



EDAPHI

Entorno de Desarrollo
para Análisis
y Pronóstico Hidrológico



Angel Luis
Aldana Valverde

2026

EDAPHI 2026

*Entorno de Desarrollo para
Análisis y Pronóstico Hidrológico*

2026

Angel Luis Aldana Valverde

Obra registrada en el Registro de Propiedad Intelectual de Safe Creative
(<https://www.safecreative.org>). Todos los derechos reservados.

Los detalles del registro de este documento, de otros del mismo autor y del código pueden encontrarse en el perfil público:

<https://www.safecreative.org/user/alav>

© EDAPHI 2026. Entorno de Desarrollo para Análisis y Pronóstico Hidrológico

© Angel Luis Aldana Valverde. 2026

Prólogo del autor

Después de numerosas experiencias en el desarrollo de modelos de pronóstico hidrológico a lo largo de unos 30 años, decidí emprender la aventura de construir EDAPHI en el año 2013. Traté de aprovechar la experiencia previa y las capacidades actuales de las herramientas de programación y utilidades de cálculo. El diseño de este entorno ha estado muy condicionado por la hidrología operacional y por las experiencias profesionales con Servicios Hidrológicos Nacionales de Latinoamérica y con los casos españoles. He tenido en cuenta la realidad de estos casos, de las dificultades asociadas a las plantillas de hidrólogos, a su formación y a los medios disponibles. Los aspectos prácticos y económicos han tenido una gran importancia. El objetivo final del entorno es ofrecer soluciones para el pronóstico hidrológico, el más ambicioso en la hidrología operacional, además de otras soluciones en el mismo ámbito.

Los primeros sistemas de pronóstico de crecidas en tiempo real, los que cuentan con las mayores exigencias desde muchos puntos de vista, fueron implementados hace ya muchas décadas. Ya han pasado esos tiempos en que se podían considerar grandes retos científicos y tecnológicos. Las tecnologías de las comunicaciones, de la instrumentación y de cálculo ofrecen posibilidades más que suficientes para solucionar un gran número de problemas. Sin embargo, se observan muchas deficiencias en los sistemas actuales. No por razones de origen científico o tecnológico, sino por falta de recursos materiales, en algunos casos, y por deficiencias en recursos humanos (generalmente por número) en casi todos. En esta fase de la historia del pronóstico hidrológico en la hidrología operacional, la que tiene que ofrecer soluciones a problemas reales, se impone un enfoque pragmático que tenga en cuenta los múltiples factores que afectan al éxito de una solución. La creación de este entorno se ha inspirado en este planteamiento.

Este entorno me ha facilitado, además, la realización de trabajos de estudios hidrológicos de diferente tipo en tiempos cortos, con destreza y rigor, gracias a las posibilidades de automatización, a las capacidades de manejo de información y a las posibilidades de cálculo con que cuenta

Esta es la cuarta versión de EDAPHI (2026).

Documento publicado en agosto de 2026

A. Contenido

1	Introducción	1
2	Soluciones para el análisis y el pronóstico hidrológico	2
2.1	Condiciones de operación.....	2
2.2	Tamaño de la plantilla y perfiles profesionales	3
2.3	Estudios previos	3
2.4	Información disponible. Operación en tiempo real	3
2.5	Costes	4
3	Principales características de la solución	5
3.1	Sistema abierto	5
3.2	Arquitectura modular	5
3.3	Costes bajos de desarrollo e implementación.	6
3.4	Aprovecha los conocimientos generales del perfil estándar de hidrólogo	6
3.5	Ampliable y escalable	6
3.6	Integradora de las soluciones	7
3.7	Fácilmente integrable en otras soluciones	7
3.8	Sostenible.....	7
4	Enfoque general de los desarrollos informáticos	8
4.1	Lenguajes y herramientas complementarias	8
4.2	Instantes y periodos.	8
4.3	Formato de archivo de series temporales	9
4.4	Datos de entrada	10
4.4.1	<i>Datos geográficos</i>	<i>10</i>
4.4.2	<i>Series temporales</i>	<i>10</i>
4.4.3	<i>Información meteorológica</i>	<i>11</i>
4.5	Parámetros de configuración	11
4.5.1	<i>Ventajas de usar libros MS-Excel como archivos de configuración.....</i>	<i>11</i>
4.6	Presentación de resultados. Salidas.....	12
4.6.1	<i>Datos geográficos</i>	<i>12</i>
4.6.2	<i>Series temporales</i>	<i>12</i>
4.6.3	<i>Tablas</i>	<i>13</i>
4.6.4	<i>Gráficos</i>	<i>13</i>
4.6.5	<i>Mapas.....</i>	<i>13</i>
4.6.6	<i>Animaciones</i>	<i>14</i>
4.6.7	<i>Mensajes sobre los gráficos</i>	<i>14</i>
4.7	Acceso remoto a datos	15
4.8	Otros formatos de entrada y salida	15
4.9	Instalación de los programas.....	15
4.10	Ejecución de programas	15
4.11	Información de actividad en ventanas de comandos.....	16
4.12	Registro de acciones. Archivos .log en las carpetas Cntrl	17
4.13	Posibilidad de parada o pausa	17
4.14	Semáforos de aplicaciones.....	17
4.15	Ejecución de procesos en paralelo	17
5	Descripción de organización módulos de aplicación y carpetas	18
5.1	Módulos de aplicación.....	18

5.2	Estructura general de carpetas (directorios) y organización de aplicaciones	20
5.2.1	<i>Carpetas EDAPHI.....</i>	20
5.2.2	<i>Carpetas de códigos de programas</i>	22
5.2.3	<i>Carpetas ST, SIG, HTML y CMD</i>	22
5.3	Organización del código.....	23
6	Instalación de módulos y configuración del entorno	26
6.1	Módulos Python y módulo (de aplicación) EDAPHI.....	26
6.2	Variables de entorno	26
6.3	Subcarpetas CMD de la carpeta EDAPHI y EDAPHI\Area.....	27
6.4	Preparación del entorno virtual Python dentro de Miniconda.....	28
6.4.1	<i>Instalación genérica. Opción recomendada para desarrolladores</i>	28
6.4.2	<i>Opción general recomendada.</i>	29
6.5	Configuración general del entorno. Carpeta EDAPHI\Cmd	31
6.6	Comando ed_cmd y módulos disponibles	32
6.7	Archivos de arranque de aplicaciones	35
6.7.1	<i>Archivos de comando ventana.cmd</i>	35
6.7.2	<i>Archivo de comandos ciclo.cmd</i>	37
6.8	Uso de archivos de comandos CMD	37
6.9	Desencadenamiento de acciones por eventos de ejecución. Archivos de comandos call_extern.cmd	39
6.10	Módulos que operan con Python 3 de GIS-Grass	39
6.11	Módulos que operan con Python 2.7 de GIS-Grass. Versiones obsoletas	40
6.11.1	<i>Configuración general del entorno</i>	40
6.11.2	<i>Configuración del arranque de un módulo</i>	41
7	Utilidades comunes de propósito general	43
8	Enfoques metodológicos.....	56
8.1	Módulos de cálculo y simulación generales y específicos	56
8.1.1	<i>Cálculo de errores de simulación.....</i>	57
8.1.2	<i>Reajustes en tiempo futuro</i>	58
8.2	Modelación hidrológica	59
8.2.1	<i>Funciones de pérdidas</i>	59
8.2.2	<i>Cálculo del estado de humedad en función de la precipitación en días anteriores</i>	62
8.2.3	<i>Función de transformación</i>	64
8.2.4	<i>Flujo base</i>	64
8.2.5	<i>Propagación en ríos y canales.....</i>	64
8.2.6	<i>Módulo s_cna_hu. Simulación de subcuencas</i>	64
8.2.7	<i>Módulo reach. Simulación de tramos.</i>	67
8.3	Representación del sistema hidrológico	68
8.3.1	<i>Tramos de río y topología del sistema hidrológico</i>	70
8.4	Escenarios	71
8.5	Horizonte de previsión	72
8.6	Ciclos de cálculo	74
8.7	Discretizaciones temporales en datos e intervalos de cálculo.....	75
8.8	Calibración de parámetros de simulación en el pronóstico hidrológico en tiempo real	75
8.8.1	<i>Planteamiento del problema</i>	75
8.8.2	<i>Precalibración.....</i>	78
8.8.3	<i>Consideración y manejo de incertidumbres</i>	79
8.8.4	<i>Valoración del error.....</i>	79
8.8.5	<i>Calibración en tiempo real.....</i>	80
8.8.6	<i>Enlace entre modelos para calibraciones</i>	82

8.8.7	Autocalibración secuencial o en paralelo.....	84
8.8.8	Solución a adoptar en cada caso	84
9	EDAPHI-Gen. Módulo de configuración y control general	85
9.1	Introducción.....	85
9.2	Funcionalidades.....	85
9.3	Comandos	85
9.4	Configuración	87
9.4.1	Configuración general.....	87
9.4.2	Configuración del programador de tareas	88
9.5	Uso de utilidades comunes.....	90
10	EDAPHI Prec. Procesador de precipitaciones para uso en tiempo real	97
10.1	Introducción	97
10.2	Funcionalidad de la aplicación	97
10.3	Cálculo de mallas	98
10.3.1	Interpolación.....	98
10.3.2	Combinación de mallas.....	99
10.4	Cálculo de valores areales	103
10.5	Configuración.....	104
10.5.1	Configuración básica del interpolador	104
10.5.2	Máscara de áreas.....	105
10.5.3	Máscara del contorno	108
10.5.4	Configuración de la combinación de mallas	108
10.5.5	Configuración de mapas por intervalo.....	110
10.5.6	Configuración de mapas de agregaciones.....	110
10.5.7	Cálculos de un intervalo a partir de un archivo de puntos.....	111
10.6	Resultados.....	112
10.6.1	Resultados agregados	114
10.7	Carpeta SIG.....	115
10.8	Comandos	115
10.9	Uso de comandos comunes.....	117
10.10	Instalación.....	120
11	Familia CHM. Conectores hidrometeorológicos.....	121
11.1	CMHA. Empleo de mallas GRIB con varias capas. Caso de resultados Harmoni-Arome (AEMET)	123
11.1.1	Datos	123
11.1.2	Comandos	124
11.1.3	Configuración	125
11.1.4	Manejo de archivos Grib	126
11.1.5	Resultados	128
11.1.6	Listado de archivos	130
11.1.7	Instalación	131
11.2	Módulo ec_grib.....	131
11.3	Otras utilidades generadas sobre la base CMH	133
11.3.1	CFFGS. Descarga de información del sistema FFGS y cálculo de variables para su uso en hidrología operacional.....	133
11.3.2	CMF. Manejo de pronósticos del modelo Arome de Météo-France en formato Grib2	143
11.3.3	CSispi. Acceso a datos del sistema Sispi	150
11.4	EDAPHI-GMeteo. Generación de productos de hidrología basados en los resultados de modelos numéricos de predicción del tiempo	151

11.4.1	Introducción	151
11.4.2	Funcionalidad de la aplicación	151
11.4.3	Datos de entrada	152
11.4.4	Resultados.....	153
11.4.5	Organización de archivos.....	153
11.4.6	Comandos	154
11.4.7	Archivos de comandos principales de ejecución	155
11.4.8	Recálculo de resultados	157
11.4.9	Condiciones de espera en ejecución	157
11.4.10	Configuración.....	157
11.4.11	Uso de utilidades comunes.....	161
12	EDAPHI-PaPOS	164
12.1	Introducción	164
12.2	Fundamentos metodológicos.....	164
12.2.1	Uso del parámetro a de estado de humedad antecedente	164
12.2.2	Índice de lluvia antecedente	164
12.3	Datos de partida	167
12.3.1	Valores de k	167
12.3.2	Malla de número de curva en condiciones normales	169
12.3.3	Datos pluviométricos de lluvia antecedente.....	169
12.3.4	Máscaras de áreas y de contorno.....	170
12.4	Resultados	171
12.4.1	Relacionados con lluvias	171
12.4.2	Parámetros de escorrentía	172
12.5	Comandos	172
13	EDAPHI-MH. Modelos hidrológicos operacionales.....	174
13.1	Introducción	174
13.2	Ventajas a la opción MHED	174
13.3	Funcionalidad de la aplicación	175
13.3.1	Interacción con las aplicaciones Hec.....	175
13.3.2	Trabajo con escenarios.....	176
13.3.3	Curvas de gasto en diferentes formatos.....	177
13.3.4	Diferentes modos de abordar el problema del estado de humedad antecedente	177
13.3.5	Gestión de archivo histórico de parámetros.....	178
13.3.6	Cálculo de errores de simulación	178
13.3.7	Reajustes de resultados en tiempo futuro	178
13.4	Modelación hidrológica	178
13.5	Caracterización hidrológica	178
13.6	Establecimiento de parámetros de modelación	179
13.7	Carpetas	179
13.8	Configuración	180
13.8.1	Archivo de configuración general de MH	180
13.8.2	Modelo HEC-HMS.....	182
13.8.3	Nodos	183
13.8.4	Salidas de resultados	189
13.8.5	Opciones relevantes para los nodos de salida. Filtrado y reajustes futuros	190
13.8.6	Opciones relevantes para los nodos de entrada. Posible relleno de huecos	191
13.8.7	Configuración de un módulo MH para análisis o para previsión operacional en tiempo real.	191
13.8.8	Escenarios pasados.....	192
13.8.9	Escenario de calibración	196

