAFE, para evitar que el usuario deba instalar innumerables partes, evitando así el fallo por versión en alguna de ella.

3. Una vez que se tienen Docker y la versión de CAFE, se debe ejecutar en la carpeta donde esté instalada la DSS la consola de comando (cmd) el siguiente comando:

```
docker load < dss_app.tar.gz
```

## 6. Arrancar DSS

Una vez instalada CAFE, cada vez que se quiera utilizar y ejecutar, se debe completar una secuencia de pasos en el cmd:

1. `docker run -e DISPLAY=$DISPLAY -v /tmp/.X11-unix:/tmp/.X11-unix:rw -v %cd%(pwd)/app-data:/app-data -p 5000:5000 --rm -it dss_app /bin/bash`
  2. `python app.py`
- \*("Windows" %cd%)(\IOs" \$)*

Finalmente, para visualizar la interfaz gráfica de la DSS, tienes que ir a tu buscador web y escribir la siguiente dirección en el url:

*localhost:5000*

## 7. Configuración previa

Antes de ejecutar un caso de estudio en CAFE, se debe introducir todas las entradas del modelo que se pretenda utilizar calibrado.

### 7.1 Creación de inputs del modelo y calibración

La parte más difícil de utilizar esta herramienta es saber preparar bien los inputs que necesita todos los modelos para ser ejecutados. Es por ello que previo a la utilización de la herramienta se recomienda encarecidamente que los usuarios completen su formación con el propio manual de los modelos.

#### BIOME-BGC\_MuSo

Este modelo puede utilizarse para simular una especie o el comportamiento agregado de varias especies dentro de la misma zona. Recomendamos el uso de este modelo cuando se tienen masas forestales homogéneas y/o plantaciones forestales. Aquí proporcionamos las principales pautas para realizar una simulación con el modelo, pero recomendamos encarecidamente al usuario que revise el manual de usuario disponible en la página web de BIOME-BGC\_MuSo y también proporcionado con el manual de usuario de CAFE.

El uso del modelo sigue tres pasos básicos: i) construcción de los datos de entrada; ii) calibración y validación de los parámetros del modelo; iii) simulación.

Los datos de entrada necesarios para el modelo son:

- Meteorología (Meteorology.txt): series temporales de valores diarios de: Precipitación (cm), Temperatura (°C) (media, máxima y mínima), Radiación solar (W/m<sup>2</sup>día), Déficit de presión de vapor

(Pa) y horas de luz (segundos). Las series temporales deben estar completas, ya que no se permiten huecos ni años sin completar.

- Características físicas del suelo (Soil.txt): textura, capacidad de campo, punto de saturación, punto de marchitamiento y densidad aparente de las 10 capas del suelo.
- Características del lugar (.init): Latitud, elevación, albedo y rango de temperatura anual.
- Valores anuales de CO<sub>2</sub> (CO2.txt) y deposición de N (Ndep.txt) (ppm).
- Parámetros ecofisiológicos de la especie (.epc). Este archivo incluye más de 100 parámetros que deben ser calibrados y validados para asegurarse de que representan correctamente el comportamiento de la especie.

Una vez construidas las entradas, hay que calibrar y validar los parámetros (archivo ".epc"). Al realizar este paso, el usuario debe saber si el sistema forestal simulado es una plantación, que se simulará desde el mismo momento de la plantación, o si se trata de un bosque natural. En el caso de una plantación forestal, el usuario debe proporcionar el contenido de C por planta, y con la densidad de árboles de la plantación transformar este KgC/árbol en KgC/m<sup>2</sup>. Esta cantidad se dividirá entre 6 y el resultado se incluirá en la sección CN\_STATE del archivo ".ini" (véase la figura 4). Posteriormente, el usuario calibrará los parámetros ecofisiológicos deseados comparando los datos simulados con los observados.

```

CN_STATE
0.00026                (kgC/m2) first-year maximum leaf carbon
0.00026                (kgC/m2) first-year maximum fine root carbon
0.00026                (kgC/m2) first-year maximum fruit carbon
0.00026                (kgC/m2) first-year maximum softstem carbon
0.00026                (kgC/m2) first-year maximum live woody stem carbon
0.00026                (kgC/m2) first-year maximum live coarse root carbon
    
```

Figura 4. Grupos C del archivo ".ini" que hay que modificar al simular una plantación forestal.

Cuando se trabaja con un bosque natural, el usuario debe ejecutar primero una simulación "spin up" (en otras palabras, auto-inicialización, o ejecución de equilibrio), que comienza con un nivel inicial muy bajo de carbono y nitrógeno del suelo, y se ejecuta hasta que se alcanza un estado estacionario con el clima con el fin de estimar los valores iniciales de las variables de estado (en su mayoría reservas de carbono y nitrógeno del suelo, incluyendo la materia orgánica recalcitrante del suelo, siendo esta última la principal fuente de mineralización del nitrógeno en el modelo). Para ejecutar una simulación spin up se debe activar una bandera ubicada en la sección TIME\_DEFINE del archivo ".ini" (ver Figura 5). La calibración del modelo suele realizarse durante la simulación normal, en la que el usuario debe comparar los datos simulados y los observados y modificar los parámetros en consecuencia.

```

TIME_DEFINE
36                (int) number of simulation years
2004              (int) first simulation year
0                (flag) 1 = spinup run; 0 = normal run
6000             (int) maximum number of spinup years
    
```

Figura 5. Sección TIME\_DEFINE del archivo ".ini" que permite al usuario establecer el número de años de simulación, el primer año de simulación y cambiar entre simulación normal y spin up.

La comparación de los datos simulados y observados puede ser diaria, mensual y/o anual. El usuario debe especificar las salidas que imprimirá el modelo y en qué paso de tiempo (véase la figura 6). Se especifica en el fichero ".ini", y el número de variables de salida (primera línea) en cada resolución temporal deseada debe ser igual al número de las variables seleccionadas, de lo contrario el modelo no funcionará. Además, para asegurar la conexión entre CAFE y BIOME, el nombre de las variables debe ser el especificado en el modelo. Las variables, sus códigos y nombres se encuentran en el fichero "output\_map\_init.C" situado en la carpeta "src" del modelo.

DAILY_OUTPUT	
14	number of daily output variables
3002	outflow
2604	vwc03-10cm
2605	vwc10-30cm
2606	vwc30-60cm
307	leafc
319	livestemc
159	soilw_evap
101	percolation
171	evapotransp
3009	daily_gpp
325	livecrootc
2520	proj_lai
170	transp_SUM
94	precipitation
ANNUAL_OUTPUT	
32	number of annual output variables
3000	annprcp
3001	anntavg
101	anndeepercolation
3002	annrunoff
3003	leaching_root_zone
3050	annET
2734	annmax_lai
3031	cum_Closs_MGM
3032	cum_Cplus_MGM
3045	cum_Closs_SNSC
3046	cum_Cplus_STDB
3058	vegC
3064	totalC
3066	SOM_C_top30
3070	SOM_C_30to60
3071	SOM_C_60to90
3068	NH4_top30
3069	NO3_top30
3061	Total_Soil_C
3100	Net_greenhouse_gas_balance
3062	Soil_N_Total
3033	cum_Closs_THN_woody
3008	NBP
3023	NEP
3163	LaboveCnsc_nw
3164	LaboveCnsc_w
3159	LDaboveCnsc_nw
3160	LDaboveCnsc_w
3060	litrc
3167	DaboveCnsc_nw
3168	DaboveCnsc_w
3076	frootc_LandD
END_INIT	

Figura 6. Lista de variables de salida en el archivo ".ini" que generará el modelo. Cada variable se nombra con un código numérico (izquierda) y algún texto (derecha).

Normalmente, el modelo no se preocupa de la parte de texto, pero para hacer posible la conexión con CAFE, el texto (o nombre) que describe la variable debe ser el que está escrito en el fichero "output\_map\_init.C" situado en la carpeta "src" del modelo.

Con el modelo calibrado y validado el usuario puede simplemente introducir todas las entradas del modelo en CAFE.

## RHESsys

RHESsys es un modelo semidistribuido que puede utilizarse a escala de parcela, de cuenca o de semicuenca y con diferentes especies y estratos verticales. Recomendamos este modelo cuando el usuario quiera incluir la vegetación y/o la heterogeneidad topográfica del dominio de simulación. Actualmente el modelo no tiene un manual de usuario, pero la información de uso se puede encontrar en <https://github.com/RHESsys/RHESsys/wiki>. Aquí proporcionamos las principales pautas para preparar las entradas necesarias y para ejecutar el modelo, pero recomendamos encarecidamente visitar la página web y revisar toda la información.

Para la preparación de los datos de entradas, RHESsys necesita las siguientes entradas:

- 1.- Worldfile y Flowtable
- 3.- Archivo Def y Header
- 4.- Archivo Tec
- 5.- Datos climáticos
- 6.- Archivos de definición de parámetros

Todos ellos son archivos txt que se construyen de diferentes maneras. Los dos primeros (worldfile y flowtable) se construyen utilizando el paquete RHESsysPreprocessing (<https://github.com/RHESsys/RHESsysPreprocessing>), mientras que el resto son simplemente archivos txt que se pueden desarrollar manualmente.

### **Worldfile y Flowtable**

Estos dos archivos contienen información biofísica importante de su sitio de modelización. Por un lado, el Worldfile contiene las características biofísicas (topografía, agua, estado de C y N) del sitio de estudio, que se divide en Cuenca, Ladera, Zona, Rodales y finalmente Estrato. Por otro lado, la Tabla de Flujo describe el enrutamiento del flujo entre los elementos anteriores.

Para construir ambas entradas es necesario un MDT inicial. El MDT se utilizará para desarrollar los siguientes mapas (ascii raster):

1. Pendiente (%): hay muchos programas que se pueden utilizar para desarrollar este mapa: ArcMap, GRASS, QGIS, SAGA o RStudio (library(tmap)).
2. Aspecto (grados): hay muchos programas que se pueden utilizar para desarrollar este mapa: ArcMap, GRASS, QGIS, SAGA o RStudio (library(tmap)).
3. Mapa mundial (world map): representará todo el dominio del sitio de estudio, y es un raster con valor 1 para el dominio, y -9999 para el exterior del dominio de simulación.
4. Mapa de cuencas: es un raster que define las cuencas de la simulación, cada cuenca debe tener un ID (número) único. Se puede elaborar utilizando ArcMap, GRASS, QGIS o SAGA.
5. Mapa de la red de arroyos. Puede desarrollarse utilizando ArcMap, GRASS, QGIS o SAGA. Para ello, primero se debe realizar el mapa de acumulación de caudales. Luego, el mapa de arroyos debe tener valor 1 para representar los arroyos, y 0 para el resto del dominio.

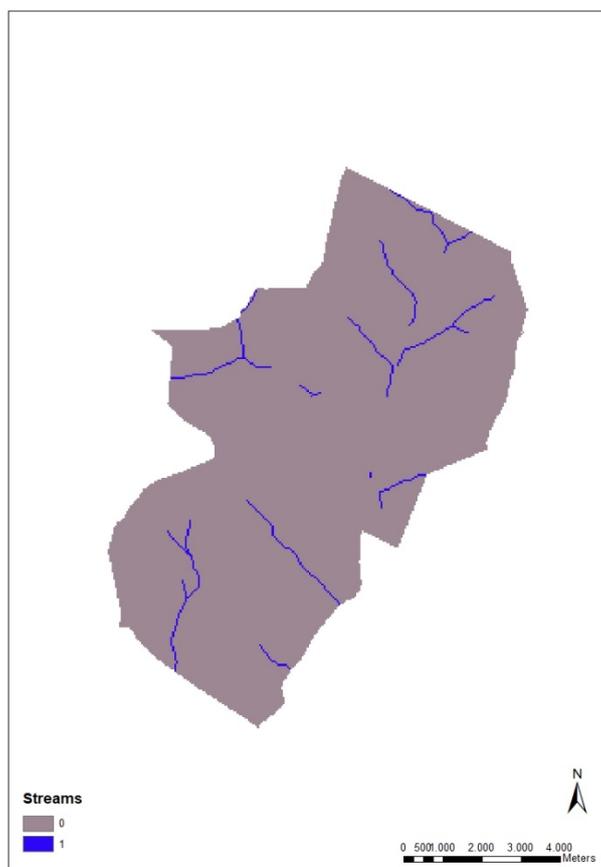


Figura 7. Ejemplo de mapa de red de arroyos

6. Mapa de laderas. Se trata de un mapa de subcuenca, y puede desarrollarse utilizando ArcMap, GRASS, QGIS o SAGA. Es importante que cada ladera tenga un ID único, de lo contrario los resultados de la simulación pueden dar lugar a confusión.