13.8.10	Escenario futuro	203
13.8.11	Escenario de análisis (simulación)	204
13.8.12	Definición de las series de entrada (datos de caudal, nivel y precipitación)	205
13.9	Selección de parámetros de simulación para escenarios futuros	208
13.10	Comandos	209
13.11	Resultados	211
13.11.1	Gráficos de simulaciones	212
13.11.2	Gráficos de previsiones	213
13.11.3	Trazas de pronósticos	214
13.12	Archivos	215
13.13	Semáforos específicos	217
13.14	Instalación	219
13.15	Análisis topológico y tiempos de propagación	219
13.16	Control de ejecución de casos MH. Módulo cntrl_mh	220
13.16.1	Comandos	221
13.16.2	Configuración	223
13.17	Uso de comandos comunes	224
13.17.1	Utilidades para configuración, revisión y documentación	224
13.17.2	Obtención de resultados complementarios	226
14	Laminación de embalses. EDAPHI-PEX-XN y XLSM	229
14.1	Introducción	229
14.2	Funcionalidad de la aplicación	229
14.3	Situación inicial	231
14.4	Caudales de salida de embalses	231
14.5	Apertura de órganos de desagüe	231
14.5.1	Movimientos	231
14.6	Configuración	232
14.7	Comandos. Uso interactivo del módulo	233
14.8	Uso de PE_XN en pronóstico con MHED	235
14.9	Empleo de un libro MS-Excel con macros de laminación	236
15	EDAPHI MHH-H. Hipermodeles basados en modelos MHH	238
15.1	Configuración de un hipermodelo	239
16	EDAPHI-AEsc. Amenazas por escorrentías	241
16.1	Introducción	241
16.2	Funcionalidad	241
16.3	Fundamentos metodológicos	242
16.3.1	Fórmula de partida	242
16.3.2	Índices hidrológicos	243
16.3.3	Niveles de amenaza	247
16.3.4	Resultados por hora y de periodo completo	248
16.4	Datos de entrada	249
16.4.1	Relacionados con el estado de humedad antecedente	249
16.4.2	Relacionados con las lluvias	249
16.4.3	Solución basada en productos en operación	249
16.4.4	Adaptación de datos	250
16.5	Resultados	251
16.5.1	Formatos	251
16.5.2	Contenidos	254
16.5.3	Archivos GeoTiff	255
16.6	Comandos	255

17 EDAPHI-Nieve 256

17.1	Introducción	256
17.2	Enfoque metodológico.....	256
17.2.1	<i>Obtención de la superficie de nieve.....</i>	256
17.2.2	<i>Modelo de fusión nival.....</i>	258
17.3	Configuración y uso de la aplicación	259
17.3.1	<i>Comandos específicos</i>	259
17.3.2	<i>Comandos generales.....</i>	260
17.3.3	<i>Configuración de parámetros</i>	260
17.3.4	<i>Carpeta SIG.....</i>	264
17.4	Proceso de cálculo	267
17.4.1	<i>Cálculo de superficies de nieve.....</i>	267
17.4.2	<i>Cálculo de fusión nival.....</i>	267
17.5	Resultados	268
17.5.1	<i>Módulo de superficie de nieve (nieve_modis)</i>	269
17.5.2	<i>Módulo de fusión nival (nieve).....</i>	272
17.5.3	<i>Uso de herramienta SIG</i>	275
17.6	Recomendaciones generales de uso	275

18 EDAPHI-V Extremos. Análisis de valores máximos anuales 277

18.1	Introducción	277
18.2	Enfoque metodológico.....	277
18.2.1	<i>Funciones de distribución, cuantiles y períodos de retorno</i>	277
18.2.2	<i>Serie de máximos anuales y probabilidades empíricas</i>	280
18.2.3	<i>Distribuciones consideradas</i>	280
18.2.4	<i>Métodos de ajuste</i>	284
18.2.5	<i>Gráficos P-P y Q-Q.....</i>	286
18.2.6	<i>Combinaciones de distribuciones y métodos de ajuste.....</i>	287
18.2.7	<i>Comparación y selección del mejor ajuste.....</i>	287
18.2.8	<i>Detalle sobre fundamentos. Expresiones de los momentos para ajustes hidrológicos</i>	289
18.3	Configuración de la aplicación	298
18.4	Datos de entrada	298
18.5	Cálculos y resultados	299
18.5.1	<i>Archivo MS-Excel con toda la información alfanumérica</i>	299
18.5.2	<i>Combinatoria de gráficos.....</i>	301
18.5.3	<i>Gráficos de ajustes P.....</i>	302
18.5.4	<i>Gráficos de ajustes T</i>	303
18.5.5	<i>Gráficos P-P.....</i>	303
18.5.6	<i>Gráfico Q-Q</i>	304
18.5.7	<i>Gráfico compuesto P-P Q-Q.....</i>	305
18.5.8	<i>Gráfico de ranking</i>	306

19 EDAPHI-EGrassPy3..... 307

19.1	Configuración de un módulo que vaya a usar GIS-Grass	307
19.2	Comandos	307
19.3	Uso de una carpeta Tmp	309
19.4	Configuración de EGrassPy3	310
19.5	Instalación	310

20 EDAPHI-GCuencas. Caracterización y parametrización de cuencas y tramos de ríos 311

20.1	Introducción	311
------	--------------------	-----

20.2	Funcionalidad de la aplicación	311
20.3	Datos de partida.....	312
20.3.1	<i>Caso de la cuenca del Segura. Modo vectorial.....</i>	<i>313</i>
20.3.2	<i>Caso de la cuenca del río Albaida. Modo ráster de alta resolución.....</i>	<i>314</i>
20.3.3	<i>Caso República Dominicana. Modo ráster con capas globales.....</i>	<i>315</i>
20.4	Configuración.....	317
20.5	Comandos	319
20.5.1	<i>Comandos en modo vectorial</i>	<i>319</i>
20.5.2	<i>Comandos en modo ráster</i>	<i>322</i>
20.5.3	<i>Ejemplo de interacción con Grass.....</i>	<i>323</i>
20.6	Nombres de capas y archivos, de datos y resultados	325
20.7	Resultados.....	326
20.8	Instrucciones detalladas de uso	329
20.9	Instalación.....	330
21	EDAPHI-GenMH. Generación automática de modelos	331
21.1	Funcionalidad.....	331
21.2	Representación del sistema hidrológico y puntos de interés	331
21.3	Parametrización	332
21.4	Comandos	332
21.5	Configuración.....	333
21.6	Ayuda	334
21.7	Resultados.....	334
22	EDAPHI-Ges. Generación de eventos sintéticos.....	336
22.1	Funcionalidad.....	336
22.2	Estructura de carpetas	336
22.3	Modelo MH integrado	337
22.4	Datos.....	338
22.5	Comandos	339
22.6	Configuración.....	340
22.7	Resultados.....	344
22.8	Instalación.....	344
23	EDAPHI-Web. Publicación de resultados	345
23.1	Introducción	345
23.2	Organización de archivos.....	345
23.3	Publicación	345
23.4	Implementación de las páginas	346
23.5	Carpetas y resultados de cada módulo	346
23.6	XML con datos generales del cálculo	346
23.7	Tablas de series temporales en formato HTML.....	347
23.8	Código JavaScript.....	347
23.9	Uso de comandos comunes.....	347
23.10	Ejemplo del SAIH Segura.....	348
23.11	Ejemplo de República Dominicana	355
23.12	Ejemplo de Haití.....	359
24	EDAPHI-GHR. Utilidades para la modelación hidráulica combinando Hec-Ras, Grass y otra posible aplicación SIG	361
24.1	Introducción	361
24.2	Funcionalidad de la aplicación	361
24.2.1	<i>Intercambio de información con Hec-Ras a través de archivos SDF</i>	<i>361</i>
24.3	Diseño de la aplicación	362

24.3.1	<i>Aplicaciones básicas que integran GHR</i>	362
24.3.2	<i>Estructura de archivos</i>	363
24.4	Comandos	364
24.4.1	<i>Clasificación de comandos</i>	366
24.5	Uso de la aplicación	366
24.5.1	<i>Creación de carpeta de caso</i>	366
24.5.2	<i>Uso normal</i>	367
24.6	Casos de aplicación	368
24.6.1	<i>Caso completo</i>	368
24.6.2	<i>Operaciones con proyectos</i>	385
24.7	Instalación	395

25 EDAPHI-MTG. Evaluación de recursos hídricos y cálculo de balance basado en el modelo de Témez 396

25.1	Introducción	396
25.2	Funcionalidad de la aplicación	397
25.3	Modelación	397
25.4	Datos	398
25.5	Resultados	399
25.6	Comandos	402
25.7	Instalación	403
25.7.1	<i>Uso de MTG24 en un nuevo caso de aplicación</i>	405
25.7.2	<i>Instalación para desarrollo</i>	405

26 EDAPHI-ADDA. Análisis de datos diarios para la calibración del parámetro "a" 407

26.1	Introducción	407
26.2	Funcionalidad de la aplicación	407
26.3	Datos	407
26.4	Modelización	408
26.4.1	<i>Adaptación del hidrograma unitario</i>	409
26.4.2	<i>Caudal base</i>	409
26.5	Configuración	410
26.5.1	<i>Definición de escenarios</i>	411
26.6	Resultados	412
26.7	Comandos	413
26.8	Instalación	414

27 EDAPHI-WOF. Utilidades de acceso a datos a través de un servicio web WaterOneFlow 415

27.1	Introducción	415
27.2	Funcionalidad de la aplicación	415
27.3	Resultados	415
27.4	Comandos	416
27.5	Configuración	418
27.6	Instalación	418

B. Figuras

Figura 4-1.- Ejemplo de archivo de series temporales	9
Figura 4-2.- Ejemplo de archivo de configuración de una aplicación	12
Figura 4-3.- Ejemplo de preparación de resultados en MS-Excel con vínculos a resultados	13
Figura 4-4.- Ejemplos de gráficos en los que se imprime un aviso relacionado con la variable	14
Figura 4-5.- Ejemplo de mensaje propagado hacia aguas abajo	14
Figura 5-1.- Ejemplo de esquema de relación entre módulos	20
Figura 5-2.- Esquema de ejemplo de estructura básica de carpetas EDAPHI	21
Figura 5-3.- Ejemplo subcarpetas de módulo con subcarpetas para cada caso de aplicación (subsistema)	22
Figura 5-4.- Carpeta de caso de aplicación	22
Figura 5-5.- Organización general del código	23
Figura 5-6.- Uso de un IDE para la edición del código de programación con ayuda interactiva	24
Figura 5-7.- Ejemplo de archivo HTML de documentación del código	25
Figura 6-1.- Ejemplo de carpeta descomprimida de la creada con conda-pack	30
Figura 6-2.- Ventana de interacción con el módulo Prec	36
Figura 7-1.- Ejemplo del uso del comando <code>ts_util -w_grd</code>	44
Figura 7-2.- Ejemplo de uso del comando <code>map_cts -w_max</code>	46
Figura 7-3.- Configuración de un mapa para el comando <code>map_cts</code>	47
Figura 7-4.- Ejemplo de zoom en una ventana gráfica	48
Figura 7-5.- Ejemplo del uso del comando <code>scenari -list_s</code>	48
Figura 7-6.- Pantalla con resultados de la demostración del módulo <code>evol_comp</code>	49
Figura 8-1.- Reajuste futuro a partir de la hora 10 (t_0) hasta el horizonte de previsión en la hora 22. Q_0 es el caudal observado, Q_c el calculado, Q_{p_cte} es el caudal con corrección constante y Q_{p_t} es la corrección dependiente de una potencia (2 en el ejemplo) y un tiempo de corrección (6 horas)	58
Figura 8-2.- Funciones de corrección de error inicial en el ejemplo de reajuste futuro	59
Figura 8-3.- Importancia del estado de humedad antecedente en una cuenca. Gráfica obtenida del archivo "Saturación y PE.xslm" que forma parte de la documentación de EDAPHI.	61
Figura 8-4.- Variación del número de curva en función del parámetro a	62
Figura 8-5.- Ejemplos de curvas que relacionan " a " con la precipitación media en días anteriores	63
Figura 8-6.- Uno de los resultados del comando <code>subc -test_h</code>	66
Figura 8-7.- Uno de los resultados del comando <code>subc -test_p</code>	66

Figura 8-8.- Demostración del concepto de índice de lluvia antecedente desarrollado en el capítulo de fundamentos metodológicos de EDAPHI-PaPOS	67
Figura 8-9.- Resultado gráfico del empleo de la orden reach -test_t	68
Figura 8-10.- Mapa con la representación del sistema hidrológico, incluyendo nodos tipo nod_P	69
Figura 8-11.- Tipos de nodos y sus variables	70
Figura 8-12.- Entidades para las conexiones de nodos	71
Figura 8-13.- Desfase (D) entre la lluvia y el caudal de escorrentía según el concepto de hidrograma unitario	72
Figura 8-14.- Desfase (D) entre un hidrograma y su propagado aguas abajo	73
Figura 8-15.- Horizonte de previsión en función de la divergencia asumible y la horquilla de previsión	74
Figura 9-1.- Ventana de interacción del comando control	87
Figura 9-2.- Ventana del programador de tareas	87
Figura 9-3.- Hoja de configuración de tareas del programador de tareas	88
Figura 9-4.- Opciones de configuración que afectan especialmente al comando st_gen	89
Figura 9-5.- Ejemplo de resultado obtenido con utilidades comunes	91
Figura 9-6.- Ejemplo de una consulta gráfica de una variable concreta de la fuente de datos origen	92
Figura 9-7.- Ventana de mapa de lluvias máximas en pluviómetros	93
Figura 9-8.- Ejemplo de uno de los archivos de configuración de mapas en formato HTML	94
Figura 9-9.- Ejemplo de mapa HTML con posibilidad de acceso a gráficos de series temporales asociadas a puntos. Caso de datos SAIH de pluviómetros en la cuenca del Segura.	95
Figura 9-10.- Ejemplo de listado de comandos específicos definidos con las utilidades comunes del capítulo 7	96
Figura 10-1.- Variación del peso de la malla primaria en función de la confianza, del exponente de discrepancia y de la razón de medias	100
Figura 10-2.- Mallas de parámetros variables de confianza y de exponente de discrepancias	101
Figura 10-3.- Mallas primarias, secundaria y resultante al usar los parámetros cp y ed variables	101
Figura 10-4.- Representación gráfica de una de las funciones de distancia para la definición de una malla de parámetro cp o ed ($R=20.000,00$, $vmin=0,6$, $vmax=1,0$)	102
Figura 10-5.- Ejemplo de resultado (Comb) para la hora 12/09/2019 05:00 de combinación de la malla de lluvia interpolada en función de los datos SAIH (60min) y la malla de lluvias obtenidas por la red de radares de AEMET para la cuenca del Segura	102