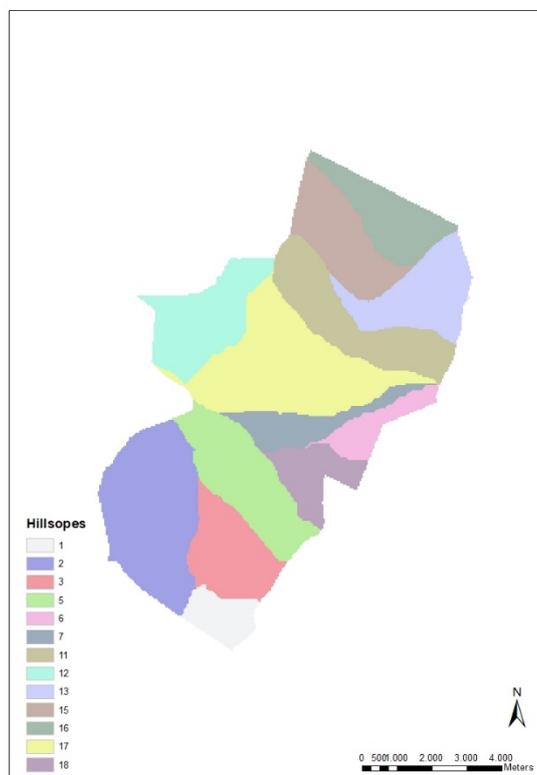


Figura 8. Ejemplo de mapa de laderas.

7. Mapa de zonas: define las diferentes orientaciones (y, por tanto, la radiación) y las tasas de lapso de precipitación dentro del dominio de simulación. El mapa de laderas puede utilizarse aquí también como mapa de zonas.

8. Mapa de rodales: este mapa representa las unidades de trabajo forestal que se introducirán en la herramienta DSS, y tiene que ser desarrollado por el usuario. Una vez hecho, tiene que combinarse con el mapa de laderas, ya que cuando un parche cae en diferentes laderas, RHESys dividirá el parche en tantas laderas como caiga, y generará este mismo número de parches, pero con el mismo ID de parche. Para evitar esta confusión, es importante que el mapa de parches inicial tenga un ID único para cada parche. Posteriormente, utilizando cualquier calculadora ráster (ArcMap, QGIS, R, etc.), el usuario multiplica el mapa de laderas y de parches, y obtendrá un mapa de parches con ID único, ya que el parche que cae en diferentes laderas será ahora dividido multiplicando cada parte por su ladera correspondiente.

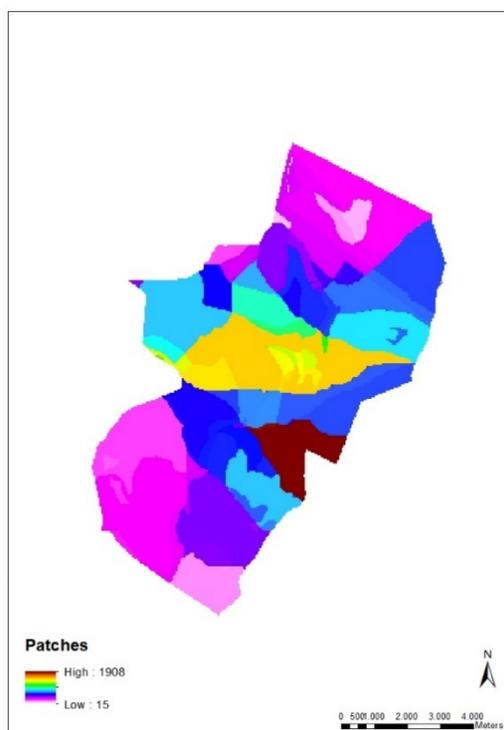


Figura 9. Ejemplo de mapa de rodales.

9. Horizontes Este y Oeste: se puede desarrollar utilizando el MDT como entrada en QGIS o GRASS.
10. Número de estratos verticales de vegetación que el usuario quiere simular.
11. Mapas de cobertura de dosel y fracción de hueco (de 0 a 1) para cada estrato. Ambos valores no tienen que sumar necesariamente 1.
12. Mapa de vegetación, usando números como IDs, que se convertirán en los IDs en los archivos de definición.
13. Mapa de tipos de suelo, utilizando números como IDs, que se convertirán en los IDs en los archivos de definición.

Todos los mapas deben tener la misma resolución, sistema de proyección y dimensiones. Una vez desarrollados todos los mapas, tanto el Worldfile como el Flowtable, se construyen utilizando el paquete RHESSysPreprocessing. Aquí presentamos un ejemplo de script R para construir ambas entradas:

```
library(RHESSysPreprocessing)
setwd("my directory")
RHESSysPreprocess(
  template="my_watershed.txt",
  name="name of your results",
  type = "Raster",
  typepars="path to the maps",
  streams = "name of the stream map",
```

```

overwrite = TRUE,
roads = NULL,
impervious = NULL,
roofs = NULL,
header = FALSE,
unique_strata_ID = TRUE,
seq_patch_IDs = TRUE,
output_patch_map = TRUE,
fire_grid_out = FALSE,
parallel = TRUE,
make_stream = 4,
wrapper = TRUE)
    
```

Como resultado, el Worldfile y el Flowtable se generan con el nombre indicado en: name=" nombre de sus resultados ". Puede encontrar más información sobre el uso de este paquete en: <https://github.com/RHESSys/RHESSysPreprocessing>.

### Def y Header

Los archivos Def son todos los archivos que componen los parámetros de suelo y de vegetación. Estos archivos son los que posteriormente se incluyen en el fichero Header para que el modelo pueda emplearlos. Este archivo Header es un txt donde se deben especificar las rutas a todos los archivos de Def. Aquí presentamos un ejemplo de archivo de cabecera:

```

1 num_basin_default_files
/mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/defs/basin1.def basin_default_file
1 num_hillslope_default_files
/mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/defs/hill1.def hillslope_default_file
1 num_zone_default_files
/mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/defs/zone1.def zone_default_file
2 num_soil_default_files
/mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/defs/soil/1.def soil_default_file
/mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/defs/soil/2.def soil_default_file
1 num_landuse_default_files
/mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/defs/lu_ag.def landuse_default_file
2 num_stratum_default_files
/mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/defs/veg_pine_2853.def stratum_default_file
/mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/defs/veg_conifer2.def stratum_default_file
/mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/defs/veg_chap_af.def stratum_default_file
1 num_base_stations_files
/mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/clim/daily.base basestations_file
    
```

El usuario puede copiar este mismo texto en un archivo txt y modificarlo según las entradas y rutas adecuadas.

### Tecfile

Este archivo se utiliza para establecer acciones que van a ocurrir en distintas fechas:

- 1- Fecha para empezar a imprimir los resultados.
- 2- Fecha para imprimir un Worldfile de salida, que podría utilizarse para simulaciones encadenadas.
- 3- Fecha para modificar el Worldfile con el fin de simular la gestión forestal, las plagas, etc. Esta modificación se realiza escribiendo `redefine_world`. El siguiente ejemplo muestra un Tecfile donde las primeras cinco líneas corresponden a la impresión de los resultados, las líneas 6 y 7 representan

una modificación en el Worldfile, siendo 7 la gestión forestal, y la última línea implica la escritura de un Worldfile.

```
1999 01 20 1 print_daily_on
1999 01 20 2 print_daily_growth_on
1999 01 20 3 print_monthly_on
1999 01 20 4 print_yearly_on
1999 01 20 5 print_yearly_growth_on
2002 01 15 1 redefine_world
2002 01 15 2 redefine_world_thin_remain
2002 01 15 3 output_current_state
```

### Climatic

Esta entrada consiste en los datos climáticos más un archivo .base con información sobre la estación meteorológica y la ruta a todos los datos climáticos. Cada variable climática se almacena en un único archivo txt, cuya primera línea corresponde a la fecha de inicio de la serie temporal. Aquí presentamos un ejemplo de precipitación diaria (m):

```
1999 1 20 1
0.0002
0.0005
0.0011
0.0001
0
0
0
0
0
0
0.0001
```

RHESSys requiere al menos series temporales diarias de precipitación y temperatura (máxima y mínima). Sin embargo, la introducción de datos diarios de radiación solar, déficit de presión de vapor y velocidad del viento mejora significativamente los resultados.

El archivo .base define el ID de la estación (que debe ser el mismo que el del Worldfile) entre otras variables de la estación. Posteriormente, el archivo debe contener las variables climáticas y sus rutas. El siguiente ejemplo muestra el formato de este archivo, que puede copiarse de nuevo en un archivo txt y modificarse según las entradas adecuadas.

```
101 base_station_ID
0 x_coordinate
0 y_coordinate
714 z_coordinate
2.5 effective_lai
2 screen_height
annual annual_climate_prefix
0 number_non_critical_annual_sequences
monthly monthly_climate_prefix
0 number_non_critical_monthly_sequences
/mnt/c/RHESSYS/Serra/clim/moncada_daily1 daily_climate_prefix
3 number_non_critical_daily_sequences
vpd /mnt/c/RHESSYS/Serra/clim/moncada_daily1.vpd
Kdown_direct /mnt/c/RHESSYS/Serra/clim/moncada_daily1.Kdown_direct
wind /mnt/c/RHESSYS/Serra/clim/moncada_daily1.wind
```

hourly hourly\_climate\_prefix  
0 number\_non\_critical\_hourly\_sequences

### Parameter Definition

Los elementos Cuenca, Ladera y Zona (Basin, Hillslope and Zone) necesitan un archivo de definición. Los archivos de definición establecerán algunas de las características físicas de estos elementos. Por otro lado, tanto la vegetación como el suelo también necesitan archivos de definición. Habrá un archivo de definición por tipo de vegetación que establecerá las características ecofisiológicas de la especie. Estas características se establecen como parámetros y son susceptibles de calibración hasta que la dinámica de la vegetación coincida con los datos observados. En cuanto al suelo. También habrá un archivo de definición por tipo de suelo que establecerá sus características físicas. Entre las más influyentes están la conductividad hidráulica saturada, la porosidad del suelo (y su decaimiento) y el decaimiento de la conductividad hidráulica saturada con el déficit de saturación. Para más información, consulte <https://github.com/RHESSys/RHESSys/wiki/Parameter-Definition-Files#soil-definition-file-parameters>.

Una vez preparadas todas estas entradas, el usuario está listo para ejecutar RHESSys. El modelo se ejecuta en entornos IOs o Unix. Así que si se ejecuta RHESSys desde Windows es necesario instalar el sistema WSL (<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/wsl/install>). Sin embargo, si se ejecuta RHESSys desde CAFE no es necesario tener en cuenta ninguna de estas consideraciones, ya que se puede utilizar directamente desde CAFE tanto en entorno IOs, Windows o Unix.

Para ejecutar el modelo es necesario construir una línea de comandos para especificar dónde están los archivos de entrada, la carpeta de salida, el tiempo de inicio y fin de la simulación y otras opciones. El usuario puede construir esta línea de comando en un archivo txt como este:

```
#!/bin/sh
cd /mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/scripts/
/mnt/c/RHESSYS/RHESSys-develop_July_2022/rhessys/rhessys7.4 -w
/mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/worldfiles/Serra_grided.txt.WORLD -whdr
/mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/hdr/Serra9.hdr -t
/mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/tecfiles/tecDIV.REDEF -r
/mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/flowtables/Serra_grided.txt.FLOW -st 1999 01 20 1 -ed 2019 01 20 5
-pre /mnt/c/RHESSYS/Serra/Divalterra/out_dev/p_ini -gw 5 0.2 -g -climrepeat
```

Esta línea de comandos también se puede construir utilizando RStudio (Paquete RHESSysIOinR disponible en RHESSys Github) o directamente en CAFE, donde el usuario encontrará la casilla adecuada para indicar dónde se encuentra el worldfile, la cabecera, el tecfile, el flowtable y la carpeta de salida. Esta línea de comandos se ejecuta desde CAFE, WSL o RStudio para ejecutar el modelo, y los resultados son archivos txt con variables diarias, mensuales y/o anuales (paso de tiempo especificado en el tecfile) que pueden ser analizados usando RStudio, Excel o cualquier otro software con el que el usuario se sienta cómodo. El proceso de calibración y validación es similar al de cualquier otro modelo ecohidrológico, se basa en comparar las variables simuladas con las observadas y ajustar los parámetros del modelo para que los resultados de la simulación se aproximen lo más posible a los datos observados.