Figura 10-6.- Ejemplo de resultado (Comb) para la hora 12/09/2019 06:00 de combinación de la malla de lluvia interpolada en función de los datos SAIH (60min) y la malla de lluvias obtenidas por la red de radares de AEMET para la cuenca del Segura _____	103
Figura 10-7.- Contenido de la hoja Conf del archivo de configuración XLSX _____	104
Figura 10-8.- Ejemplo de hoja de un escenario de cálculo _____	105
Figura 10-9. - Configuración del interpolador _____	105
Figura 10-10.- Ejemplo de carpeta de máscaras de áreas con una subcarpeta por escenario _____	106
Figura 10-11.-Representación de una de las capas masc_areas.asc _____	107
Figura 10-12.- Definición de un escenario para cálculo de valores areales en una capa de polígonos específica _____	107
Figura 10-13.- Detalle de la hoja Rext referida en la hoja anterior _____	107
Figura 10-14.- Ejemplo de máscara del contorno _____	108
Figura 10-15.- Hoja del escenario de cálculo de combinación de mallas _____	109
Figura 10-16.- Detalles de la configuración del cálculo de combinación de mallas _____	109
Figura 10-17.- Configuración de mapas por intervalo _____	110
Figura 10-18.- Configuración de mapas de agregaciones _____	111
Figura 10-19.- Archivo de _xlsx.xlsx con datos de puntos _____	112
Figura 10-20.- Colección de gráficos PNG de resultado de los cálculos _____	113
Figura 10-21.- Mapas de resultados de valores agregados en formato matricial / raster _____	114
Figura 10-22.- Mapas de resultados de valores agregados en subcuencas (formato vectorial) _____	114
Figura 10-23.- Ejemplo de proyecto QGIS para visualizar resultados _____	115
Figura 10-24.- Ejemplos de resultados gráficos obtenidos con archivos de comandos comunes para Prec _____	118
Figura 10-25.- Ejemplos de gráficos de mapas obtenidos con archivos de comandos para Prec _____	119
Figura 10-26.- Mapa HTML con gráficos de series temporales asociadas a polígonos. Caso de lluvias areales en subcuencas en la cuenca del Segura. _____	119
Figura 10-27.- Ejemplo de mapa HTML con la representación de una malla de lluvias _____	120
Figura 11-1.- Ejemplos de flujos de datos hacia modelos hidrológicos MHH, gracias a conectores tipo CHM. Caso República Dominicana _____	122
Figura 11-2.- Ejemplo de archivo que ofrecen los módulos CHM al usar el comando ayuda _____	123
Figura 11-3.- Capas SIG para cálculos de valores areales _____	124
Figura 11-4.- Hoja principal de configuración de CMHA _____	126
Figura 11-5.- Archivo con la descripción de un archivo GRIB usando la opción cmha -desc_grib _____	126

Figura 11-6.- Selección de las capas del archivo GRB con que se desea trabajar con CMHA	127
Figura 11-7.- Hoja de descripción del listado de variables de los archivos GRIB	127
Figura 11-8.- Mapa HTML interactivo generado a partir de los resultados básicos de CMHA.	130
Figura 11-9.- Ejemplo de la salida completa del módulo ec_grib	133
Figura 11-10.- Base SIG de configuración del módulo CFFGS	134
Figura 11-11.- Uso de GIS-Grass como herramienta auxiliar en la configuración	135
Figura 11-12.- Archivo de ayuda de CFFGS	137
Figura 11-13.- Ventana de configuración general de CFFGS	137
Figura 11-14.- Configuración de variables de futuro	138
Figura 11-15.- Configuración de variables de pasado	139
Figura 11-16.- Mapas de valores agregados para un caso de aplicación de CFFGS	141
Figura 11-17.- Gráficas y tablas con estadísticas de la variable ARW para un caso de aplicación de CFFGS	141
Figura 11-18.- Capas SIG de máscaras para configurar CMF	144
Figura 11-19.- Archivo de ayuda de CMF	146
Figura 11-20	147
Figura 11-21.- Página web de resultados de CMF basada en el uso de comandos EDAPHI generales	149
Figura 11-22.- Hoja principal de configuración de CSispi	150
Figura 11-23: Esquema general de la solución	152
Figura 11-24: Ejemplo de contenido de carpeta con archivos GRIB proporcionados por AEMET	153
Figura 11-25.- Ventana de comandos	156
Figura 11-26.- Ventana de registro de actividad de GMeteo cuando se emplea el comando ciclo.cmd	157
Figura 11-27.- Archivo de configuración Conf_GMeteo.xlsx	158
Figura 11-28.- Archivo Conf_Map_Raster.xlsx para configuración de mapas de resultados en forma de mallas	159
Figura 11-29.- Ejemplo de resultado gráfico en formato matricial	159
Figura 11-30.- Archivo Conf_Map_Areales.xlsx para configuración de mapas de resultados de cálculos areales	160
Figura 11-31.- Ejemplo de resultado en formato vectorial	160
Figura 11-32.- Ejemplos de salidas gráficas generadas con los comandos descritos	163
Figura 12-1.- Influencia del parámetro k en la ponderación de lluvias en los días previos	165
Figura 12-2.- Influencia de k en la ponderación de cada día	166
Figura 12-3.- Areas de igual valor de k	168

Figura 12-4.- Mapa que ilustra la malla de valores de k en el caso de aplicación de la cuenca del Segura	169
Figura 12-5.- Una de las máscaras de área de configuración de la aplicación	171
Figura 12-6.- Ejemplos de algunos de los resultados gráficos relacionados con las lluvias	172
Figura 12-7.- Ejemplos de algunos de los resultados gráficos relacionados con los parámetros de escorrentía	172
Figura 13-1.- Carpetas de un caso de aplicación de MHH	179
Figura 13-2.- Organización de la carpeta de resultados de un caso de aplicación de MH	180
Figura 13-3.- Contenido del archivo Conf_MH_Gen.xlsx	181
Figura 13-4.- Configuración general de un caso de aplicación. Hoja Conf	181
Figura 13-5.- Ventana del modelo Hec-HMS	182
Figura 13-6.- Capas SIG de especificaciones de nodos tipo Q, V y S	184
Figura 13-7.- Especificación de nodos con series temporales dato (entradas al sistema hidrológico) en la hoja In del archivo de configuración (izquierda) y en el modelo Hec-HMS (derecha)	185
Figura 13-8.- Especificación de precipitaciones areales en la hoja In_S del archivo de configuración (izquierda) y en el modelo Hec-HMS (derecha)	186
Figura 13-9.- Indicación de método de cálculo de caudales en nodos de tipo Q	187
Figura 13-10.- Especificaciones en blanco si se desea que MH busque los caudales entre las series temporales dato	187
Figura 13-11.- Tablas de curvas de gasto en estaciones de aforos	188
Figura 13-12.- Almacenamiento de tablas CKn1 en el archivo de configuración	189
Figura 13-13.- Hoja Out para especificar los resultados	190
Figura 13-14.- Hoja Out ampliada para especificar parámetros relevantes para los cálculos	191
Figura 13-15.- Hoja de definición de un escenario pasado	192
Figura 13-16.- Hoja de especificación de parámetros de modelación de subcuencas en escenarios tipo PAS o SIM	193
Figura 13-17.- Hoja de especificaciones para el cálculo del parámetro a en función de la lluvia antecedente	194
Figura 13-18.- Definición de la función de transformación del parámetro de humedad antecedente para calcular a	195
Figura 13-19.- Hoja de especificación de parámetros de modelación de tramos en escenarios tipo PAS o ST.XLSX	196
Figura 13-20.- Hoja de especificación de parámetros de modelación de subcuencas en escenarios tipo CAL	197
Figura 13-21.- Hoja de especificación de parámetros de modelación de tramos en escenarios tipo CAL	198

Figura 13-22.- Hoja de definición de un escenario de calibración por zonas _____	199
Figura 13-23.- Hoja para agrupación de subcuencas en zonas _____	199
Figura 13-24.- Establecimiento de rangos de variación de parámetros por zonas _____	200
Figura 13-25.- Especificación de límites relacionados con parámetros en subcuencas por zonas de calibración _____	200
Figura 13-26.- Relación entre tramos y zonas de agrupación _____	201
Figura 13-27.- Rangos de variación y tolerancias de parámetros por zonas _____	201
Figura 13-28.- Tablas de parámetros en tramos fijados según zonas de calibración _____	202
Figura 13-29.- Hoja para especificación de los parámetros del algoritmo de computación evolutiva _____	203
Figura 13-30.- Hoja de definición de un escenario de tiempo futuro genérico _____	204
Figura 13-31.- Definición de escenario de análisis o simulación (tipo SIM) _____	204
Figura 13-32.- Definición básica de escenario de futuro con series HV _____	206
Figura 13-33.- Definición de series temporales HV en futuro _____	207
Figura 13-34.- Referencia a valores futuros de lluvia generados por otro módulo _____	208
Figura 13-35.- Estructura de carpetas de un caso de aplicación de MH _____	211
Figura 13-36.- Colección de gráficos en la carpeta Res\Grf\Nod _____	212
Figura 13-37.- Gráfico de comparación de escenarios de simulación en tiempo pasado _____	213
Figura 13-38.- Gráfico de previsión y notas _____	214
Figura 13-39.- Traza de pronósticos del hidrograma de entrada al embalse de Bellús (cuena del Júcar). _____	215
Figura 13-40.- Configuración general del semáforo sem-H. _____	218
Figura 13-41.- Configuración de variables que se esperan para cada escenario. Módulo sem. _____	219
Figura 13-42.- Página HTML con tiempos de propagación entre elementos de los sistemas hidrológicos _____	220
Figura 13-43.- Carpeta MH de un área con subcarpetas de casos _____	221
Figura 13-44.- Fragmento de una de las páginas web generadas con la utilidad cntrl_mh _____	223
Figura 13-45.- Una de las hojas de configuración de cntrl_mh _____	224
Figura 13-46: Ejemplo de resultado del comando scn -list_s _____	225
Figura 13-47: Ejemplo de resultado del comando scn -list_e _____	225
Figura 13-48.- Ejemplo de resultado del comando mod -l_nods _____	226
Figura 13-49.- Ejemplo de consulta de resultados con Google Earth _____	227
Figura 13-50.- Archivo de configuración de un mapa de resultados de un módulo MH _____	227
Figura 13-51.- Mapa interactivo HTML de resultados de un módulo MH _____	228
Figura 14-1.- Ejemplo de archivo con datos de caudal de salida _____	230
Figura 14-2.- Ejemplo de maniobra de apertura de órganos de desagües _____	232

Figura 14-3.- Ejemplo de hoja de configuración básica del archivo de configuración de un embalse	233
Figura 14-4.- Especificaciones de PE_XN en la configuración del modelo de pronóstico MHED	235
Figura 14-5.- Aplicación del método de Girón en el embalse de Bellús.	236
Figura 14-6.- Maniobra de desagüe definido por aperturas de válvulas y compuertas	237
Figura 15-1.- EDAPHI-MHH-H opera con procesos en paralelo para el análisis en tiempo pasado con submodelos	239
Figura 15-2.- Configuración de un hipermodelo MHH-H	240
Figura 16-1.- Ejemplo de variación de los índices en función de la lluvia en 24 horas	245
Figura 16-2.- Ejemplo de una tormenta en un día, supuesto en pasado, y la evolución de los índices	245
Figura 16-3. Ejemplo de dos tormentas consecutivas en dos días, la segunda mayor que la primera, y la evolución de los índices	246
Figura 16-4 Ejemplo de dos tormentas consecutivas en dos días, la segunda menor que la primera, y la evolución de los índices	247
Figura 16-5.- Ejemplos de mallas de datos adaptadas	250
Figura 16-6.- Ejemplo (caso de S_a) de malla original de la que se extrae la correspondiente para el caso de aplicación.	251
Figura 16-7. Ejemplo de archivos PNG de una malla acompañado del archivo de la tabla de colores.	251
Figura 16-8.- Gráfico de mapa con superposición de capas vectoriales	252
Figura 16-9.- Mallas representadas con cierta transparencia sobre un mapa.	253
Figura 17-1.- Hoja principal del libro de configuración de la aplicación.	261
Figura 17-2.- Configuración de la tabla auxiliar de cotas de nieve	262
Figura 17-3.- Hoja de configuración de temperaturas con corrección por altitud	263
Figura 17-4.- Hoja "Manto" para ilustrar el efecto de los parámetros de definición del manto.	264
Figura 17-5.- Representación con colores de la capa masc_areas.asc para cálculos areales.	266
Figura 17-6.- Carpeta de resultados	268
Figura 17-7.- Archivos tipo 2012-04-08-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.pcnO.mdt.xlsx, con estadísticas por franja de cota del MDT, y tipo 2012-04-06-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.stats.xlsx con estadísticas por tipo de cobertura de las imágenes MODIS.	270
Figura 17-8.- Representación de un archivo ASC tipo 2012-04-08-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.nv (valores no válidos) en formato gráfico (PNG)	270

Figura 17-9.- Ejemplo de archivo tipo 2012-04-08-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.pcnO.mdt.png con la representación de las estadísticas de la relación entre porcentaje de nieve y las cotas	271
Figura 17-10 Representación de un archivo ASC tipo PCN050-MOD10A1 (Celdas con porcentaje de nieve superior al 50 % y por encima de la cota de nieve) en formato gráfico (PNG)	271
Figura 17-11.- Hoja "Nieve" del archivo Snivales-PCN050-MOD10A1.xlsx	272
Figura 17-12.- Ejemplo de archivo de resultados de cálculo de fusión por subcuenca	273
Figura 17-13.- Ejemplo de tabla por subcuenca de cada iteración de cálculo de fusión nival	273
Figura 17-14.- Ejemplo de tabla resumen de cada iteración de cálculo de fusión nival	274
Figura 17-15.- Ejemplos de gráficos de evolución de subcuencas por fusión nival	274
Figura 17-16.- Proyecto QGIS incluyendo la capa de resultado final PCN50 en colores azules.	275
Figura 17-17.- La gráfica de la izquierda presenta una distribución de PCN con la cota que indica que recopiló información coherente de nieve en función de la altura. La de la derecha muestra gráfica de un día con dificultades para medir la nieve	276
Figura 17-18.- Las imágenes de valores no válidos se corresponden con los días de la figura anterior.	276
Figura 18-1.- Probabilidades de que un evento de determinado periodo de retorno se presente en un número de años	279
Figura 18-2.- Hoja con los parámetros de los ajustes	300
Figura 18-3.- Hoja con la tabla de cuantiles para cada combinación de distribución con métodos de ajuste	300
Figura 18-4.- Hoja con los indicadores de valoración de la combinatoria de distribuciones con métodos de ajuste	301
Figura 18-5.- Ejemplo de carpeta de resultados	302
Figura 18-6.- Gráfico de ajuste P para la distribución GEV	302
Figura 18-7.- Gráfico de ajuste T para el método de ajuste MOM	303
<Figura 18-8.- Gráfico P-P para el método de ajuste MLE	304
Figura 18-9.- Gráfico Q-Q para el método de ajuste LMOM	305
Figura 18-10.- Imagen de gráficos P-P y Q-Q para la combinación seleccionada	306
Figura 18-11.- Gráfico de ranking total	306
Figura 19-1.- Ventana emergente de ayuda de un comando de egrass_py3	309
Figura 20-1.- División en subcuencas y tramos realizados con GCuencas según enfoque matricial a partir de un MDT de celda de 25 metros. Tramos principales en color azul oscuro y de conexión (transporte) entre puntos en color más claro.	314
Figura 20-2.- Perfiles longitudinales obtenidos por el método matricial	315

Figura 20-3.- Algunas capas de interés procedentes de la aplicación CAUMAX: MDT500, P_T500 (lluvia de periodo de retorno de 500 años) y parámetro P0	315
Figura 20-4.- Superposición de información existente para el empleo de GCuencas en la cuenca de Yaque del Norte (República Dominicana).	316
Figura 20-5.- Subcuencas y tramos resultantes en el caso de la cuenca de Yaque del Norte en República Dominicana	317
Figura 20-6.- Configuración de GCuencas para el modo vectorial	318
Figura 20-7.- Configuración de GCuencas para el modo ráster	318
Figura 20-8.- Resultado del comando cuencas_csv_part que da lugar a subcuencas que forma una partición	321
Figura 20-9.- Resultado del comando cuencas_csv_comp que genera las subcuencas completas que drenan a cada punto dato	321
Figura 20-10.- Obtención de coordenadas en Grass	323
Figura 20-11.- Uso de comandos en la ventana de GCuenca	324
Figura 20-12.- Resultado de empleo de los comandos cuenca_xy y rio_ab_xy	325
Figura 20-13.- Mapa de resultados de GCuencas en formato SHP. Caso de aplicación de República Dominicana	328
Figura 20-14.- Mapa de resultados de GCuencas en formato SHP. Caso de aplicación español (cuenca del Segura)	328
Figura 20-15.- Ventana de GIS-Grass con los resultados de GCuencas	329
Figura 20-16.- Ventana de ayuda con instrucciones de uso de GCuencas	329
Figura 21-1.- Puntos de interés y nodos de representación del sistema hidrológico	332
Figura 21-2.- Hoja principal de configuración de GenMH	333
Figura 21-3.- Especificaciones de hietogramas triangulares en GenMH y caudales de entrada	334
Figura 21-4: Ventana de ayuda con instrucciones de uso de GenMH	334
Figura 21-5.- Resultados de GenMH	335
Figura 22-1.- Configuración del escenario único del caso de aplicación integrado en Ges	337
Figura 22-2.- Ejemplo de archivo de series de entrada para MHH integrado, generado por Ges	338
Figura 22-3.- Ejemplo de datos de salida de embalse para Ges	339
Figura 22-4.- Hoja principal de configuración de Ges	340
Figura 22-5.- Configuración de una tormenta	341
Figura 22-6.- Definición del frente de la tormenta	342
Figura 22-7.- Ejemplo de tormenta en un instante dado. Gráfico generado con el comando ges -plt_p_t	342
Figura 22-8.- Especificación de las variables de salida para generar archivos de episodios en la hoja STGen	343

Figura 22-9.- Especificación del nombre de archivo de series de caudales de salida de embalses,	343
Figura 22-10.- Resultados gráficos	344
Figura 23-1.- Ventana de acceso al sitio a través de la url http://www.saihsegura.es/edaphi	349
Figura 23-2.- Primera página. Acceso a los módulos y casos de aplicación	349
Figura 23-3.- Aspecto de la primera página de lluvias	350
Figura 23-4.- Página de resultados relevantes del cálculo de lluvias	350
Figura 23-5.- Página con mallas de lluvias por intervalos	351
Figura 23-6.- Gráficos de consulta rápida de lluvias	351
Figura 23-7.- Acceso a mapas interactivos junto a animaciones gráficas	352
Figura 23-8.- Página de consulta rápida de pronósticos de lluvias, con gráficos y tablas de estadísticas	353
Figura 23-9.- Página de consulta de mallas de pronósticos de lluvias	353
Figura 23-10.- Mapa interactivo para la consulta de datos SAIH	354
Figura 23-11.- Acceso a los pronósticos según una división de la cuenca apropiada para el análisis hidrológico	354
Figura 23-12.- Página con gráficos de series temporales de pronósticos en un subsistema	355
Figura 23-13.- Consulta de pronósticos hidrológicos en un mapa de la cuenca	355
Figura 23-14.- Página principal de SIPIF, el sistema Sistema de Pronóstico Integrado de Inundaciones Fluviales para República Dominicana	356
Figura 23-15.- Organización principal de la información hidrológica en la web de SIPIF	356
Figura 23-16.- Datos pasados de interés en el pronóstico hidrológico en SIPIF	357
Figura 23-17.- Consulta de información de lluvias pasadas para el pronóstico hidrológico en SIPIF	357
Figura 23-18.- Detalle de página sobre humedad del terreno en el módulo hidrológico de SIPIF	358
Figura 23-19.- Detalle de lluvias futuras en el módulo hidrológico de SIPIF	358
Figura 23-20.- Clasificación de puntos de interés en una cuenca compleja del sistema SIPIF	359
Figura 23-21.- Página de acceso a toda la información para un caso hidrológico sencillo en SIPIF	359
Figura 23-22.- Uso de mapas de acceso a datos y resultados en el caso de Haití	360
Figura 24-1.- Ventana de ayuda	366
Figura 24-2.- Ventana de creación de "buffer de distancia fija"	370
Figura 24-3.- Edición del área de recorte basada en el área buffer	370
Figura 24-4.- Ventana de creación o selección de Location y Mapset de Grass	371
Figura 24-5.- MDT importando en Grass	372

Figura 24-6.- Preparación de capas principales en QGIS	372
Figura 24-7.- Ejemplo resultado de creación automática de secciones	373
Figura 24-8.- Edición de secciones creadas automáticamente	374
Figura 24-9.- Definición de orillas y muros	375
Figura 24-10.- Definición del sistema de referencia en HecRas	376
Figura 24-11.- Importación del MDT desde HecRas	376
Figura 24-12.- Importación del archivo SDF desde la ventana de geometría de HecRas	377
Figura 24-13.- Generación de mallas de calados desde RasMapper	378
Figura 24-14.- Revisión de ancho de secciones a la vista de los resultados de los cálculos de inundación	379
Figura 24-15.- Revisión de muros a la vista de los resultados de HecRas	380
Figura 24-16.- Ejemplo de problemas en la definición de zonas inundadas con RasMapper.	381
Figura 24-17.- Exportación de archivo SDF desde HecRas para su uso con los comandos DE_SDF_	382
Figura 24-18.- Capas generadas con el comando DE_SDF_GEOM a partir del SDF creado desde HecRas	382
Figura 24-19.- Edición de los límites de cada perfil de cálculo	383
Figura 24-20.- Resultados de cálculo de zonas inundadas con el comando de_sdf_res_nolim que emplea los límites de perfiles editados	384
Figura 24-21.- Todas las tareas pueden realizarse directamente en Grass, sin necesidad de otro SIG	384
Figura 24-22.- Análisis final de resultados reflejados en una capa de comentarios	385
Figura 24-23.- Unión de límites de inundación	386
Figura 24-24.- Importar geometría de un archivo HecRas	387
Figura 24-25.- Opciones de importación de geometría	388
Figura 24-26.-Gráfico con la situación de las secciones del modelo sin georreferenciar y digitalización de las mismas en un SIG	389
Figura 24-27.- Renombrado de secciones	389
Figura 24-28.- Edición de coordenadas en HecRas	390
Figura 24-29.- Archivos MID y MIF de MapInfo de las secciones en planta	390
Figura 24-30.- Edición de coordenadas del tramo	391
Figura 24-31.- Inversión de nodos de la sección	391
Figura 24-32.- Digitalización de secciones extendidas	392
Figura 24-33.- Combinación de secciones. En la zona roja se seleccionarán los puntos de Sdf_Sec. En la azul los de Sdf_Prin	393
Figura 24-34.- Ejemplo de estructura antes y después de la extensión de las secciones	393

<i>Figura 24-35.- Superposición de modelos. La sección marcada en rojo, perteneciente al modelo principal, se eliminará para insertar el submodelo</i>	394
<i>Figura 24-36.- Inserción de un submodelo importando geometría</i>	394
<i>Figura 25-1.- Esquema del modelo de Témez para la evaluación de recurso hídricos</i>	398
<i>Figura 25-2.- Esquema simplificado del modelo de Témez</i>	398
<i>Figura 25-3.- Evolución de los usos del suelo</i>	399
<i>Figura 25-4.- Resultados de síntesis. Estadísticos anuales.</i>	400
<i>Figura 25-5.- Valores medios mensuales</i>	400
<i>Figura 25-6.- Archivos de MS-Excel con vínculos a CSV, programas VBA para consultas y cálculos.</i>	401
<i>Figura 25-7.- Consulta de resultados en otro SIG (caso QSIG)</i>	402
<i>Figura 25-8.- Mallas con resultados de balances</i>	402
<i>Figura 26-1.- Base SIG para un caso de aplicación (Yaque del Norte en República Dominicana) definida con GCuencas</i>	408
<i>Figura 26-2.- Base SIG de Prec para el mismo caso de aplicación</i>	408
<i>Figura 26-3.- Esquema de adaptación del hidrograma unitario para intervalos de tiempo diarios</i>	409
<i>Figura 26-4.- Caudal base representado en el hidrograma unitario</i>	410
<i>Figura 26-5.-Hoja principal de configuración de ADDA</i>	411
<i>Figura 26-6.- Definición de un escenario de cálculo</i>	411
<i>Figura 26-7.- Establecimiento de parámetros PQ_NC_APL_QBC en una hoja</i>	412
<i>Figura 26-8.- Ejemplo de gráfico de resultados que incluyen precipitación (amarillo), caudal calculado (negro) y caudal dato (rojo)</i>	412
<i>Figura 26-9.- Ejemplo de gráficos de resultados de cálculo de errores en función del periodo de cálculo de precipitación antecedente</i>	413
<i>Figura 27-1.- Ejemplos de resultados de mapas y hojas de cálculo</i>	416

C. Tablas

Tabla 1.- Resumen de módulos según su ámbito de utilización	19
Tabla 2.- Relación del estado de los grupos de estado de humedad antecedente (I, II, y III), en hidrología de diseño, con la precipitación en los últimos 5 días.....	62
Tabla 3.- Relación de la Tabla 2 expresada en valores medios diarios de precipitación.....	63
Tabla 4.- Ejemplo de tabla alfanumérica asociada a un SHP que define los nodos de tipo Q	69
Tabla 5.- Comandos del módulo GMeteo.....	155
Tabla 6.- Filas de la hoja Conf del archivo de configuración de la aplicación relacionadas con los datos de entrada.	167
Tabla 7.- Tabla que relaciona las áreas de igual k con los valores	169
Tabla 8.- Nivel de amenaza por umbral de escorrentía según su índice.....	247
Tabla 9.- Nivel de amenaza por retención según su índice	248
Tabla 10.- Nivel de amenaza por variación de escorrentía según su índice	248
Tabla 11.- Opciones de configuración del módulo relacionadas con el origen de los datos.	250
Tabla 12.- Comparativa MOD10A1 y MYD10A1	257
Tabla 13.- Capas de cada archivo HDF de MODIS	258
Tabla 14.- Configuración de los valores del factor de fusión	261
Tabla 15.- Tabla descriptiva que acompaña a la de configuración de la auxiliar de cota de nieve	262
Tabla 16.- Parámetros de definición del manto de nieve que se especifican en la hoja "Conf"	263
Tabla 17.- Densidad de la nieve según el tipo	264
Tabla 18.- Especificaciones de áreas de cálculo en la hoja "Conf".....	265
Tabla 19.- Probabilidades de que un evento de determinado periodo de retorno se presente en un número de años.	279
Tabla 20.- Métodos de cálculo de probabilidad empírica.....	280
Tabla 21.- Comparativa de métodos de ajuste de distribuciones	286
Tabla 22.- Indicadores de la calidad del ajuste	288
Tabla 23.- Indicadores y sus pesos para la elaboración del ranking	289
Tabla 24.- Comandos del módulo GHR	365
Tabla 25.- Comandos del módulo MTG	403

1 Introducción

EDAPHI es el entorno de desarrollo de modelos de análisis y pronóstico hidrológicos. Consiste en una serie de bibliotecas de programación que permiten la generación de aplicaciones de análisis y pronóstico hidrológico, y tiene asociados una determinada organización de módulos (aplicaciones), una organización de su código de programación, y una estructura de archivos.

Gran parte de las bases de EDAPHI se encuentran descritas en el libro "BASES SPH 2015.- Bases conceptuales y organizativas para los sistemas de predicción hidrológica" (Angel Luis Aldana Valverde, 2015), que puede ser descargado de <https://www.angel-l-aldana.com/publicaciones> o adquirir una copia en papel en <https://www.bubok.es/libros/240907/BASES-SPH-2015-Bases-conceptuales-y-organizativas-para-los-sistemas-de-prediccion-hidrologica>. En dicha publicación puede encontrarse el complemento de lo que aquí se trata. En algún caso, se harán referencias concretas e incluso se incorporará algún texto de manera literal o adaptada.

Hay muchos detalles de la solución cuya descripción implicaría un documento de gran volumen. Dichos detalles están en el código de programación, el cual está completamente documentado conforme a estándares. El código va acompañado de documentación aparte en diferentes formatos. Este documento es suficientemente descriptivo de los desarrollos, de sus fundamentos y de sus posibilidades, y su contenido es básico (conviene su lectura previa a la utilización del código) y complementario de la documentación del código.

Se trata de una solución en continua evolución, por lo que este documento puede estar algo desfasado respecto a la última versión del entorno. Aquí se describe la cuarta versión difundida, EDAPHI-2026, después de EDAPHI-2020, 2021 y 2023.

2 Soluciones para el análisis y el pronóstico hidrológico

Los problemas de la hidrología operacional, que con frecuencia se desempeña en los Servicios Hidrológicos Nacionales, tienen una componente científica, pero, actualmente, la relevancia de ésta no es tan grande como pudiera parecer. Rara vez puede atribuirse el fallo de un sistema de pronóstico a deficiencias científicas de la solución. Los errores que se detectan en los sistemas en operación están en otro orden de magnitud y suelen estar asociados a falta de recursos materiales que aseguren datos de calidad y en cantidad suficiente, y, sobre todo, humanos, por falta de personal suficiente, en número y entrenamiento.