### Tetis

Este modelo eco-hidrológico calcula los flujos de agua y sedimentos así como la evolución de la biomasa de vegetación en un entorno distribuido, pero en la versión instalada no los flujos de C ni de N (véase la figura 7). Por lo tanto, recomendamos el uso de TETIS para la cuantificación del agua y/u optimización.

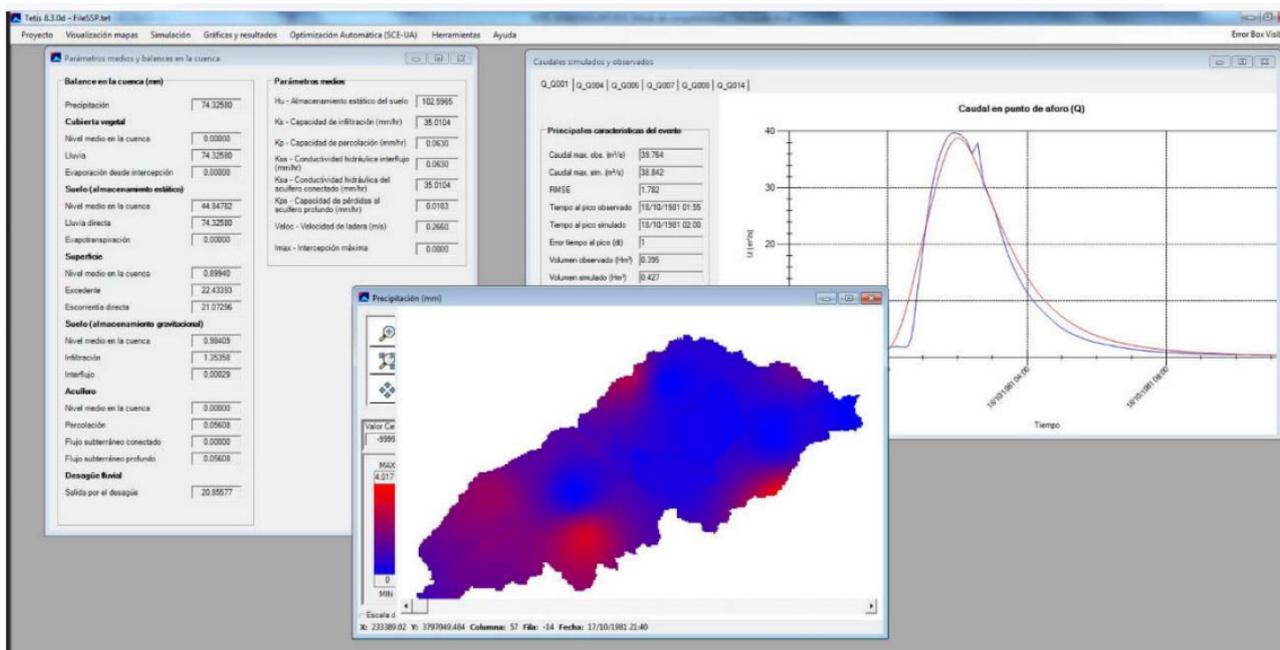


Figura 10. Captura de pantalla de TETIS, mostrando los valores medios de los parámetros y el balance hidrológico en la cuenca, precipitación distribuida (centro), y series temporales de caudales simuladas y observadas para varios puntos de control (derecha).

El manual proporcionado explica de forma muy detallada cómo preparar las entradas en forma de ficheros ascii (pudiendo utilizarse una interface propia) y ejecutar el modelo. Según este manual, el programa se basa en la filosofía de crear un proyecto y un conjunto de herramientas útiles para la modelización hidrológica de una cuenca.

Las herramientas en las que se basa TETIS v.9.1 son:

- i) Creación de un archivo único con la información topológica y eco-hidrológica, específica a cada celda con respecto a sus parámetros y variables de estado. Este fichero suele llamarse por defecto TOPOLCO.SDS.
- ii) Generación de un estado inicial de los almacenamientos iniciales en todos los tanques de cada celda (incluyendo el canal y la biomasa vegetal). Este estado inicial puede ser el mismo para toda la cuenca o puede ser el estado final obtenido en un periodo anterior a la simulación.
- iii) Establecer el contenido inicial de agua equivalente en las zonas (celdas) donde hay nieve, por interpolación de valores puntuales. Este modelo permite seleccionar la superficie cubierta de nieve en el momento inicial.
- iv) Recortar parte de la cuenca, reduciendo así el tiempo de cálculo y facilitando el uso de algoritmos de optimización automática. Esta reducción de información se incluyó para eliminar zonas de

embalses aguas arriba que afectan a los resultados aguas abajo, con lo cual queda solamente la posición de la presa como un punto de caudal adicional a introducir en el fichero de evento.

v) La simulación de eventos de inundación y simulación continua utilizando el modelo TETIS. El programa permite una calibración manual de los factores de corrección de los parámetros hidrológicos y del resto de parámetros utilizados.

vi) Calibración automática de los factores correctores, del resto de parámetros y del estado inicial de una buena parte de las variables de estado, mediante la técnica de optimización utilizando el algoritmo SCE-UA.

Los ficheros necesarios y sus formatos para ejecutar TETIS se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2: Principales características de los ficheros utilizados por el modelo TETIS. En **negrita** los archivos mínimos necesarios para la ejecución del programa.

FILE NAME	Required for initial implementation (Yes/No)	Generated by TETIS (Yes/No)	Format Type
FILESSP.TET	Yes	Yes	Text
FILESVEG.TXT	Yes	Yes	Text
PARAMGEO.TXT	Yes	Yes	Text
SETTINGS.TXT	Yes	Yes	Text
CALIB.TXT	Yes	Yes	Text
TOPOLCO.SDS	No	Yes	Cell per row
HANTEC.SDS	No	Yes	Cell per row
FACTORETMES.TXT	Yes	Yes	Text
CURVASHV.TXT	Yes(if there are reservoirs)	No	Text
Fichero entrada.txt	Yes	No	Col/CEDEX
HANTEC2.SDS	No	Yes	Cell per row
Fichero salida.txt	No	Yes	Col/CEDEX
NIEVE.ASC	Yes(if there is snow)	Yes	Ascii grid
NIEVE2.ASC	No	Yes	Ascii grid
MED.ASC	Yes	No	Ascii grid
HU.ASC	Yes	No	Ascii grid
KS.ASC	Yes	No	Ascii grid
KP.ASC	Yes	No	Ascii grid
KSS.ASC	Yes	No	Ascii grid
KSA.ASC	Yes	No	Ascii grid
KPS.ASC	Yes	No	Ascii grid
VEL.ASC	Yes	No	Ascii grid
HSTAR.ASC	Yes	No	Ascii grid
COBVEG.ASC	Yes (including variable ET)	No	Ascii grid
SLOPE.ASC	Yes	No	Ascii grid
DIRFLUJO.ASC	Yes	No	Ascii grid
ACUM.ASC	Yes	No	Ascii grid
CONTROL.TXT	No	Yes	Text
RECORTA.TXT	Yes (if there are reservoirs)	No	Text
REGHOMOG.ASC	Yes (if there are homogeneous regions)	No	Export. ArcGis
VAR-SCEUA.TXT	No	Yes	Text
RES-SCEUA.TXT	No	Yes	Text
RAD01.ASC	Si (si hay nieve distribuida)	No	Ascii grid
KARST.ASC	Si (si hay karst)	No	Ascii grid
MANANTIALES.TXT	Si (si hay karst)	No	Ascii grid
MULTIPLE.TXT	No	No	Text
MULTICALIB.TXT	No	No	Text
UMBRALESQ.TXT	No	No	Text
MULTIEVENTO.TXT	No	Yes	Col/CEDEX
WARNINGHANTEC.TXT	No	Yes	Text

## 7.2 Introducir casos propios a CAFE

La forma de introducir los casos de estudios propios a la herramienta CAFE, debe hacerse creando una carpeta raíz que albergue toda la información del modelo que se utilice. Esta carpeta puede llamarse como el usuario quiera (Ejemplo: Caso\_Madrid). Dentro de esta carpeta debe contener la información propia del modelo que se pretenda ejecutar. Cuando esta carpeta esté completa y con la estructura que debe tener como se verá para cada modelo, debe incluirse en la carpeta de Docker "Own\_data", de este modo podrá emplearse esos directorios en la interfaz de la DSS.

### Caso Biome

Si se pretenden montar un caso de estudio con el modelo BIOME, los archivos que necesitan que estén en esta carpeta raíz del caso montado, son todos los archivos que aparecen en el fichero .ini:

-----  
BBGCMuSo simulation

MET\_INPUT

Clim\_gen1.txt (filename) met file name  
4 (int) number of header lines in met file  
0 (int) number of simdays in last simyear (truncated year: <= 365)

RESTART

0 (flag) 1 = read restart; 0 = dont read restart  
1 (flag) 1 = write restart; 0 = dont write restart  
hhs\_MuSo4.endpoint (filename) name of the input restart file  
hhs\_MuSo5.endpoint (filename) name of the output restart file

TIME\_DEFINE

30 (int) number of simulation years  
2000 (int) first simulation year  
0 (flag) 1 = spinup run; 0 = normal run  
6000 (int) maximum number of spinup years

CO2\_CONTROL

1 (flag) 0=constant; 1=vary with file  
290.0 (ppm) constant atmospheric CO2 concentration  
CO2.txt (filename) name of the CO2 file

NDEP\_CONTROL

1 (flag) 0=constant; 1=vary with file  
0.000200 (kgN/m2/yr) wet+dry atmospheric deposition of N  
Ndep.txt (filename) name of the N-dep file

SITE

181.0 (m) site elevation  
43.30 (degrees) site latitude (- for S.Hem.)  
0.20 (DIM) site shortwave albedo  
15.00 (Celsius) mean annual air temperature  
9.96 (Celsius) mean annual air temperature range  
0.50 (prop.) proportion of NH4 flux of N-deposition

SOIL\_FILE

hhs soi (filename) SOIL filename

EPC\_FILE

pira.epc (filename) EPC filename

MANAGEMENT\_FILE

management.txt (filename) MGM filename (or "none")

SIMULATION\_CONTROL

0 (flag) phenology flag (1 = MODEL PHENOLOGY 0 = USER-SPECIFIED PHENOLOGY)  
1 (flag) vegper calculation method if MODEL PHENOLOGY is used (0: original, 1: GSI)

0 (flag) transferGDD flag (1= transfer calc. from GDD 0 = transfer calc. from EPC)  
 0 (flag) q10 flag (1 = temperature dependent q10 value; 0= constans q10 value)  
 0 (flag) acclimation flag of photosynthesis (1 = acclimation 0 = no acclimation)  
 0 (flag) acclimation flag of respiration (1 = acclimation 0 = no acclimation)  
 0 (flag) CO2 conductance reduction flag (0: no effect, 1: multiplier)  
 0 (flag) soil temperature calculation method (0: Zheng, 1: DSSAT)  
 0 (flag) soil hydrological calculation method (0: Richards, 1: tipping DSSAT)  
 1 (int) discretization level of soil hydr.calc.[Richards-method] (0: low, 1: medium, 2: high)  
 0 (flag) photosynthesis calculation method (0: Farquhar, 1: DSSAT)  
 0 (flag) evapotranspiration calculation method (0: Penman-Montieth, 1: Priestly-Taylor)  
 0 (flag) radiation calculation method (0: SWabs, 1: Rn)  
 1 (flag) soilstress calculation method (0: based on VWC, 1: based on transp. demand)

W\_STATE

0.0 (kg/m2) water stored in snowpack  
 1.0 (DIM) initial soil water as a proportion of field capacity