La solución para el análisis y pronóstico hidrológico es claramente algo más que una cuestión científica y tecnológica. Al asumir esto, los enfoques para las soluciones tienen que ser coherentes con esta realidad. Además, deben considerar las fases de uso de modelos, desde su implementación hasta la puesta en marcha, y las condiciones en que van a ser usados.

Estas reflexiones y otras consideraciones deben ser tenidas en cuenta en el diseño y desarrollo de plataformas como EDAPHI, y en su uso, por ello se incluye este capítulo con ellas.

2.1 Condiciones de operación

En un centro de proceso de un sistema de monitoreo y pronóstico hidrológico se realizan un gran número de tareas. Especialmente en casos de crecidas, más aún si se trata de fenómenos hidrológicos con tiempos de respuesta cortos o medios, estas tareas hay que realizarlas en tiempo breves. Hay que generar informes, atender a problemas de hidrometría o telemetría, atender a llamadas o realizar otras para contrastar medidas o solucionar problemas que surgen, a menudo asociados a las condiciones de tormenta, ... Y hay que supervisar y corregir el funcionamiento de los modelos de previsión.

La combinación de la necesidad de ofrecer soluciones robustas y acertadas a tiempo cuenta con la dificultad añadida de las condiciones de trabajo en situaciones de crecidas. Especialmente cuando la magnitud del fenómeno hidrometeorológico es grande, surgen todo tipo de problemas que complican la labor de la plantilla de personal al cargo del sistema. Averías en sensores, retrasos en comunicaciones y fallos del suministro de la energía eléctrica son ejemplos de eventualidades frecuentes. En caso de una plantilla escasa, los miembros se ven obligados a jornadas de trabajo más largas y con horarios

que se tienen que adaptar al transcurrir de los acontecimientos, lo que lleva al cansancio y éste a dificultades para el análisis. Un modelo puede ayudar a realizar análisis y pronósticos, pero es una herramienta de apoyo que, a su vez, requiere supervisión y correcciones, tareas que requieren unas capacidades intelectuales en el momento difícilmente compatibles con el cansancio y el estrés, lo que debe ser tenido en cuenta en el diseño de la aplicación informática, y en la definición de la plantilla de personal.

2.2 Tamaño de la plantilla y perfiles profesionales

Para que un sistema de pronóstico en tiempo real funcione, debe contar con un equipo de especialistas con experiencia operacional, conocimiento del área geográfica y formación amplia en varias disciplinas. Por cantidad y por tipo de trabajo, las exigencias para el equipo humano responsable son altas.

Por ello, es imprescindible un número mínimo de hidrólogos bien formados y entrenados. En la práctica, la formación se logra con apoyos, y la experiencia se adquiere y también puede ser transmitida. Así, el perfil de la plantilla de personal es el menor de los problemas, solo requiere algo de tiempo. Sin embargo, el principal defecto suele ser el número de la plantilla. Por absurdo que parezca, más aún teniendo en cuenta la magnitud económica y social de los problemas que se abordan, la tarea de crear y mantener una plantilla apropiada es, en la práctica y en la mayoría de los casos, la más ardua.

2.3 Estudios previos

Las soluciones en la hidrología operacional, sobre todo para los sistemas de pronóstico en tiempo real, pueden y deben basarse en estudios previos. Cuando se cuenta con ellos, se cuenta con conocimiento y cuantificación de los fenómenos hidrológicos y cuestiones relacionadas que pueden incorporarse a las soluciones. Por tanto, la implementación de un nuevo sistema necesitará menos gasto y tiempo. También el mantenimiento y mejora de una solución existente tiene que aprovechar otras fuentes de información y conocimiento.

2.4 Información disponible. Operación en tiempo real

La primera necesidad con que cuenta un sistema de pronóstico en tiempo real es la de la información a tiempo, en cantidad suficiente y de calidad. De poco sirve un buen modelo bien calibrado si no cuenta como entrada con un conjunto de datos de medidas

hidrológicas que cumplan esas condiciones. La primera y, muy a menudo, principal fuente de incertidumbre o error de un modelo de pronóstico está en los datos de entrada.

2.5 Costes

Es bien conocido que la implementación de una red telemétrica de medidas hidrológicas tiene un coste de implementación, de construcción. Requiere inversión que periódicamente debe actualizarse. Pero a menudo no se cubren de manera suficiente los costes de operación y mantenimiento, que con frecuencia superan el 10% de la inversión y pueden aproximarse al 15% o, incluso, al 20%. Si no hay un buen mantenimiento de las estaciones de medida y no se calibran con la periodicidad necesaria, no proporcionarán información con las condiciones antes apuntadas.

Otro tanto puede decirse de otros elementos de un sistema de pronóstico, como las comunicaciones o la informática. Y no debe olvidarse que los modelos, como el resto del software, cuenta con las mismas necesidades.

Entre los costes de operación están las plantillas de personal que hay que asumir, según lo referido anteriormente.

3 Principales características de la solución

3.1 Sistema abierto

La configuración de aplicaciones puede realizarse de manera sencilla y adaptable. En general, se opta por archivos de uso común para definir los parámetros de configuración de los diferentes módulos, incluidos los parámetros hidrológicos (ver capítulo 4).

Tal y como se expone en el mismo capítulo 4, y relacionado con la arquitectura de la solución, el uso de módulos o utilidades está muy abierta a través de llamadas a programas por comandos. Los módulos de uso, programas que pueden ser llamados desde la línea de comandos del sistema operativo, están, generalmente, relacionados directamente con un módulo de programación (archivo PY de Python), lo que facilita aún más el uso del entorno.

El código se ha desarrollado con criterios de estilo orientados a la sencillez. Incluso hay módulos orientados a ser usados como material de enseñanza y entrenamiento en programación.

3.2 Arquitectura modular

Tal y como se ha anticipado, las aplicaciones desarrolladas se han organizado en módulos independientes. Cada módulo puede usarse de manera autónoma, con pocas interdependencias, salvo en las partes comunes. Hay dos grupos de módulos en la programación:

- Comunes. - Módulos de código de propósito general que pueden ser usados por otros módulos.
- Específicos. - Módulos asociados a un módulo de aplicación concreto

En cuanto a los módulos de aplicación (MH, Prec, etc. – que se describen en otros capítulos), se diferencian en:

- General. - Hay un módulo que tiene la responsabilidad de mantener los datos generales o algunos aspectos de configuración que faciliten la interacción y coherencia de aplicaciones y la información común.
- Especializados. – Se trata del resto de módulos, cada uno especializado en unas tareas específicas y con unas funcionalidades.

Estas diferenciaciones se trasladarán también a los comandos disponibles (ver capítulo 7) desde cada caso de aplicación.

Cabe la opción de que la salida de un módulo, o de su aplicación a un caso concreto, sea la entrada para otro. Incluso un módulo puede integrarse en otro. Pero también puede tomarse como entrada otro origen a seleccionar por el usuario.

3.3 Costes bajos de desarrollo e implementación.

El desarrollo e implementación de sistemas de monitoreo y pronóstico hidrológico puede tener costes muy altos. El concepto de EDAPHI lleva a una solución de bajo costo en el desarrollo y adaptación de soluciones y también en la implementación.

Se trata de una solución muy flexible que facilita el aprovechamiento de utilidades de dominio público.

Incluso, ante la necesidad de desarrollos específicos para un caso de aplicación, los costes serán bajos gracias a que se cuenta con una biblioteca de código multipropósito con la que, muy probablemente se encuentre solución con poco código nuevo.

3.4 Aprovecha los conocimientos generales del perfil estándar de hidrólogo

Un hidrólogo operacional requiere un conjunto de capacidades raras en la formación estándar de los hidrólogos. Este entorno ha buscado apoyo en soluciones de la hidrología de estudios, análisis o diseño, para convertirlas en soluciones para su uso operacional, incluso en tiempo real.

Esto reduce los tiempos y esfuerzos necesarios para capacitar al personal, pues los requerimientos de formación y entrenamientos específico se reducen mucho.

3.5 Ampliable y escalable

Gracias a su enfoque, arquitectura y complementos, de tipo modular, el entorno permite implementar una solución que puede ir creciendo en fases sucesivas, tanto desde un punto de vista geográfico (ampliación del número de casos y extensión del área de aplicación), como desde el punto de vista de tipos de problemas a abordar.

El código ha sido concebido y desarrollado para incorporar utilidades de cálculo y simulación de diversos tipos, por lo que está abierto a incorporaciones que no se detallan aquí. Algunos de los módulos de aplicación que aquí se describen son ejemplos de lo que puede desarrollarse. Así, del mismo modo que MHH se basa en software Hec (ver capítulo 11.4), también puede funcionar con modelos propios o con otras aplicaciones externas.

3.6 Integradora de las soluciones

Todas las características, anteriormente descritas, van a facilitar la integración de soluciones, no solo desde un punto de vista informático, sino también, o, sobre todo, organizativo.

3.7 Fácilmente integrable en otras soluciones

Los casos de aplicación recientes (2023) demuestran que las soluciones parciales generadas con EDAPHI son fácilmente integrables en sistemas más complejos. Un ejemplo está en el sistema implementado en República Dominicana, cuyo enfoque se describe en la publicación "Synergies between hydrometeorological systems in the Dominican Republic" (<https://community.wmo.int/activity-areas/hydrology-and-water-resources/IRFF-in-Dominican-Republic>).

También se realizaron pruebas en una experiencia piloto para el SAIH-Júcar (2024) en el que se integró con el sistema FEWS (<https://www.deltares.nl/en/software-and-data/products/delft-fews-platform>)

El caso más reciente (2026) es el de la inclusión en del módulo de amenazas hidrológicas en las ramblas costeras.

3.8 Sostenible

La sencillez del código y de las aplicaciones (hasta lo posible, dada la complejidad del sistema y de los problemas que aborda) facilita el mantenimiento de las soluciones que se generen con este entorno. No cuenta con gastos de mantenimiento de licencias, no tiene exigencias especiales de instalación en ordenadores, las soluciones pueden adaptarse a diferentes capacidades de cálculo de las máquinas disponibles y no requiere gastos importantes en formación y entrenamiento. Todo ello contribuye a que las soluciones basadas en EDAPHI cuenten con garantías de sostenibilidad.

Por otra parte, la estrategia del autor es compartir el código en una comunidad de especialistas experimentados en la hidrología operacional. Ello lleva a grandes ventajas y beneficios en favor de los involucrados, y de la misma solución.

4 Enfoque general de los desarrollos informáticos

Los siguientes apartados reflejan aspectos generales, intrínsecos al entorno EDAPHI, que afecta a todos los módulos, aunque la flexibilidad de la solución permite excepciones por necesidades de adaptación, y extensiones para una mayor versatilidad.

4.1 Lenguajes y herramientas complementarias

Los desarrollos informáticos especializados se realizan con herramientas informáticas libres, gratuitas. En algunos casos serán de código abierto (esto no depende de EDAPHI).

Los desarrollos que se hacen sobre esta base tienen ventajas importantes, entre las que se destacan:

- No requieren licencias de uso iniciales ni de mantenimiento.
- Se basa en soluciones de uso muy extendido, por lo que la transferencia de resultados a los usuarios y desarrolladores es fácil.
- Hay una comunidad de usuarios amplia que ofrece soluciones e, incluso, aplicaciones o código de libre disposición.

También podrían incorporarse herramientas comerciales, lo que no se ha hecho hasta la fecha, pues no contaría con las ventajas anteriores.

Para los módulos que aquí se describen se emplean:

- SIG: SIG Grass (<https://grass.osgeo.org>), QGIS (<https://www.qgis.org>)
- Programas Hec (<http://www.hec.usace.army.mil/software>): Ras, HMS, DSS-Vue

El lenguaje principal es Python (<https://www.python.org>), con alguna de sus variantes o modos de uso asociado a aplicaciones específicas (PyGrass en el SIG Grass o Jython en Hec-Dss-Vue, por ejemplo). También se emplean partes de código en VBA (Visual Basic para aplicaciones Microsoft), VB Script o Html.

4.2 Instantes y periodos.

En primer lugar, se diferencian los siguientes instantes:

- Instante inicial (t_{ini}).- Instante del inicio de los cálculos
- Instante final (t_{fin}).- Instante del fin de los cálculos

Cuando se opera en tiempo real realizando pronósticos, se incluye, además:

- Instante actual (t_0).- Instante del final de tiempo pasado e inicio del tiempo futuro. En las gráficas de variables se marca este instante con una barra vertical negra
- Instante de ejecución.- Instante en que se realizaron los cálculos

El instante de ejecución será, en operación en tiempo real, superior al instante actual, pues éste está referido a los datos, los cuales tendrán un cierto retraso.

Así, tendremos los siguientes periodos de tiempo:

- Pasado: entre t_{ini} y t_0
- Futuro: entre t_0 y t_{fin}

En un caso de simulación convencional, de análisis de un periodo de tiempo en fases de estudio, puede no tener sentido el uso de t_0 , por lo que se emplearán t_{ini} y t_{fin} para definir el periodo total de cálculos.