CN\_STATE

0.00003000 (kgC/m2) first-year maximum leaf carbon  
 0.00003000 (kgC/m2) first-year maximum fine root carbon  
 0.00003000 (kgC/m2) first-year maximum fruit carbon  
 0.00003000 (kgC/m2) first-year maximum softstem carbon  
 0.00003000 (kgC/m2) first-year maximum live woody stem carbon  
 0.00003000 (kgC/m2) first-year maximum live coarse root carbon  
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 (kgC/m2) coarse woody debris carbon  
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 (kgC/m2) litter carbon, labile pool  
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 (kgC/m2) litter carbon, unshielded cellulose pool  
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 (kgC/m2) litter carbon, shielded cellulose pool  
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 (kgC/m2) litter carbon, lignin pool  
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 (kgC/m2) soil carbon, fast microbial recycling pool  
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 (kgC/m2) soil carbon, medium microbial recycling pool  
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 (kgC/m2) soil carbon, slow microbial recycling pool  
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 (kgC/m2) soil carbon, recalcitrant SOM (slowest)  
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 (kgN/m2) litter nitrogen, labile pool  
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 (kgN/m2) soil mineralized nitrogen, NH4 pool  
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 (kgN/m2) soil mineralized nitrogen, NO3 pool

CLIM\_CHANGE

0.0 (degC) - offset for Tmax  
 0.0 (degC) - offset for Tmin  
 1.0 (degC) - multiplier for PRCP  
 1.0 (degC) - multiplier for VPD  
 1.0 (degC) - multiplier for RAD

CONDITIONAL\_MANAGEMENT\_STRATEGIES

0 (flag) conditional mowing ? 0 - no, 1 - yes  
 0.0 (m2/m2) fixed value of the LAI before MOWING  
 0.0 (m2/m2) fixed value of the LAI after MOWING  
 0.0 (%) transported part of plant material after MOWING  
 0 (flag) conditional irrigation? 0 - no, 1 - yes  
 0.0 (prop) SMSI before cond. IRRIGATION (-9999: SWCratio is used)  
 0.0 (prop) SWCratio of rootzone before cond. IRRIGATION (-9999: SMSI is used)  
 0.0 (prop) SWCratio of rootzone after cond. IRRIGATION  
 0.0 (kgH2O/m2) maximum amount of irrigated water

OUTPUT\_CONTROL

Out\_simulation (filename) output prefix  
 2 (flag) writing daily output (0 = no; 1 = binary; 2 = ascii; 3 = on-screen)  
 0 (flag) writing monthly average of daily output (0 = no; 1 = binary; 2 = ascii; 3 = on-screen)  
 0 (flag) writing annual average of daily output (0 = no; 1 = binary; 2 = ascii; 3 = on-screen)  
 2 (flag) writing annual output (0 = no; 1 = binary; 2 = ascii; 3 = on-screen)  
 1 (flag) for on-screen progress indicator

DAILY\_OUTPUT

18 number of daily output variables  
 3002 outflow  
 2604 vwc03-10cm  
 2605 vwc10-30cm  
 2606 vwc30-60cm  
 159 soilw\_evap  
 101 percolation  
 171 evapotransp  
 3009 daily\_gpp  
 2520 proj\_lai  
 3100 Net\_greenhouse\_gas\_balance  
 310 frootc  
 316 softstemc  
 319 livestemc  
 325 liverootc  
 307 leafc  
 170 transp\_SUM  
 3023 NEP  
 94 precipitation

ANNUAL\_OUTPUT

28 number of annual output variables  
 3000 annprcp  
 3001 anntavg  
 101 anndeeppercolation  
 3002 annrunoff  
 3003 leaching\_root\_zone  
 3050 annET  
 2734 annmax\_lai  
 3031 cum\_Closs\_MGM  
 3032 cum\_Cplus\_MGM  
 3045 cum\_Closs\_SNSC  
 3046 cum\_Cplus\_STDB  
 3058 vegc  
 3064 totalc  
 3066 SOM\_C\_top30  
 3070 SOM\_C\_30to60  
 3071 SOM\_C\_60to90  
 3068 NH4\_top30  
 3069 NO3\_top30  
 3061 Total\_Soil\_C  
 3100 Net\_greenhouse\_gas\_balance  
 3062 Soil\_N\_Total  
 3033 cum\_Closs\_THN\_woody  
 3008 NBP  
 3023 NEP

3163  
3164  
3159  
3160

LaboveCnsc\_nw  
LaboveCnsc\_w  
LDaboveCnsc\_nw  
LDaboveCnsc\_w

END\_INIT

---

Todos los archivos que necesita este modelo son los que están en este fichero y que tienen que tener el mismo nombre y extensión reflejados en el archivo .ini. Además, el archivo .ini debe estar en la misma carpeta que los otros ficheros.

Por último, se debe incluir también el fichero THINNING.txt que es el que en el archivo management.txt especifica las características de la actuación y que posteriormente la optimización irá modificando en cada iteración.

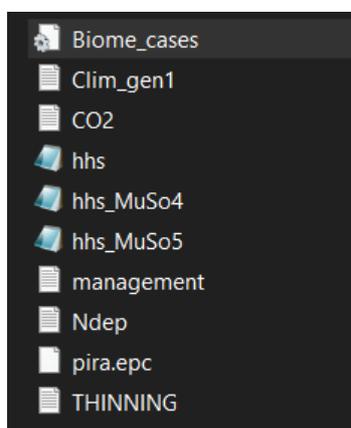


Figura 11. Estructura de caso BIOME.

Una vez en la interfaz, solo habrá que dar el directorio del caso de estudio (Ej: Caso\_Madrid) que tiene extensión .ini:

*/Own\_Data/Caso\_madrid/Biome\_cases.ini*

Con esta dirección y con todos esos archivos la simulación puede ejecutarse desde CAFE.

### Caso RHESsys

Si se pretende montar un caso de estudio para emplear el modelo RHESsys, se debe crear una carpeta raíz con el nombre del caso de estudio (Ej: Caso\_Barcelona) que debe contener la estructura que el propio modelo emplea para ser ejecutado y creado. Se aconseja que todos los ficheros creados en las distintas partes vistas en punto anterior, se alberguen en carpetas con la información estructurada por bloques: clim, defs, flowtables, hdr, out, tecfiles, worldfiles, scripts. De este modo, puedes ver que toda la información está completa y correcta de forma más fácil.

Sin embargo, para ser lanzado en la interfaz y que posteriormente muestre el mapa de rodales y sus actuaciones, se debe crear una carpeta extra al uso del modelo RHESsys sin el uso de la DSS CAFE que es el que alberga los archivos shapefile. Esta carpeta es "maps" y aquí debe haber un archivo vectorial .shp y sus acompañantes que se llame "patches" y que contenga un atributo como columna "Stand", donde se ponga el ID de los rodales que aparece en el fichero Worldfile para

posteriormente mapear la intensidad de claras. Importante no olvidar que el sistema de referencia de este archivo debe estar en WGS84 (EPSG:4326).

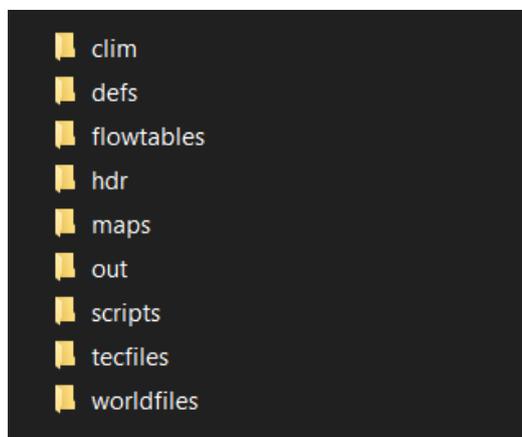


Figura 12. Estructura de caso RHEssys.

### Caso Tetis

Para generar el caso de estudio en Tetis, se debe hacer una carpeta con toda la información del caso de estudio como si se fuera a ejecutar de forma independiente el modelo de simulación. Posteriormente, para ejecutarlo desde la DSS, esta carpeta debe estar contenida en otra principal que además tenga dos ficheros ascii que sea la distribución de rodales (Forest Working Unit), la carpeta que contiene todo el caso de Tetis puede llamarse como quiera (ejemplo: Second\_folder).

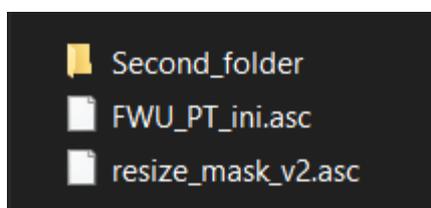


Figura 13. Estructura de caso Tetis.

Para ejecutar Tetis, con la DSS tiene que ejecutarse el ejecutable “Tetis\_v2b\_DSS” que se encuentra en la carpeta de ejemplo de Tetis y que debe de copiarse en el caso propio que el usuario monte. Para hacer esta operación se debe ejecutar comandos Linux de copiar elemento entre directorios.

\*Sección en proceso

## 8. Interfaz

La interfaz gráfica de CAFE está desarrollado en un entorno web. Esto hace que la visualización en todos los ordenadores sea más fácil de mostrar y ajustable a la pantalla de cada uno, al estar codificado en lenguaje HTML. Como se mencionó en el punto 6 “Arrancar DSS”, Una vez ejecutado el contenedor de Docker y tengamos la imagen creada de la herramienta. Solo hay que ejecutar la

función (*python app.py*) lo que hace que en la maquina virtual que se ha creado, lance la parte visual de la DSS. Para abrir y visualizar la interfaz, solo hay que escribir "localhost:5000" (esto está mejor explicado en el punto 6) en explorador web que se tenga en el ordenador.

La interfaz se compone de una ventana principal se compone de dos partes, la parte derecha en la que aparece el logo del Life Resilient Forests y una parte izquierda que alberga 4 secciones (Configuración, Ejecutar, Visualizar y Mapa de claras). Cada sección se abre en la parte derecha (donde el logo), permitiendo realizar los cambios que el usuario determine para utilizar su caso de estudio.

Cada una de las partes que tienen estas secciones se explicará en el siguiente punto (Flujo de trabajo), donde se podrán ver cada uno de los parámetros que aparecen y su apariencia para poder ser modificado con criterio.

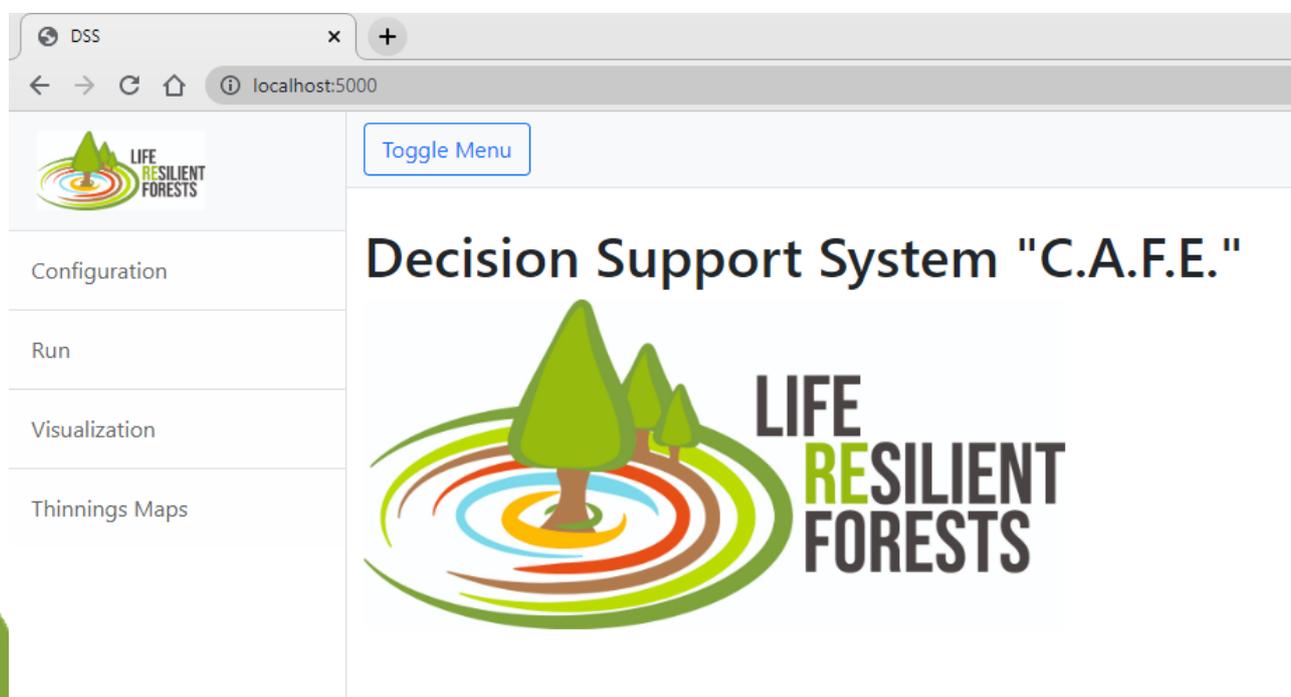


Figura 13. Diseño de la interfaz web

## 9. Flujo de trabajo

La utilización de CAFE conlleva una serie de pasos que el usuario debe de seguir cada vez. En este apartado, se pretende mostrar el flujo de trabajo que debe emplearse para utilizar un caso de estudio propio.

### 1. Arrancar CAFE

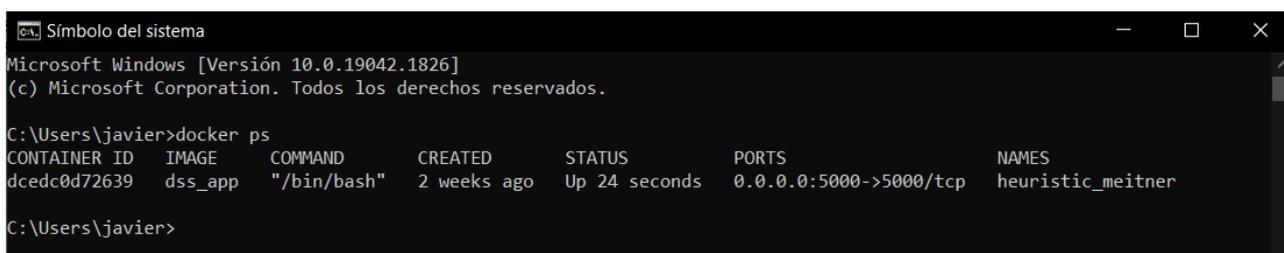
El primer paso que se debe de hacer como es lógico es arrancar CAFE, la realización de esta acción se ha explicado en el punto anterior (punto 6 "Arrancar DSS").

Se aprovecha este punto de paso, para contar algunas peculiaridades de la creación de esta herramienta en el entorno Docker y las ventajas que esto ofrece. Una vez que tienes creada tu máquina virtual en un contenedor, la cual alberga la imagen de la herramienta café, Docker permite

al usuario abrir en paralelo otras máquinas idénticas para poder ejecutar a la vez la herramienta CAFE y ahorrar tiempo. A continuación, se muestra una serie de comandos que permiten arrancar otra máquina en paralelo.

Para lograr esto, se deben de seguir los siguientes pasos:

- 1- Obtener el ID del contenedor la imagen creada de CAFE, para ello se debe escribir en el cmd (desde cualquier directorio) “*docker ps*”



```

Microsoft Windows [Versión 10.0.19042.1826]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\javier>docker ps
CONTAINER ID   IMAGE     COMMAND                  CREATED        STATUS        PORTS                               NAMES
dcedc0d72639   dss_app   "/bin/bash"             2 weeks ago   Up 24 seconds  0.0.0.0:5000->5000/tcp           heuristic_meitner

C:\Users\javier>
    
```

- 2- Ejecutar el mismo contenedor para crear un clon, ello se ejecuta el comando:

*docker exec -it (ID Contenedor) \bin\bash*

## 2. Preparar entradas

### 2.1. Montar casos

Como se ha visto en el Punto 7 (7.1 Creación de inputs del modelo y calibración) de este documento, crear el caso de estudio conlleva preparar los inputs que necesita el modelo que se vaya a emplear y, por tanto, más o menos requisitos y dificultad. Además, de la calibración de los parámetros necesarios para la obtención de unos resultados correctos. De este modo, los valores del área de estudio son acordes y coherentes con la realidad de forma contrastada.

### 2.2. Introducir en DSS

Finalizado el paso previo de crear el caso de estudio con los inputs que el modelo necesita para ser ejecutado y con los parámetros bien calibrados, es el turno de introducir estos archivos en la herramienta. Este paso fue ampliamente desarrollado en el Punto 7 (7.2 Introducir casos propios a CAFE) donde se puede ver cómo debe estar montado el caso de estudio para que la DSS pueda reconocerla y ejecutarlo.

## 3. Configurar

Una vez arrancado CAFE y habiendo guardado nuestro propio caso de estudio, el paso más importante es configurar la ejecución del DSS con los criterios del usuario, y para ello hay que configurar dos partes principales. La primera, es el modelo que se pretenda emplear, que dependiendo de cual sea hay que configurar diferentes parámetros propios de cada uno. Esto son opciones de simulación-optimización que el usuario puede determinar dependiendo su caso de estudio. Cada modelo puede verse en una pestaña propia, que dependiendo de cual se vaya a utilizar se debe de clicar y configurar.

Y la segunda, son los parámetros comunes, que son iguales para todos los modelos y configuran las opciones de optimización de las métricas que vaya a calcular la simulación que el usuario haya preparado



Figura 14. Pestañas de Configuración

### 3.1. Modelos de Simulación

La configuración de CAFE empieza con la introducción de los archivos de entrada que necesita el modelo de simulación que se vayan a emplear, de modo que pueda ejecutarse el caso de estudio con todos los archivos de entrada “inputs” que requiere para ser lanzado.

Seguidamente, los parámetros de configuración de intervención son las opciones que el usuario debe marcar para obtener las actuaciones selvícolas (claras o plantación) oportunas y a los que la DSS tiene que dar respuesta. Según el modelo que se pretenda emplear, se pueden incluir más o menos opciones de acciones forestales (¿Dónde intervenir?, Cuando intervenir?, ¿Cuánto intervenir?, ¿Cómo intervenir?) según se puede ver en la tabla 1.

Tabla 1. Configuración de intervenciones según modelo.

Modelo	Actuaciones Selvícolas	Acciones Forestales
RHESSys	Claras	¿Dónde?, ¿Cuándo?, ¿Cuánto y ¿Cómo?
BIOME-BGC_MuSo	Claras	¿Cuándo? y ¿Cuánto?
	Plantación	¿Cuánto?
Tetis	Claras	¿Dónde? y ¿Cuánto?

Por último, también se pueden configurar las restricciones que se van a utilizar para obtener el plan de gestión. Las restricciones son la forma de limitar las intervenciones en algunos casos. En concreto, actualmente están aplicadas a la intensidad de la intervención cuando la pendiente del terreno sea muy alta y no se quiere tener una clara muy fuerte. Por tanto, se hace que la optimización no pueda aplicar por encima de un cierto umbral que el usuario determina. Esto solo se puede aplicar al modelo RHESSys actualmente.

Finalizados todos los cambios producidos en el modelo que se vaya a emplear, hay que pulsar al final de la pestaña el botón de guardar cambios “Save configuration” antes de abandonar la pestaña.

#### 3.1.1. RHESSys

La configuración del modelo RHESSys se divide en las tres partes que hemos explicado previamente. Además, hay una pestaña extra llamada “Stands” que permite filtrar el área donde se

quiere hacer que la optimización determine las acciones forestales oportunas. Esto se debe a que los casos que se suelen montar en este modelo tienen un gran número de rodales, por lo que es más fácil tener este paso en una pestaña independiente.

## Configuration

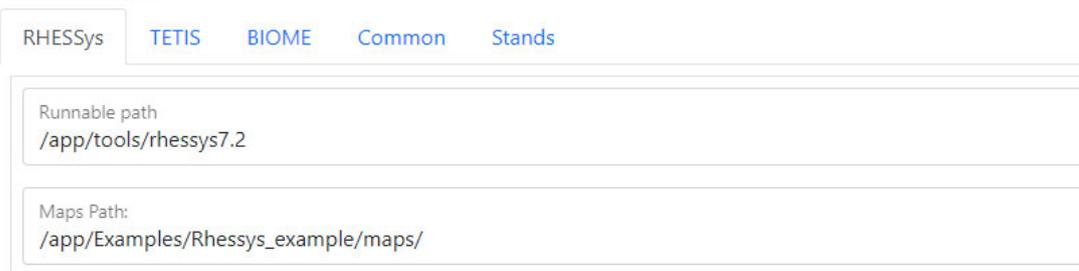


Figura 15. Configuración del modelo RHESSys.

### 3.1.1.1. Simulation Inputs

Esta sección se centra en crear las sentencias de comandos para lanzar RHESSys y el caso práctico preparado. Para ello, se necesita de la multitud de directorios de cada uno de los elementos de entrada que necesita para empezar la simulación. De modo automático aparecen las direcciones del caso de ejemplo, los cuales deben ser sustituidos por la dirección de cada elemento que se haya guardado en la carpeta Own\_Data.

Tabla 2. Comandos y descripción de los parámetros de entrada de RHESSys.

Comando	Descripción
Runnable path	Es la ruta del modelo de simulación RHESSys, de forma automática aparece la versión 7.2 que es la más estable para obtener las métricas que se calculan con este modelo. Esta ruta no debe sustituirse.
Maps Path	Esta dirección es la carpeta que tiene los archivos shapefile de los Stands que permitirá visualizar el mapa de rodales con las actuaciones selvícolas asociadas.
Worldfile (-w)	Es la dirección del archivo Worldfile que define la representación del paisaje dentro de RHESSys, el cual se basa en una estructura jerárquica que describe cada nivel espacial que contiene unidades progresivamente más finas (cuena, ladera, zona, parche, estrato).
Worldfile header (-whdr)	Es la dirección del archivo Worldfile header que contiene todas las rutas de los parámetros de suelo, clima y vegetación.
Tecfile (-t)	Es la dirección del archivo Tecfile que es el control de eventos temporales. Se utilizan para especificar las opciones de salida de impresión por hora, diaria, mensual y año. Además, de permitir redefinir las variables de estado.
Flowtable (-r)	Es la dirección del archivo Flowtable que define la conexión hidrológica entre los distintos elementos espaciales del dominio de simulación.
Start Date: y md h (-st)	Fecha de inicio de simulación que se pretenda emplear y de los cuales se tenga datos climáticos.

End Date: y md h (-ed)	Fecha final de simulación hasta la que se quiere ejecutar el modelo y llegue la serie climática.
Path for output (-pre)	Dirección de los archivos de salida (resultados del modelo)
Optional parameters	Parámetros correctores derivados de la calibración del modelo. Pueden incluirse directamente en los archivos de descripción biofísica del suelo.
Definition files	Archivos que definen los parámetros biofísicos de la ladera, zona, cuenca, vegetación y suelo.
Redefine Worldfile	Modificación del Worldfile que permite simular la gestión forestal.
Initial Worldfile	Worldfile con el que iniciar la simulación, es decir, derivado de la calibración y validación del modelo.
Worldfile path	Dirección al archivo Worldfile.

### 3.1.1.2. Configuración de la intervención

Los parámetros de esta sección hacen referencia a las actuaciones selvícolas (Preguntas, variables de decisión) que el usuario quiere diseñar mediante el DSS. Para este modelo se pueden responder hasta las 4 preguntas que se refieren a las claras a la vez, siendo el modelo que más posibilidades de combinación ofrece al usuario.