4.3 Formato de archivo de series temporales

Las series temporales se almacenan en forma de tablas en archivos XLSX o CSV con un formato interno concreto. La figura ilustra y documenta el formato adoptado.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Instante actual:	20/04/2019 14:00																
2	Valor inválido:	-1																
3	Nombre variable:	IIIB1	IB3	IB10	IA7	IIIB2	IIIB	IIA2	IIA5	IIA1	IIA4	IIA6	IA4	IIA3	IIIC	IIIA1	IIIA6	IIIA7
4	Tipo:	Uluv	Uluv	Uluv	Uluv	Uluv	Uluv	Uluv	Uluv	Uluv	Uluv	Uluv	Uluv	Uluv	Uluv	Uluv	Uluv	Uluv
5	Modelo:	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-
6	Instante \ unidades:	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
7	20/04/2019 14:00	0.37	1.89	1.08	6.88	0.71	0.4	5.72	2.08	2.75	1.93	2.47	0.9	2.77	0.88	1.94	2.3	0.95
8	20/04/2019 15:00	0.26	1.62	0.24	3.51	0.2	0.01	4.97	1.48	2.4	1.59	0.79	0.78	2.98	0.21	0.71	1.09	0.85
9	20/04/2019 16:00	0.05	2.08	0.38	2.62	0	0	2.77	0.37	1.44	0.28	0.23	0.22	0.96	0.01	0.33	0.33	0.09
10	20/04/2019 17:00	0.01	3.58	1.19	2.7	0	0	2.77	0.37	1.44	0.52	0.34	0.74	0.87	0.29	0.36	0.39	0.36
11	20/04/2019 18:00	0.01	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
12	20/04/2019 19:00	0.01	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
13	20/04/2019 20:00	0.01	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
14	20/04/2019 21:00	0.01	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
15	20/04/2019 22:00	0.01	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
16	20/04/2019 23:00	0.01	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
17	21/04/2019 00:00	0	0.28	0.15	0.68	0	0.01	1.42	0.42	0.43	0.45	0.43	0.45	0.43	0.45	0.43	0.45	0.43
18	21/04/2019 01:00	0.01	0.12	0.19	0.74	0	0	0.93	0.31	0.28	0.28	0.31	0.28	0.31	0.28	0.31	0.28	0.31
19	21/04/2019 02:00	0	0.21	0.15	0.73	0	0	0.93	0.14	0.03	0.23	0.42	0	0	0	0	0	0
20	21/04/2019 03:00	0	0.24	0	0.49	0	0	0.93	0.14	0.03	0.23	0.42	0	0	0	0	0	0
21	21/04/2019 04:00	0	0	0	0.13	0	0	0.42	0	0.22	0.05	0	0.07	0.28	0	0	0	0
22	21/04/2019 05:00	0	0	0	0.05	0	0	0.2	0	0.29	0.02	0	0.14	0.14	0	0	0.01	0
23	21/04/2019 06:00	0.03	0	0.17	0.48	0.2	0.14	1.03	0.20	0.55	0.34	0.27	0.63	0.45	0.01	0.07	0.2	0.04

Figura 4-1.- Ejemplo de archivo de series temporales

Se asocian los siguientes identificadores de tipos de series:

- P.- Lluvia en pluviómetro o subcuenca
- Q.- Caudal en estación de aforos o caudal que drena una subcuenca
- C.- Nivel en estación de aforos
- N.- Nivel en embalse
- S.- Caudal de salida de embalse hacia el río
- ST.- Caudal total de salida de embalse (salida al río más derivaciones)
- E.- Caudal de entrada al embalse
- V.- Volúmen almacenado en embalse

Cabe hacer excepciones. Así, en el caso de los resultados de la aplicación GMeteo, los resultados de lluvia futura en subcuenca se identifican con Lluv, aunque esto es configurable. Como también es configurable la especificación correspondiente en los módulos MH que usan esta información, por ejemplo.

4.4 Datos de entrada

Se ha diseñado el entorno para que el usuario pueda configurar las aplicaciones con formatos y útiles que se usan habitualmente, como la herramienta de ofimática Excel de Microsoft (MS-Excel).

En algún caso concreto, ha sido necesario ampliar el código para admitir algún tipo especial de formato de almacenamiento.

4.4.1 Datos geográficos

Cuando una aplicación requiera alguna capa SIG como dato, se adoptará el formato Shape (SHP) cuando se trate de tipo vectorial, o ASC (texto) cuando sea matricial (ráster). Ambos son formatos del software ArcGIS. También se puede usar el formato texto de GIS-Grass, el MIF/MID de Mapinfo y otros, aunque la mayoría de los módulos se implementan con los anteriores.

4.4.2 Series temporales

Los datos de entrada de variables, series temporales, se leen en formatos de hoja de cálculo, bien de tipo texto delimitado (CSV) o bien en formato más reciente de hoja de cálculo MS-Excel (XLSX).

También se puede acceder a datos almacenados en otros formatos de archivos, incluso se puede acceder a bases de datos. Un caso particular es el de las series almacenadas en archivos DSS, usado con las aplicaciones Hec.

El acceso a la información de series temporales puede hacerse también a través de método y medios más sofisticados, como los expuestos en el capítulo 27.

4.4.3 Información meteorológica

Se pueden leer archivos GRIB (como el usado para los resultados de los modelos numéricos de predicción del tiempo Harmony-Harome), AREA (empleado para las mallas de precipitación basada en datos radar de AEMET, por ejemplo), HDF5 y otros.

4.5 Parámetros de configuración

Los parámetros de configuración de las aplicaciones, que definan su funcionamiento o algún parámetro de modelación, se almacenan en hojas de cálculo Excel. La mayoría de los parámetros de modelación, salvo los que se consideran relevantes, son incluidos en los archivos específicos de la herramienta auxiliar (caso de Hec-HMS, por ejemplo), así como datos de configuración de la aplicación

4.5.1 Ventajas de usar libros MS-Excel como archivos de configuración

Los archivos MS-Excel son ampliamente usados, por lo que no es necesario un entrenamiento especial para ello. Facilitan incluir notas, comentarios e información complementaria. Permiten formatos de visualización que facilitan la lectura e interpretación de los parámetros que almacenan. Con todo ello se cuenta con unos archivos de configuración autoexplicativos completamente documentados.

Nota: Los archivos XLSX que se usan para configurar módulos suelen formatearse con códigos de colores, conforme a lo siguiente: los campos (celdas) que pueden modificarse aparecen en color verde, negrita y fuente algo mayor que la normal. Los textos en rojo no deben alterarse. En color naranja aparecerán celdas que se recomienda no modificar o hacerlo con precaución. El resto suele tener carácter complementario, aunque también puede ser celdas para cálculos o calculadas.

Screenshot 1: Subcuencas HechMS. Condiciones III

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Subcuencas HechMS. Condiciones III	Lag	Q0_Base	K_Reces	Qth_Base	CN	CNa	P0a	Area		Columna auxiliar. El código no la usa		a	Sa
2	S-EH. Pena Ranchadero	639.33	1.55	1.00	0.00	76.76	87.90	3.50	388.54		Estación hidrométrica Peña Ranchadero		2.20	34.95
3	S-R. Yaque - Cana	884.88	2.05	1.00	0.00	77.68	88.45	3.32	512.31		Rio Yaque antes de la desembocadura del río Cana		2.20	33.17
4	S-Castanuelas	705.75	0.21	1.00	0.00	76.78	87.91	3.49	51.98		Rio Yaque del Norte en Castanuelas		2.20	34.92
5	S-R. Guayubín - Yaque del N	546.84	0.46	1.00	0.00	75.36	87.06	3.77	115.29		Rio Guayubín en desembocadura a río Yaque del Norte		2.20	37.74
6	S-EH. Sabaneta	617.84	1.64	1.00	0.00	77.25	88.19	3.40	408.79		Estación hidrométrica Sabaneta		2.20	34.00
7	S-F. Charicuv	606.61	0.77	1.00	0.00	78.81	89.11	3.10	193.45		Embalse del río Charicuv		2.20	31.05

Screenshot 2: PRECPAS

	A	B	C	D	E	F
4	DESC	FFGS-MAP_EHA-Hum	Descripción			
5	SERIES_DAT		Donde se buscarán las series de entrada (datos)			
6	PARAM_TAB	Propaga_KX Parámetros de propagación Param_Trm_Rap	Tabla de parámetros de tramos			
7	PARAM_TAB	PQ_NC_Lag_Rec Parámetros de lluvia-escurrentia Param_Subc_III	Tabla de parámetros de subcuencas			
8	COLOR	blue	Ver comando color_nombres_list o color_nombres			
9	LINEWIDTH	1	>= 1			
10	LINESTYLE	solid	solid, dashed, dashdot, dotted, -, --, -., None, ,			
11	PRECPAS	Series dato %EDAPHI_DIR_AREA%\CFFGS\Res\MAP\Nod_S_Areas_YN_MAP.xlsx Series	Series datos de lluvias pasadas en subcuencas			

Figura 4-2. – Ejemplo de archivo de configuración de una aplicación

4.6 Presentación de resultados. Salidas

4.6.1 Datos geográficos

Se emplean los mismos formatos que para las entradas

4.6.2 Series temporales

Los resultados se almacenarán en formato CSV o XLSX, como las series de entrada.

Los resultados que se almacenan en formato XLSX no cuentan con formatos especiales ni gráficos. Se recomienda vincular los resultados desde un archivo en el que se resuman valores en tablas, se generen gráficos y se adopten formatos que faciliten la lectura y proporcionen una buena presentación (Figura 4-3).

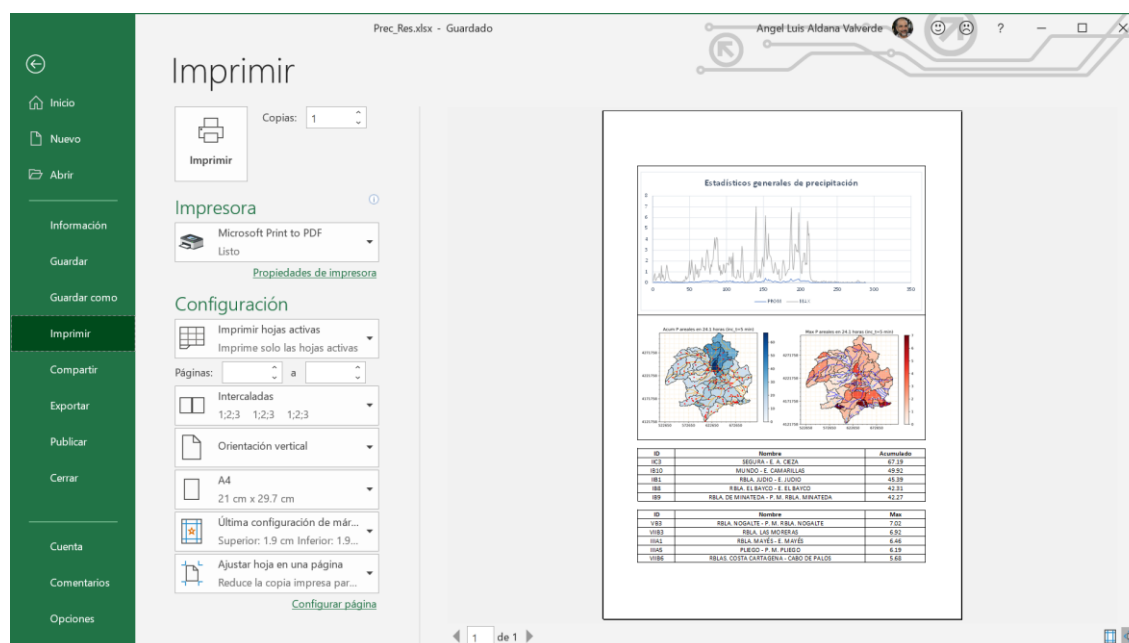


Figura 4-3.- Ejemplo de preparación de resultados en MS-Excel con vínculos a resultados

4.6.3 Tablas

Además de las tablas contenidas en las hojas de cálculo XLSX mencionadas anteriormente, se cuenta con resultados en formato HTML.

4.6.4 Gráficos

Además de los gráficos que pueden encontrarse en hojas de cálculo XLSX, las aplicaciones generan gráficos en formato PNG de series temporales de resultados.

4.6.5 Mapas

EDAPHI cuenta con posibilidades de generar mapas:

- En ventanas interactivas.- Especialmente útiles para los usuarios más avanzados para la consulta de detalles de resultados. Es el caso de consulta de mallas de precipitación, por ejemplo.
- En gráficos.- Generación de archivos gráficos con representaciones de mapas, útiles para consultas rápidas en la carpeta de resultados o para ser publicados en una página web.
- Mapas web.- La versión más reciente del entorno genera archivos HTML con mapas interactivos que muestran mallas, gráficas de series asociadas a puntos, líneas o polígonos, información alfanumérica asociada a los mismos tipos de entidades. Todo ello con diferentes mapas de fondo y con utilidades de búsqueda

4.6.6 Animaciones

Los gráficos de series temporales o de mapas pueden incluirse en un archivo tipo GIF o MPEG, por ejemplo, para crear animaciones, lo que aumenta las posibilidades de consulta de resultados.

4.6.7 Mensajes sobre los gráficos

Los gráficos de resultados, tales como las mallas de precipitación o representaciones de variables en el tiempo, pueden presentar información de interés que facilita la identificación de problemas asociados a datos, por ejemplo.

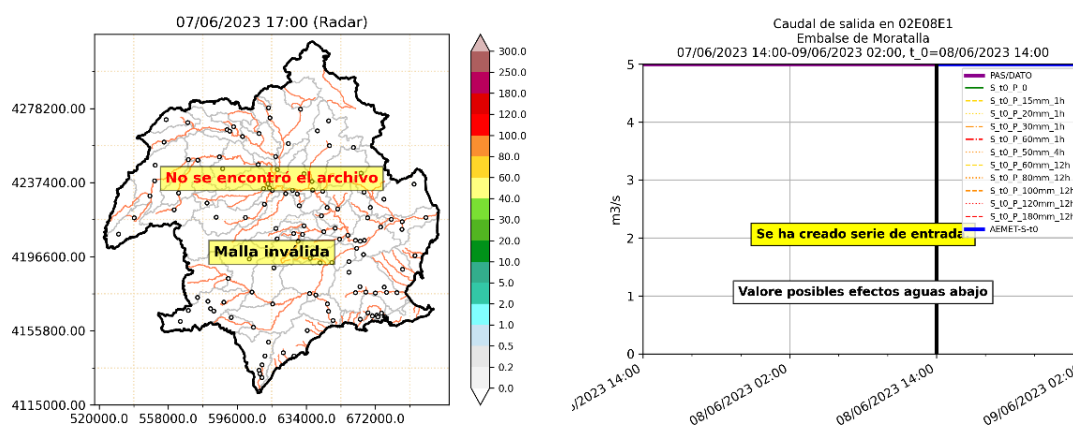


Figura 4-4.- Ejemplos de gráficos en los que se imprime un aviso relacionado con la variable

Adicionalmente, los nuevos modelos hidrológicos (ver MHED en el capítulo 11.4) identifican problemas o situaciones y pueden propagar aguas abajo los mensajes de interés: problemas con datos, posibles desbordamientos, etc.

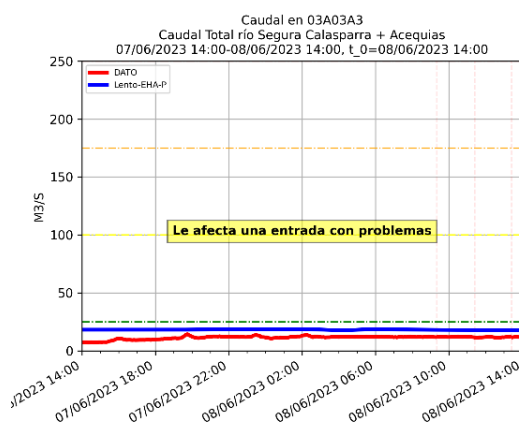


Figura 4-5.- Ejemplo de mensaje propagado hacia aguas abajo

4.7 Acceso remoto a datos

EDAPHI cuenta con diferentes modos de acceso a datos remoto, ya sean mallas o series temporales. Esto no es un problema difícil de solucionar hoy en día, pues hay soluciones de conectividad, pero algunas utilidades disponibles en el código facilitan la implementación de soluciones.