**Tabla 3.** Opciones de configuración de las intervenciones en RHESsys

Comando	Descripción
Act on all stand or only on a certain number of stands? (Where?)	Este parámetro tiene dos posibles valores. Por defecto, son todos los posibles rodales "All", por lo que en la optimización el <i>dónde</i> es todo el área de estudio y cada uno de los rodales que la componen. Si por el contrario se selecciona el valor "specific", quiere decir que el <i>dónde</i> será en una/s zona/s concreta/s de rodales.
If Specific stands selected, maximum number of stands in which to act	Este parámetro hace referencia al número máximo de rodales donde se puede intervenir. Y solo tendrá valor si en el parámetro anterior se ha seleccionado "Specific".
What range of thinning intensity? (How much?)	Rango mínimo y máximo de porcentaje de clara (porcentaje de la masa a aclarar) para que la optimización explore y encuentre el valor óptimo. El paso entre valores va de 10 en 10. Siendo el mínimo 10, y el máximo 100.
At what level do you want to intervene? (How?)	Es el tipo de intervención que se quiere realizar, y puede ser de dos tipos. A nivel de Rodal "Stand", sin distinguir entre los estratos de vegetación, o por estrato "Stratum", que sí distingue los estratos

	verticales (árbol, arbusto, herbáceo) dentro de un mismo rodal.
Number of interventions? (When?) el número mínimo es 1.	Se trata del numero de claras que se vayan a ejecutar a lo largo del periodo de simulación.
Year since start simulation for first thinning	Número de años desde el inicio de la simulación sobre la que se aplica la primera intervención. Si en el apartado anterior el número es “1”, solo se ejecutará esta clara y por tanto, el “¿Cuándo?” no se pretende obtener en el plan de acción.
Years of rest between interventions	Número de años que se deja de descanso obligado entre intervenciones siempre que haya más de una intervención a lo largo del periodo de simulación.

### 3.1.1.3. Constraints

Las restricciones son la última sección de configuración que tiene este modelo. Esta restricción está hecha para evitar soluciones que en la vida real no se puedan abordar por riesgo de ejecución. Hasta ahora, la única forma de limitar el espacio de exploración del algoritmo de optimización es por la pendiente que pueda tener el terreno donde se vaya a aplicar la clara.

**Tabla 4.** *Parámetros de restricción.*

Comando	Descripción
Slope constraints to reduce thinning value (%)	Valor de pendiente máximo para limitar la intensidad de la intervención en los rodales que superen dicho valor.
Maximum thinning (%) with slope constraints	Intensidad de intervención máxima entre los valores que la optimización puede buscar soluciones.

### 3.1.2. Tetis

La configuración del modelo Tetis solo tiene dos secciones, la primera es la entrada de la dirección de los propios archivos para correr el modelo, además de un filtro de rodales que permite restringir la zona a intervenir frente a la zona de actuar. Mientras que la segunda sección es para configurar las intervenciones que se van a realizar.

## Configuration

RHESys
TETIS
BIOME
Common
Stands

---

Path:  
/app/Examples/TetisVeg\_example/

---

Path 2:  
Ceira\_v2\_AcumDSS/

---

Results file name:  
METRICS\_results.txt

---

Minimum Thinning %  
2

---

Maximum Thinning %  
8

---

Figura 16. Configuración del modelo Tetis.

### 3.1.2.1. Datos de entrada para la simulación

Las entradas que necesita introducirse en la configuración de este modelo son reducidas. Solo necesita saber la ruta principal del caso de estudio, junto con la carpeta complementaria como puede verse en la siguiente tabla 5. Por defecto, las rutas que aparecen son las del caso de ejemplo de este modelo. Debe ser remplazadas por el caso propio que se quiera lanzar y que se haya albergado en la carpeta "Own\_Data".

Tabla 5. Parámetros de entrada de Tetis.

Comando	Descripción
Path	Ruta principal de los datos de entrada al modelo, esta carpeta debe estar la carpeta con el caso mondado para simular Tetis y el archivo 'FWU_PT_ini.asc' con los valores íntegros de cada rodal.
Path2	Ruta de la carpeta con todos los archivos necesarios para lanzar Tetis.
Stand list	Lista de rodales que permite filtrar la zona de simulación. Si no se desea filtrar hay que poner todos los ID de los rodales.
Result file name	Nombre del archivo de salida de las iteraciones mostradas en la consola.

### 3.1.2.2. Configuración de la intervención

Tetis solo dispone de las claras como actuación selvícola, y es capaz de dar respuesta a las preguntas de ¿Cuánto? y ¿Dónde? se debe aplicar. Sin embargo, las opciones de donde, no permiten que se acoten a algunas zonas solo como en el modelo RHESys. Si no que debe actuarse sobre todos los rodales que se introduzcan.

Tabla 6. Opciones de configuración de las intervenciones en Tetis.

Comando	Descripción
What range of thinning intensity? (How much?)	Rango mínimo y máximo de porcentaje de clara (porcentaje de la masa a aclarar) para que la optimización explore y encuentre el valor óptimo. El paso entre valores va de 10 en 10. Siendo el mínimo 10, y el máximo 100.

### 3.1.3. BIOME-BGC\_MuSo

La configuración de este modelo tiene al igual que el anterior solo dos secciones. La primera contiene la información de entrada al modelo y la segunda las opciones de optimización.

#### 3.1.3.1. Datos de entrada para la simulación

Como se ha mencionado anteriormente, este modelo requiere el archivo de inicio “.ini” y los archivos referidos en el mismo. Al igual que los anteriores modelos, la ruta que aparece por defecto es del caso práctico de ejemplo que se aporta con esta versión de la herramienta. Para ejecutar el caso propio de cada uno debe ser remplazado por el directorio de trabajo que se haya guardado en la carpeta “Own\_Data”.

Tabla 7. Parámetros de entrada de Biome.

Comando	Descripción
Biome ini file	Ruta del caso de estudio que se pretenda ejecutar.

#### 3.1.3.2. Configuración de la intervención

BIOME-BGC\_MuSo es el único de los modelos actuales de esta versión que permite además de diseñar la intensidad de clara/clareo, diseñar la densidad de plantación. Ello hace posible simular masas maduras y masas jóvenes de plantaciones tanto productoras como protectoras. Por ello, con este modelo se puede obtener la densidad de plantación optima junto con las actuaciones selvícolas necesarias para toda su etapa.

Tabla 8. Opciones de configuración de las intervenciones en Biome.

Comando	Descripción
Management	Este parámetro puede ser o protector o productor. La única diferencia es que si se selecciona productor, se aplica una corta final del 100% de la vegetación al final de la simulación.

Planting?	Parámetro que define si entra en juego en las actuaciones forestales la plantación. Si el usuario quiere que la optimización determine la densidad optima debe definir “yes” y si no quiere “no”
What range of planting density? (How much?)	Rango mínimo y máximo entre los valores que la optimización puede explorar los valores de la plantación. El paso entre valores va de 100 en 100. Siendo mínimo 100.
Weight kgC/m <sup>2</sup> of plant	Es el valor del peso de carbono por metro cuadrado de 1000 plantas.
Initial density in mature forests	Es el valor de plantación que tendría una masa madura. Este parámetro se emplearía para el calculo de coste de operaciones.
What range of thinning intensity? (How much?)	Rango mínimo y máximo de porcentaje de clara (porcentaje de la masa a aclarar) para que la optimización explore y encuentre el valor óptimo. El paso entre valores va de 10 en 10. Siendo el mínimo 10, y el máximo 100.
Number of interventions? (When?) el número mínimo es 1.	Se trata del número de claras que se vayan a ejecutar durante el periodo de simulación.
Year since start simulation for first thinning	Número de años desde el inicio de la simulación sobre la que se aplica la primera intervención. Si en el apartado anterior el número es “1”, solo se ejecutará esta clara y por tanto, el “¿Cuándo?” No se pretende obtener en el plan de acción.
Years of rest between interventions	Número de años que se deja de descanso obligado entre intervenciones siempre que sea el número más de una.

## Configuration

RHESys
TETIS
BIOME
Common
Stands

Management

Protector

BIOME ini file:  
 /app/Examples/BIOME\_example/Biome\_cases.ini

Weight kgC/m<sup>2</sup> of plant  
 0,003

Minimum planting density  
 500

Maximum planting density  
 2000

Minimum Thinning %  
 20

Maximum Thinning %  
 80

Year since start of simulation for first thinning  
 4

Years of rest between interventions  
 3

Number of interventions  
 2

Save configuration

Figura 17. Configuración del modelo Biome.

### 3.2. Comunes

Una vez finalizada la configuración del modelo que se vaya a emplear, habiendo preparado toda la información que requiere dentro de su pestaña y guardado la configuración (importante, no olvidar), el siguiente paso es configurar los parámetros comunes que tienen todos los modelos. Estos hacen referencia a la parte de optimización, siendo las métricas que se pueden calcular con el modelo de simulación seleccionado. Además, se puede configurar el algoritmo de optimización que se quiera

utilizar, así como las interacciones que se pretendan buscar. Por último, se permite al usuario guardar los resultados con el nombre y dirección que considere.

### 3.2.1. Selección de Métricas

La selección de métricas va a depender del modelo de simulación que se emplee ya que todos los modelos no pueden calcular todos los valores de bienes y servicios que aparecen en la herramienta CAFE. La combinación de modelos hace que la herramienta sea muy plástica para el usuario ya que puede utilizar diversas opciones en función de la complejidad que tiene cada modelo en la preparación de los parámetros de entradas, así como la propia calibración de los parámetros como se ha podido comprobar en los puntos anteriores. Por este motivo, los modelos más sencillos de preparar para ser lanzados en CAFE, como sería los casos del modelo BIOME-BGC\_MuSo o Tetis, son los que proporcionan una menor selección de métricas. Por tanto, según el modelo que se haya configurado hay que seleccionar aquellas métricas que pueden ser calculadas por el mismo. Dicho esto, todas las métricas sea con el modelo que sean calculadas pueden tener como objetivo ser maximizadas, minimizadas o simplemente cuantificadas “info”. Se ha de saber que solo pueden maximizarse o minimizarse hasta 5 métricas a la vez, el resto serán cuantificadas si el usuario lo desea. Esto es así, por motivos de reducir tiempo computacional y de no hacer demasiado complejo la ejecución del caso de estudio. Además, hay veces que es imposible obtener resultados de esas opciones porque hemos acotado mucho el espacio exploratorio del algoritmo de optimización con ese criterio.

Para concluir con la selección de métricas y su optimización, los pasos que debe seguir el usuario son:

- Ver que métricas son calculadas por su modelo empleado, las cuales también aparecen en la tercera columna “Models”.
- Ver qué tipo de optimización quiere para cada una de las métricas disponibles “maximize”, “minimize” o “info”.
- Activar o desactivar aquellas que se quiere o no se quiere formen parte de los resultados finales.

## Metrics

	Optimization type			Models
<input checked="" type="checkbox"/> Biodiversity	<input type="radio"/> Maximize	<input type="radio"/> Minimize	<input checked="" type="radio"/> Info	RHESys, Biome
<input checked="" type="checkbox"/> Biomass	<input type="radio"/> Maximize	<input type="radio"/> Minimize	<input checked="" type="radio"/> Info	RHESys, Tetis
<input checked="" type="checkbox"/> Carbon	<input type="radio"/> Maximize	<input type="radio"/> Minimize	<input checked="" type="radio"/> Info	RHESys
<input checked="" type="checkbox"/> DeepMoisture	<input type="radio"/> Maximize	<input type="radio"/> Minimize	<input checked="" type="radio"/> Info	Biome
<input checked="" type="checkbox"/> Evaporation	<input type="radio"/> Maximize	<input type="radio"/> Minimize	<input checked="" type="radio"/> Info	Tetis
<input checked="" type="checkbox"/> Improve	<input type="radio"/> Maximize	<input type="radio"/> Minimize	<input checked="" type="radio"/> Info	RHESys
<input checked="" type="checkbox"/> Kdbi	<input type="radio"/> Maximize	<input type="radio"/> Minimize	<input checked="" type="radio"/> Info	RHESys
<input checked="" type="checkbox"/> NEP	<input type="radio"/> Maximize	<input type="radio"/> Minimize	<input checked="" type="radio"/> Info	Biome
<input checked="" type="checkbox"/> Percolation	<input type="radio"/> Maximize	<input type="radio"/> Minimize	<input checked="" type="radio"/> Info	RHESys, Biome, Tetis

Figura 18. Métricas y tipo de optimización por modelo

Por último, en esta sección hay un parámetro que el usuario puede modificar para obtener el valor aproximado de los costes operación de las actuaciones selvícolas que se efectuarán con los criterios de la optimización. Dicha métrica no entra en juego en la optimización, ya que si el usuario decidiera minimizarla esta convertiría la herramienta multiobjetivo en una monobjetivo, priorizando el dinero frente a todos los bienes y servicios. Por tanto, estos valores son calculados una vez terminada la optimización para las posibles soluciones optimizadas y a título informativo. De este modo, el usuario finalmente sí puede incluir el criterio económico dentro de las opciones multifuncionales de gestión forestal.

### Operational costs

Price of curt individual tree (€/tree)	0,46
Price of wood extraction (€/ha)	1100

Figura 19. Parámetros para costes de operación.

### 3.2.2. Configuración de Algoritmo

La segunda sección que puede ser configurada por el usuario es la perteneciente al algoritmo de optimización empleado y a los posibles números de soluciones del espacio muestral. Esta sección, está pensada para los usuarios científicos que quieran tener la certeza de que las soluciones que buscan son soluciones robustas y que la optimización ha explorado concienzudamente el espacio muestral y que las soluciones que ha obtenido el algoritmo son las mejores sin ninguna duda. Se compone de dos parámetros, uno el propio algoritmo que se empleó dentro de los Algoritmos Evolutivos MultiObjetivos (MOEA) que por defecto y por ser el más común empleado de forma automática es el NSGA-II. Por otro lado, el número de iteraciones que hace referencia a las soluciones finales que la optimización va a mostrar al usuario y entre las que va a seleccionar finalmente una el usuario.

Tras las diferentes pruebas realizadas con casos sintéticos de cada modelo, se ha podido determinar que para usuarios técnicos se recomienda no cambiar el algoritmo empleado y tener un número de soluciones entre 100 y 1000. En función del tiempo de procesado que se quiera emplear. Para obtener valores orientativos a como funciona la gestión forestal en el aprovisionamiento de bienes y servicios con un valor de 100 soluciones se puede tener conciencia y la herramienta es capaz de dar soporte a la decisión que el gestor tenga que calcular.

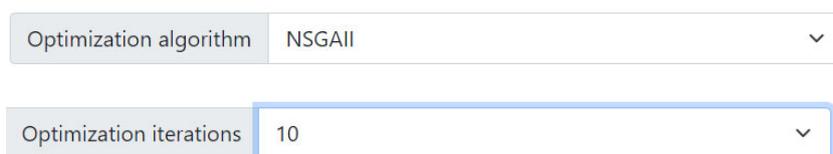


Figura 20. Configuración del algoritmo

### 3.2.3. Directorio de Resultados

La última sección de los parámetros comunes es la dirección y nombre donde quiere que se guarden los resultados generados por CAFE, estos archivos pueden querer ser modificados si se pretende usar la herramienta repetidas veces saber qué resultado es cada uno. La dirección automática es la carpeta "Results" la cual puede verse directamente en la carpeta local de tu ordenador una vez finalice los cálculos la DSS dentro de Docker. Opción vital si se quieren manipular e interpretar en otra herramienta como Excel o otra de visualización como puede ser J3. Además, esta dirección se guardarán también los mapas de claras que se calculen en formato HTML para poder compartirlo o verlo tiempo después si tener que entrar en la herramienta.

### 3.3. Filtrados Stands

Para finalizar con la configuración, la pestaña Stands pertenece al modelo RHESsys como ya se ha comentado y se ha puesto independiente para ayudar al usuario a visualizar bien todos los valores de los rodales. Esto es motivo de que normalmente los casos de estudios montados en RHESsys frecuentemente son zonas amplias que albergan un gran número de rodales y, por tanto, aquí se puede apreciar bien. Esta sección permite al usuario filtrar el área de estudio sobre la que se quiere optimizar la gestión forestal, sin limitar la simulación para todo el monte.

#### 4. Ejecutar herramienta

Finalizada la configuración de los parámetros del modelo y de la optimización siempre habiendo guardado los cambios para verificar que la ejecución de la herramienta corresponda con los criterios del usuario. Se pasa al punto de lanzar o ejecutar CAFE.

Este paso es muy sencillo, únicamente tiene que seleccionarse en el desplegable es el modelo que se quiere emplear y que se haya configurado como se ha visto en el punto anterior. Seguidamente, se pulsar el botón empezar “Start”, donde inmediatamente en la consola inferior de esta pantalla se empezarán a imprimir los valores de las diversas interacciones que se vayan calculando. En cada intervención se podrán observar los valores de las actuaciones forestales que la optimización ha propuesto y el valor de las métricas que se obtienen una vez finalizada la simulación, esto se repite hasta que termine la herramienta de obtener las óptimas soluciones posibles.

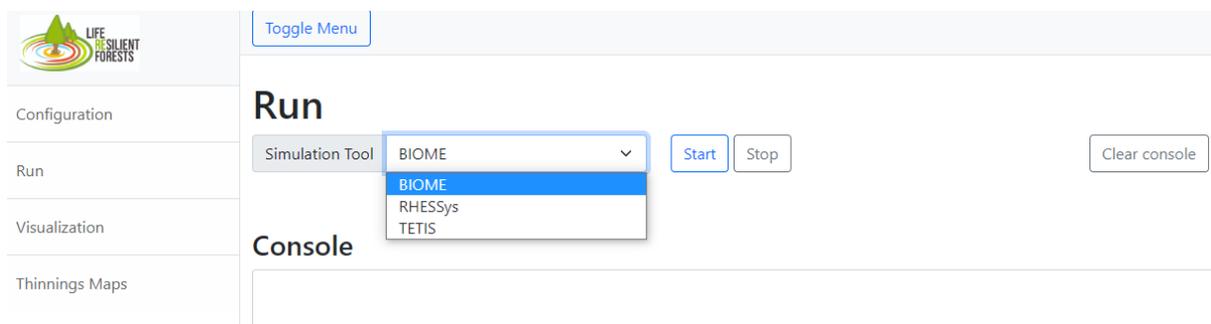


Figura 21. Lanzar DSS con modelo seleccionado

#### 5. Visualizar resultados

CAFE cuando termina de ejecutarse, automáticamente abre la pestaña de visualización. En esta sección se ven los resultados proporcionados por la optimización como las mejores soluciones. Aquí se encuentran dos partes, la parte superior donde se configuran los resultados y la sección inferior donde se visualiza el frente de Pareto.

Los parámetros de visualización que se pueden modificar son las métricas que se quieren emplear en el cubo 3D del frente de Pareto, donde se pueden editar 5 opciones. Los 3 ejes del cubo (x,y,z), el color y el tamaño de los puntos.

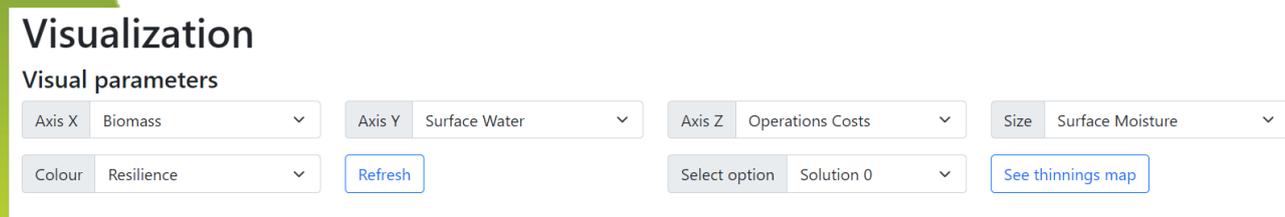


Figura 22. Parámetros de visualización

Por defecto aparecen unas métricas en cada elemento, pero pueden ser cambiadas por otra y rehacer el gráfico. De este modo el usuario puede actualizar la representación de los resultados

pulsando “Refresh” y poder interpretar mejor la relación entre métricas y poder seleccionar una solución como la más adecuada para su criterio.

Además, en esta sección se encuentra el botón “See thinning map” que permite ver el mapa de distribución de las actuaciones forestales para obtener el valor de las métricas. Para realizar esto se debe seleccionar la solución más adecuada en el desplegable de “Select option”. Este paso es el último

### 5.1. Frente de Pareto

El primer resultado que el DSS aporta al usuario es el frente de Pareto, que son las soluciones óptimas para el criterio fijado previamente por el usuario y que se componen de 3 partes: Tabla, gráfica de coordenadas paralelas (2D) y el cubo 3D.

-La tabla la conforman los valores de cada métrica y cada solución, siendo filas soluciones y columnas métricas.

-Gráfico 2D de coordenadas paralelas son líneas que conectan valores de las métricas en cada solución. Es decir, cada línea es una solución y conecta todas métricas. Este gráfico es editable, pudiendo mover de posición las métricas ente sí, y además, puede filtrarse haciéndose clic sobre una métrica y haciendo un rango concreto.

-Cubo 3D es un gráfico tridimensional de los valores de las métricas previamente configurados en la parte superior de la pestaña de visualización. Donde se puede ver los valores de forma interactiva.

Con toda esto, el usuario debe seleccionar una solución para poder ver el mapa de claras si ha empleado un modelo distribuido o finalizar el uso de CAFE.

De todas formas, los resultados de la tabla con todas las soluciones se guardan en la carpeta “Result” como .csv y la visualización interactiva se almacena como .html para su posterior visualización de forma externa a la DSS o por si se quiere compartir con otros gestores.

Optimization Solutions

den	see	Wh	Wh	Thir	Thir	Bior	Dee	NEP	Per	Res	Res	Soil	Suri	Suri	Trar	Wox	n_ti	Ope	Solu
120	0.0	4	28	5	8	3.5	0.3	955	130	1.0	0.0	4.2	0.3	293	267	1.7	-32	-12	0
900	0.0	4	29	6	8	3.6	0.3	953	130	1.0	0.0	3.6	0.3	294	257	1.8	-30	-11	1
500	0.0	4	29	7	8	3.1	0.3	844	139	1.1	0.0	2.7	0.3	302	214	1.5	-20	-72	2
600	0.0	4	22	5	8	1.0	0.3	816	147	1.2	0.0	2.5	0.3	309	191	0.5	-16	-52	3
500	0.0	4	26	5	7	1.9	0.3	804	146	1.1	0.0	2.8	0.3	307	200	0.9	-11	-30	4
500	0.0	4	18	7	7	0.1	0.3	775	148	1.2	0.0	1.9	0.3	311	178	0.0	-17	-58	5
800	0.0	4	28	6	8	3.2	0.3	881	137	1.0	0.0	3.4	0.3	299	235	1.6	-27	-10	6

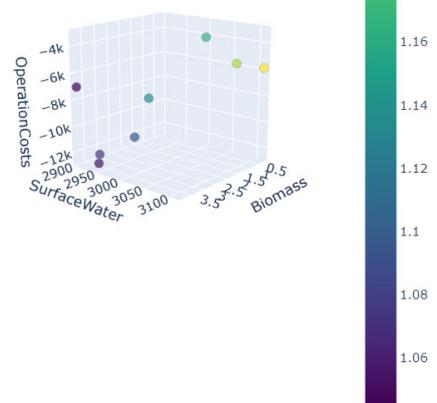
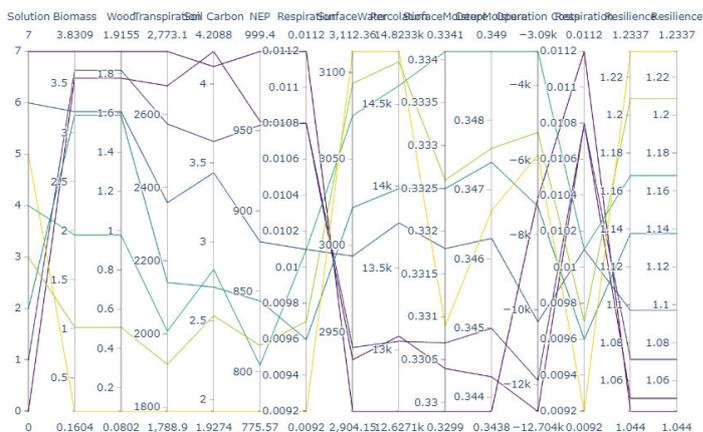


Figura 23. Resultado interactivo del frente de Pareto.

### 5.2. Mapa de Claras

Este resultado puede verse en otra pestaña independiente y se abre automáticamente cuando pulsa el botón “See thinning map” cuando se ha decantado el usuario por una solución en concreto. Como ya se ha mencionado, este resultado solo puede verse cuando se emplea un modelo de simulación distribuido (Tetis o RHESsys).