4.8 Otros formatos de entrada y salida

Se han incorporado capacidades de manejo de otros formatos, tanto para series temporales (LEMA del anuario de aforos del CEDEX, por ejemplo), como para información meteorológica (GRIB, HDF, McIDAS-Area, ...), o geográfica (GeoTiff, ...).

4.9 Instalación de los programas

La única limitación estará en las características de las herramientas con las que se desarrollan las soluciones (Python, software HEC, GIS-Grass, etc.). Pero la selección de las bases de software, en que se basa EDAPHI, facilita la instalación en la mayoría de los ordenadores con sistema operativo Windows 11, incluso anteriores (no se tiene constancia de limitaciones), así como en otras plataformas (según el caso de aplicación y de las herramientas complementarias necesarias). Esta cuestión se extiende en el capítulo 6 y en los apartados correspondientes de cada módulo.

4.10 Ejecución de programas

Los programas desarrollados no cuentan con interfase gráfica, aunque sería sencillo implementarlas, pero sí proporcionan varias formas de salidas gráficas (incluso interactivas, como se verá más detalladamente en los capítulos siguientes). Puede mostrar algunas ventanas para consultar gráficos de series temporales, de capas geográficas o de atributos geográficos, incluso animaciones de las anteriores. Por lo indicado anteriormente en cuanto a datos, parámetros y resultados, no precisa ventanas para su edición, siendo suficiente con software comúnmente instalado en los ordenadores. Gracias a algunas de las características EDAPHI, implementar ventanas de interacción con el usuario es sencillo.

La ejecución de programas se realiza por comandos, con argumentos, lo que puede ser realizado con archivos CMD del sistema operativo. Para mayor comodidad en el uso de este entorno, se definen un conjunto de variables de entorno (ver apartado 6.1).

Los programas pueden ser llamados desde otros módulos, ajenos a EDAPHI, conforme a un estándar del sistema operativo. O pueden construirse fácilmente otros comandos para un caso específico (ver ejemplos en los capítulos de los módulos)

En general, desde cada módulo se accederá a comandos comunes (de propósito general, ver capítulo 7), de módulo y de caso de aplicación.

La automatización puede realizarse con el programador de tareas del sistema operativo. El diseño de los programas tiene esto en cuenta.

La mayoría de los módulos se configuran con dos tipos de archivos de comandos, cuyos nombres se aconseja mantener, aunque podrían ser otros:

- *Ventana.cmd*. – Se trata de un archivo de comandos que ofrece la interacción con el módulo. Se puede lanzar desde el explorador de archivos del sistema operativo.
- *Ciclo.cmd*. – Este nombre de archivo de comandos se emplea para que la aplicación realice acciones de cálculos de forma cíclica. Puede ser lanzado por un programador de tareas (el de EDAPHI u otro), o por otro programa o archivo de comandos.

En el apartado 6.6 se dan más detalles al respecto.

4.11 Información de actividad en ventanas de comandos

Las ventanas de comandos irán mostrando un eco que va indicando la acción que está realizando el programa, informando al usuario del estado de ejecución. La mayor parte del código está estructurado en 3 niveles:

- Nivel 0.- No ofrece información sobre la ejecución de tareas.
- Nivel 1.- El programa en ejecución muestra información de las tareas más relevantes, agregado conjuntos de acciones.
- Nivel 2.- Imprime en pantalla información detallada de las tareas en ejecución.

El código está preparado para redirigir todos esos mensajes, si se desea, pues no se imprimen con las instrucciones de salida estándar, sino que se canalizan hacia una parte del código desde el que se envían a la ventana de comandos, pero podrían ser enviados a una ventana específicamente diseñada al efecto o a un archivo. Por defecto, se imprimen los mensajes en una ventana de comandos del sistema operativo

4.12 Registro de acciones. Archivos .log en las carpetas Cntrl

La mayor parte del código está preparado para almacenar las trazas de ejecución (ecos / información de actividad) en un archivo de texto con extensión .log, el cual se almacena en la subcarpeta *Cntrl* de la carpeta de cada caso de aplicación (ver apartado 5.2).

De modo análogo a como ocurre con la información de actividad en ventanas, se puede configurar el nivel de información que se almacena en el archivo.

4.13 Posibilidad de parada o pausa

La mayor parte de las aplicaciones, aquellas que pueden tener tiempos de ejecución largos, están preparadas para admitir la pausa o interrupción de la ejecución de forma segura, sin riesgo de dejar archivos abiertos, por ejemplo. El módulo Gen ofrece el comando control optar por pausas o interrupciones de tareas (ver capítulo 8)

4.14 Semáforos de aplicaciones

EDAPHI incorpora una utilidad para solucionar los problemas de ejecución en paralelo y dependencias entre ejecuciones de modelos. Si se lanzan los cálculos en 3 sistemas hidrológicos (casos de aplicación A, B y C) en paralelo, pero el sistema C está aguas abajo de los sistemas A y B, se recurre a un semáforo que controla la ejecución de los procesos asociados a los sistemas A y B, y lanza o da continuidad a los del sistema C cuando se han acabado los anteriores. La utilidad en cuestión está asociada al comando "sem" y cuenta con varias opciones de configuración. En el capítulo 11.4 se expone el caso de los semáforos para los modelos H.

4.15 Ejecución de procesos en paralelo

El sistema completo, de arquitectura modular y con las soluciones descritas en los apartados anteriores (semáforos, las posibilidades de parada o pausa, desencadenamiento de acciones - ver 6.9, ...), hace sencillo la ejecución de múltiples procesos en paralelo, dejando la gestión de los mismos al sistema operativo, pero manteniendo el control de un modo simple. Así se logran tiempos de cálculo reducidos, y la independencia de partes, lo que lleva a una solución robusta. Esta robustez se refuerza con las posibilidades de tener caminos alternativos en caso de fallo, pues, en caso de que algún módulo no puede realizar los cálculos, se interrumpe la ejecución devolviendo al sistema operativo un código de error.

5 Descripción de organización módulos de aplicación y carpetas

5.1 Módulos de aplicación

La siguiente tabla resume la función de cada módulo concebido para aplicaciones de pronóstico de crecidas en tiempo real, diferenciando entre uso en trabajos preparatorios y uso en tiempo real. Cabe incorporar más módulos, por lo que esto debe considerarse sólo un ejemplo. Se dedica un capítulo a cada uno de estos módulos.

Categoría	Módulo	Tareas en trabajos preparatorios	Uso en tiempo real
Preparación	GCuencas	Caracterización de cuencas y tramos.	Definición de escenarios probabilistas
	GHR	Inundabilidad, relaciones caudal nivel	Posibles desarrollos de modelos hidráulicos para uso en tiempo real
	GenMH	Generación de modelos MH	
	ADDA	Análisis de datos diarios para la calibración del parámetro "a"	
	VExtremos	Análisis estadístico de valores máximos anuales	
Operacional	Gen	Preparación de series temporales básicas y otras funcionalidades de control y configuración general	Preparación de series temporales básicas y otras funcionalidades de control y configuración general
	CHM	Manejo de valores históricos	Conexión con sistemas meteorológicos. Definición de escenarios futuros de precipitación y estado de humedad del terreno.
	Prec	Cálculo de precipitaciones a partir de datos históricos	Cálculo de precipitaciones areales a partir de datos en pluviómetros o a partir de mallas de precipitación (capas ráster)
	MHED	Simulación hidrológica con datos históricos, probabilistas o series sintéticas.	Simulación y pronóstico hidrológico con posibilidad de ajustes, incluyendo autocalibración basada en datos de caudal. Incluye laminación en embalses y análisis topológico de resultados
	PE-XN	Simulación con hidrogramas de entrada	Laminación de embalses con hidrogramas de entrada

		sintéticos o históricos y condición inicial hipotética.	previstos y datos en tiempo real.
	MHH	Simulación hidrológica con datos históricos o probabilistas	Simulación y pronóstico hidrológico con posibilidad de ajustes, incluyendo autocalibración basada en datos de caudal.
	MHH-H	Hipermodelo. Simulación hidrológica con submodelos MHH	Hipermodelo. Simulación y pronóstico basados en modelos MHH
	Nieve	Evaluación de los recursos hidráulicos en forma de nieve y estudio de la fusión nival con datos históricos	Evaluación de los recursos hidráulicos en forma de nieve y pronóstico de caudales debidos a la fusión nival
	PaPOS	Estimación de parámetros de escorrentía en función de la lluvia antecedente. Aplicación con datos históricos.	Estimación de parámetros de escorrentía en función de la lluvia antecedente. Aplicación situaciones en tiempo real.
	AEsc	Análisis de amenazas o peligros por escorrentías en episodios históricos.	Estimación de amenazas o peligros por escorrentías en futuro
Entrenamiento	Ges	Generación de eventos sintéticos para entrenamiento	
Especial	WOF	Utilidades que emplean PyWaterML python package (permite al usuario trabajar con los servicios web de WaterOneFlow que son compatibles con WaterML), orientadas a generar resultados en archivos XLSX, CSV y cuyas funciones devuelven resultados en forma de listas	
	MTG	Evaluación de recursos hídricos a escala mensual basado en el método de Témez en una versión simplificada	

Tabla 1.- Resumen de módulos según su ámbito de utilización

El siguiente esquema refleja un ejemplo de la relación entre módulos, tanto los que se usan en trabajos preparatorios como los que se usan en modo operacional. Se recuerda que los módulos pueden ser usados de modo independiente.

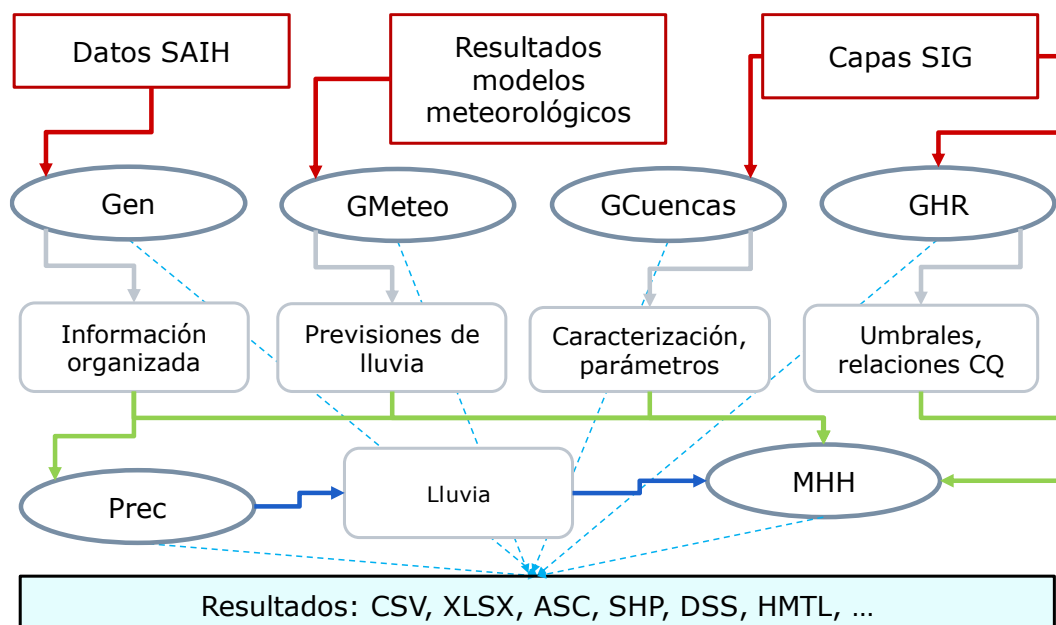


Figura 5-1.- Ejemplo de esquema de relación entre módulos

5.2 Estructura general de carpetas (directorios) y organización de aplicaciones

5.2.1 Carpeta EDAPHI

En general, la carpeta EDAPHI, donde estarán almacenados todos los módulos, se organizará según el siguiente esquema:

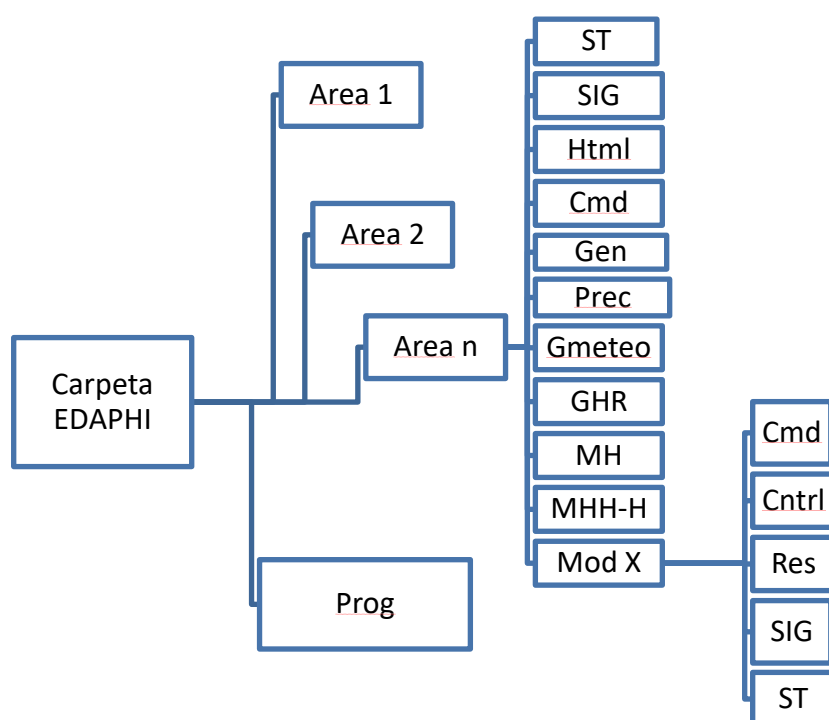


Figura 5-2.- Esquema de ejemplo de estructura básica de carpetas EDAPHI

Se trata de una estructura recomendada, la que tiene por defecto el entorno, aunque cabe la posibilidad de reconfigurarla con variables de entorno del sistema operativo.