El mapa que se muestra es la capa de rodales que el usuario almacenó en la carpeta “maps” y que está en el sistema de coordenadas WGS84. Este mapa se puede ver en la parte central, los rodales con diferentes colores, en la parte derecha aparece la leyenda donde cada intensidad de clara tiene un color e incluso se pueden clicar o desclickar para ocultar o mostrar aquellos rodales con esae valor. Mientras que, en la parte inferior aparece una barrita del tiempo en el cual se ejecuta la intensidad de clara, aquí se pueden ver las distintas actuaciones en el tiempo si es que las hubiera seleccionado el usuario.

Este resultado es almacenado a la vez en la carpeta “Results” en formato HTML para poder abrirlo en otro momento o compartirlo con otro gestor.

Thinning Distribution Map by year

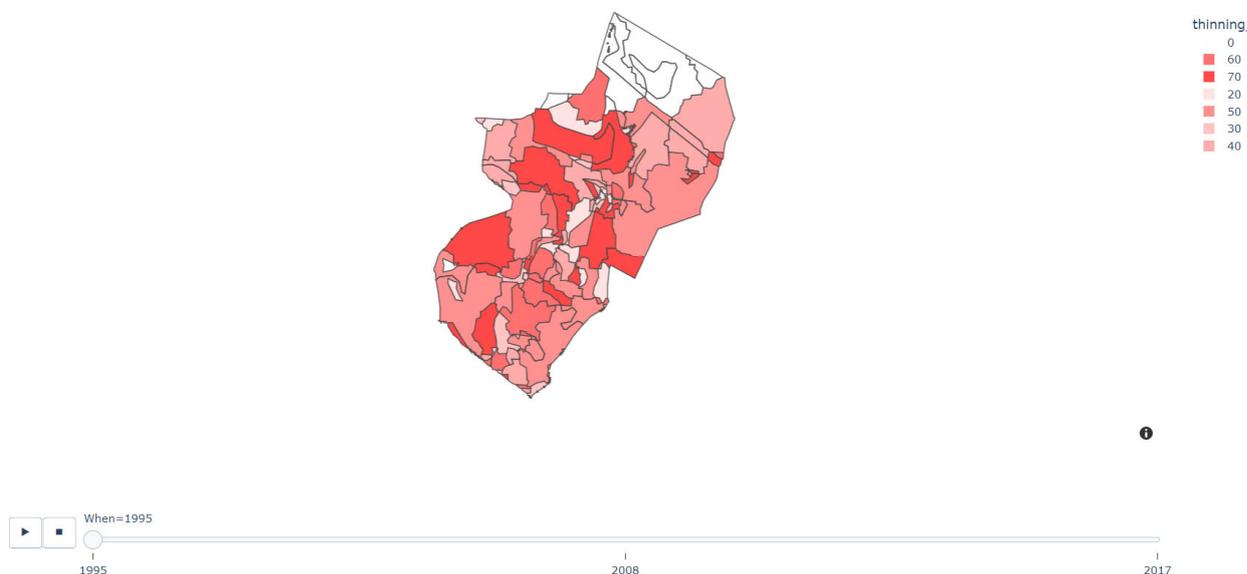


Figura 24. Resultado interactivo del mapa de distribución de claras.

## 6. Exportar resultados

Los resultados que se han visto previamente, como se ha comentado son almacenados en la carpeta “Results”. Esta carpeta directamente se ve enlazada con nuestro equipo haciendo que todo lo que se ve dentro de la imagen creada en el contenedor Docker se vea en nuestro Disco Local. Esto nos permite automáticamente acceder a los archivos que se generen en ella en ambos equipos, el nuestro y el que crea Docker. Por tanto, entramos en el directorio “Results” y se puede copiar y pegar los archivos que se hayan generado y que interese guardar en otro directorio.

## 7. Apagar DSS

Para pagar CAFE, tienes dos formas de operar. Una desde la consola de cmd tienes que ejecutar “Ctrl + C” para abortar la ejecución de la DSS en la página web. Mientras que, si quieres apagar la máquina virtual creada, debe seguidamente escribir “Exit” e intro.

Otra forma de apagarla completamente, es desde la aplicación de Docker donde puedes pulsar el botón parar “Stop”.

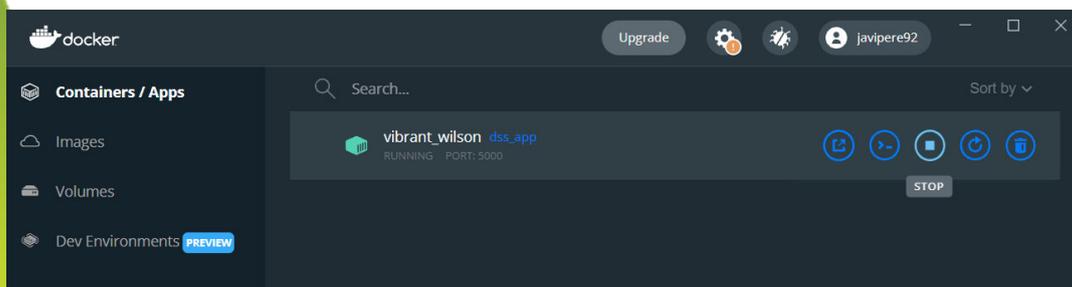


Figura 25. Apagar CAFE desde Docker.

## 10. Referencias

- Deb, K., 2015. Multi-Objective Evolutionary Algorithms, in: Kacprzyk, J., Pedrycz, W. (Eds.), Springer Handbook of Computational Intelligence, Springer Handbooks. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 995–1015. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-43505-2\\_49](https://doi.org/10.1007/978-3-662-43505-2_49)
- Francés, F., Vélez, J.I., Vélez, J.J., 2007. Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. *J. Hydrol.* 332, 226–240. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.032>
- Hadjimichael, A., Gold, D., Hadka, D., Reed, P., 2020. Rhodium: Python Library for Many-Objective Robust Decision Making and Exploratory Modeling. *J. Open Res. Softw.* 8, 12. <https://doi.org/10.5334/jors.293>
- Pasquato, M., Medici, C., Friend, A.D., Francés, F., 2015. Comparing two approaches for parsimonious vegetation modelling in semiarid regions using satellite data. *Ecohydrology* 8, 1024–1036. <https://doi.org/10.1002/eco.1559>
- Ruiz-Pérez, G., Koch, J., Manfreda, S., Caylor, K., Francés, F., 2017. Calibration of a parsimonious distributed ecohydrological daily model in a data-scarce basin by exclusively using the spatio-temporal variation of NDVI. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21, 6235–6251. <https://doi.org/10.5194/hess-21-6235-2017>
- Running, S.W., Hunt, E.R., 1993. 8 - Generalization of a Forest Ecosystem Process Model for Other Biomes, BIOME-BGC, and an Application for Global-Scale Models, in: Ehleringer, J.R., Field, C.B. (Eds.), *Scaling Physiological Processes, Physiological Ecology*. Academic Press, San Diego, pp. 141–158. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-233440-5.50014-2>
- Tague, C.L., Band, L.E., 2004. RHESys: Regional Hydro-Ecologic Simulation System—An Object-Oriented Approach to Spatially Distributed Modeling of Carbon, Water, and Nutrient Cycling. *Earth Interact.* 8, 1–42. [https://doi.org/10.1175/1087-3562\(2004\)8<1:RRHSSO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1087-3562(2004)8<1:RRHSSO>2.0.CO;2)
- Tanevski, J., Simidjievski, N., Todorovski, L., Džeroski, S., 2017. Process-Based Modeling and Design of Dynamical Systems, in: Altun, Y., Das, K., Mielikäinen, T., Malerba, D., Stefanowski, J., Read, J., Žitnik, M., Ceci, M., Džeroski, S. (Eds.), *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases, Lecture Notes in Computer Science*. Springer International Publishing, Cham, pp. 378–382. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-71273-4\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-319-71273-4_35)
- Zhou, A., Qu, B.-Y., Li, H., Zhao, S.-Z., Suganthan, P.N., Zhang, Q., 2011. Multiobjective evolutionary algorithms: A survey of the state of the art. *Swarm Evol. Comput.* 1, 32–49. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2011.03.001>
- Bond-Lamberty, B., Gower, S. T., & Ahl, D. E. (2007). Improved simulation of poorly drained forests using Biome-BGC. *Tree Physiology*, 27(5), 703-715.
- Chen, B., Liu, Z., He, C., Peng, H., Xia, P., & Nie, Y. (2020). The Regional Hydro-Ecological Simulation System for 30 Years: A Systematic Review. *Water*, 12(10), 2878.
- Chiesi, M., Maselli, F., Moriondo, M., Fibbi, L., Bindi, M., & Running, S. W. (2007). Application of BIOME-BGC to simulate Mediterranean forest processes. *Ecological Modelling*, 206(1-2), 179-190.
- Coughlan, J. C., & Dungan, J. L. (1997). Combining remote sensing and forest ecosystem modeling: an example using the Regional HydroEcological Simulation System (RHESys). In *The use of remote sensing in the modeling of forest productivity* (pp. 135-158). Springer, Dordrecht.

- Eastaugh, C. S., Pötzelberger, E., & Hasenauer, H. (2011). Assessing the impacts of climate change and nitrogen deposition on Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) growth in Austria with BIOME-BGC. *Tree Physiology*, 31(3), 262-274.
- Engstrom, R., Hope, A., Kwon, H., Harazono, Y., Mano, M., & Oechel, W. (2006). Modeling evapotranspiration in Arctic coastal plain ecosystems using a modified BIOME-BGC model. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 111(G2).
- Garcia-Prats, A., González-Sanchis, M., Del Campo, A. D., & Lull, C. (2018). Hydrology-oriented forest management trade-offs. A modeling framework coupling field data, simulation results and Bayesian Networks. *Science of the Total Environment*, 639, 725-741.
- González-Sanchis, M., Del Campo, A. D., & Molina, A. J. (2015). Modeling adaptive forest management of a semi-arid Mediterranean Aleppo pine plantation. *Ecological Modelling*, 308, 34-44.
- Li, C., Sun, H., Wu, X., & Han, H. (2020). An approach for improving soil water content for modeling net primary production on the Qinghai-Tibetan Plateau using Biome-BGC model. *Catena*, 184, 104253.
- Liu, K. (2019). Forest Carbon and Water Fluxes Simulation Using Multi-layer Soil Parameters Assimilation. *Remote Sensing Technology and Application*, 34(5), 950-958.
- Nunes, L., Gower, S. T., Peckham, S. D., Magalhaes, M., Lopes, D., & Rego, F. C. (2015). Estimation of productivity in pine and oak forests in northern Portugal using Biome-BGC. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 88(2), 200-212.
- Puertes, C., González-Sanchis, M., Lidón, A., Bautista, I., del Campo, A. D., Lull, C., & Francés, F. (2020). Improving the modelling and understanding of carbon-nitrogen-water interactions in a semiarid Mediterranean oak forest. *Ecological Modelling*, 420, 108976.
- Ruiz-Pérez, G., González-Sanchis, M., Del Campo, A. D., & Francés, F. (2016). Can a parsimonious model implemented with satellite data be used for modelling the vegetation dynamics and water cycle in water-controlled environments?. *Ecological modelling*, 324, 45-53.
- Sanchez-Ruiz, S., Chiesi, M., Fibbi, L., Carrara, A., Maselli, F., & Gilabert, M. A. (2018). Optimized Application of Biome-BGC for Modeling the Daily GPP of Natural Vegetation Over Peninsular Spain. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 123(2), 531-546.
- Schmid, S., Zierl, B., & Bugmann, H. (2006). Analyzing the carbon dynamics of central European forests: comparison of Biome-BGC simulations with measurements. *Regional Environmental Change*, 6(4), 167-180.
- Shin, H., Park, M., Lee, J., Lim, H., & Kim, S. J. (2019). Evaluation of the effects of climate change on forest watershed hydroecology using the RHESSys model: Seolmacheon catchment. *Paddy and Water Environment*, 17(4), 581-595.
- Tatarinov, F. A., & Cienciala, E. (2006). Application of BIOME-BGC model to managed forests: 1. Sensitivity analysis. *Forest Ecology and Management*, 237(1-3), 267-279.
- Ueyama, M., Ichii, K., Hirata, R., Takagi, K., Asanuma, J., Machimura, T., ... & Hirano, T. (2010). Simulating carbon and water cycles of larch forests in East Asia by the BIOME-BGC model with AsiaFlux data. *Biogeosciences*, 7(3), 959-977.