La carpeta *EDAPHI*, la cual puede ser almacenada a su vez libremente, almacenará las carpetas de cada módulo. Adicionalmente, incluirá la carpeta *Docs* en el que almacenarán los documentos tales como manuales de usuario.

Cada área de aplicación, que puede ser una cuenca (la del río Segura, por ejemplo) o un país (RD para República Dominicana, también como ejemplo), tendrá una subcarpeta de área.

Dentro de cada área, cada módulo (Prec, MH, ...) tendrá su subcarpeta que, de forma general, tendrán la siguiente estructura, con subcarpetas para cada caso de aplicación (subcuencas o subsistema):

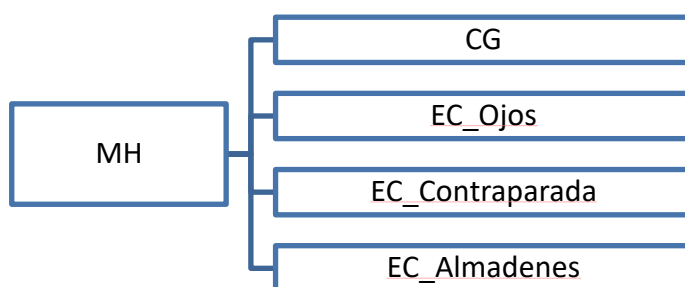
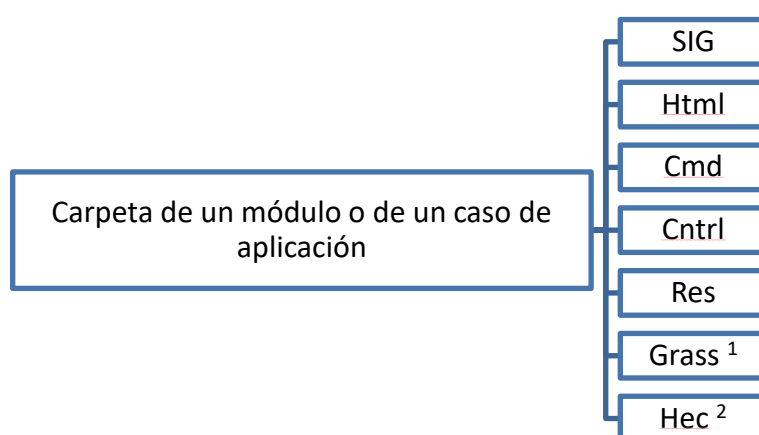


Figura 5-3.- Ejemplo subcarpetas de módulo con subcarpetas para cada caso de aplicación (subsistema)

Cada caso de aplicación tendrá a su vez una estructura como la siguiente:



¹ Sólo para aquellas aplicaciones que dependen de Grass

² Sólo para aquellas aplicaciones que dependen de Hec

Figura 5-4.- Carpeta de caso de aplicación

La carpeta *Grass* almacenará la base de datos de GIS-Grass. La carpeta *Hec* contendrá los archivos del modelo Hec.

5.2.2 Carpeta de códigos de programas

La carpeta con los programas, *Prog*, puede almacenarse en la misma estructura o en otra cualquiera, pues su dirección será una opción de configuración del entorno. Cabe utilizar diferentes carpetas de códigos (diferentes versiones) para áreas distintas.

5.2.3 Carpetas ST, SIG, HTML y CMD

Puede apreciarse en los esquemas anteriores que se repite el nombre de algunas carpetas en diferentes niveles:

- ST, para almacenar archivos de series temporales,

- SIG: para capas SIG (incluyendo capas de nodos u otras necesarias según el caso),
- HTML: para guardar resultados para publicación web (aunque tenga carácter temporal y parcial) y
- CMD: para almacenar archivos de comandos

El objetivo de esto es que hay archivos de los tipos anteriores que pueden ser de uso para toda el área, para un módulo o para un caso de aplicación.

No obstante, las aplicaciones podrán obtener series temporales o capas SIG de otros orígenes, generalmente, lo que puede indicarse en el archivo de configuración correspondiente. Pero esta es la estructura recomendada.

Seguir esta estructura es obligada para el almacenamiento de archivos de comandos (CMD). Y así, se diferenciarán comandos de área, de módulo y de caso de aplicación. Además, claro, de los comandos propios del entorno, los cuales se clasifican en generales y específicos del módulo (esto se explica más adelante, 5.3)

5.3 Organización del código

El código se estructura a partir de una carpeta raíz con una subcarpeta por paquete.

Los módulos generales se sitúan en la raíz.

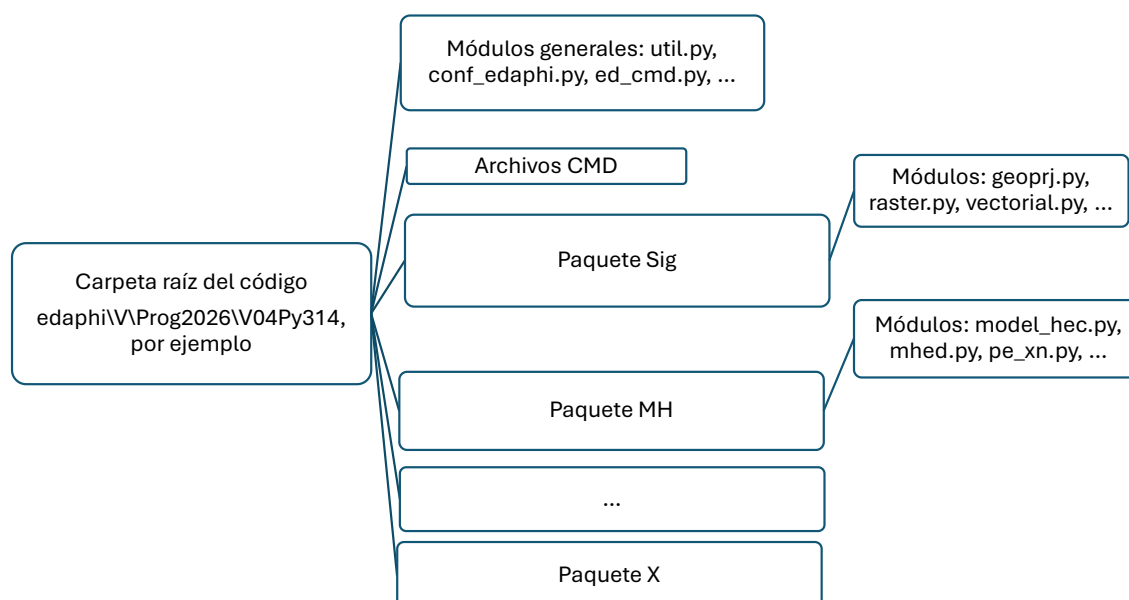


Figura 5-5.- Organización general del código

Se ha incluido una carpeta CMD en la que se almacena el archivo `ed_cmd.cmd`, que contiene lo siguiente y sobre lo que se tratará en un apartado posterior, donde también se tratará lo relacionado con variables de entorno como `%EDAPHI_DIR_PROG%`:

```
@echo off
rem @A Comandos de módulos EDAPHI
if defined EDAPHI_DIR_PROG (
    Python %EDAPHI_DIR_PROG%\ed_cmd.py %*
) else (
    Set EDAPHI_DIR_PROG=C:\edaphi\Prog\V04Py314
    Python C:\edaphi\Prog\V04Py314\ed_cmd.py %*
)
```

El código está documentado conforme a estándares de Python con lo que es posible obtener ayuda interactiva desde un IDE (entorno de desarrollo integrado, del inglés “Integrated Development Environment”).

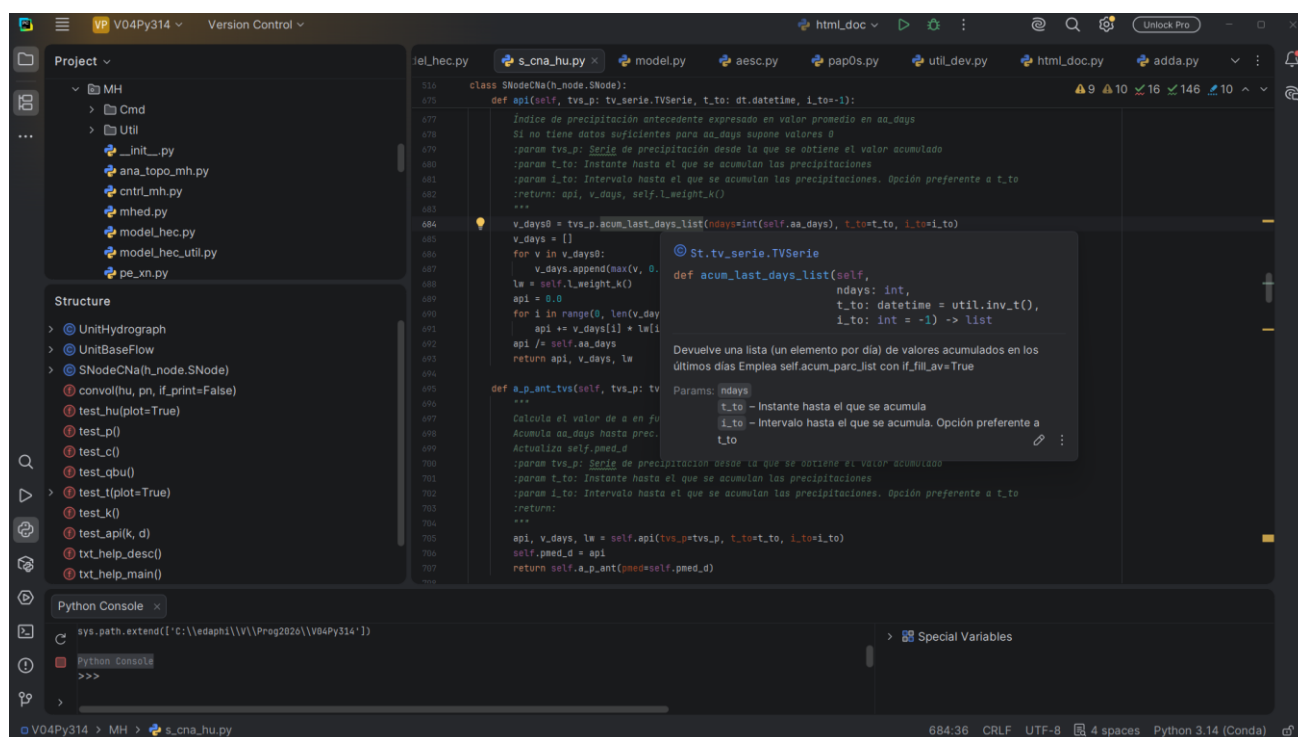


Figura 5-6.- Uso de un IDE para la edición del código de programación con ayuda interactiva

También se incorpora una carpeta con un archivo HTML por cada módulo Python con la documentación completa de éstos.

```

class MHec(model.ModelH)
    Modelo Hec-HHS

    Method resolution order:
    MHec
    model.ModelH
    model.Model
    builtins.object

    Methods defined here:

    __init__(self)
        Initialize self. See help(type(self)) for accurate signature.

    calc_scn_step0(self, iscn)
        Se realizan los cálculos y se recuperan los resultados cargándolos en self.scenario(iscn).tseries_out
        Es llamada por calc_scn (ver superclase)
        :param iscn:
        :return:

    calibration(self)
        Realiza la calibración por optimización
        Hay que especificar el valor de i_scenario previamente
        :return:

    csv_to_dss(self, n_arch_dss, n_arch_csv, col_tv:tv_serie.ColTVSerie)
        Busca las series para los nodos correspondientes en la colección argumento
        y las almacena en el archivo n_arch_dat_dss
        Emplea el código ColTVSerieDss.csv_to_dss
        Se ha tenido que establecer previamente las relaciones entre nodos y entidades hms_source (in_read)
        :param n_arch_dss: Nombre del archivo DSS (sin camino, se tomará el valor base) que se almacena en dir_inter
        :param n_arch_csv: Nombre del archivo CSV (sin camino, se tomará el valor base) que se almacena en dir_inter
        :param col_tv:
        :return:
  
```

Figura 5-7.- Ejemplo de archivo HTML de documentación del código

6 Instalación de módulos y configuración del entorno

La mayoría de los módulos han sido programados con Python 3.14 empaquetado con Conda (<https://anaconda.org/>), más concretamente con Miniconda.

Los módulos que se basan en GIS-Grass (GHR, MTG y GCuencas) emplean el intérprete de Python de este software. La versión 2 de GCuencas recurre a la interfase de GIS-Grass con EDAPHI denominada EGrassPy (ver 18).

Una vez instaladas las aplicaciones de las que depende (Python, GIS-Grass, Hec-HMS, Hec-DssVue y Hec-Ras), tan solo es necesario copiar los archivos que correspondan a los programas y a la aplicación concreta, según la estructura de carpetas indicada anteriormente y considerar lo que se indica en este capítulo, según el tipo de módulo.

6.1 Módulos Python y módulo (de aplicación) EDAPHI

Un módulo se corresponde con un archivo .PY en el lenguaje de programación Python. Aunque se use el mismo vocablo, en las aplicaciones EDAPHI es una unidad de aplicación relacionada con una utilidad y un objetivo (cálculo de lluvias pasadas, simulación y pronóstico de caudales, estimación de parámetros de escorrentías, etc).

Un módulo EDAPHI tendrá, al menos, un módulo Python, pero pueden ser varios o, incluso, un paquete Python (una carpeta con varios módulos de código y un archivo especial llamado `__init__.py` que le dice a Python que use esa carpeta para organizar funciones). En general, un módulo EDAPHI usará varios módulos y paquetes, del mismo entorno o de otras fuentes.

6.2 Variables de entorno

El uso del código no obliga al uso de variables de entorno, pero es recomendable.

Para comodidad en la generación de archivos de comandos y en la configuración del entorno, se definen un conjunto de variables del entorno (en el sistema operativo). Algunas se han podido encontrar con anterioridad, en este documento. Al usar el comando general (ver capítulo 7) *conf_edaphi*, parte del resultado es el siguiente, en el que pueden encontrarse las variables de entorno, además de la estructura de carpetas referida en apartados anteriores:

```
Módulo: MH
Carpeta principal de EDAPHI: C:\edaphi
Carpeta de área: C:\edaphi\Segura-Conda
```



```

Subcarpetas de html: C:\edaphi\Segura-Conda\Html
Subcarpetas de Sig: C:\edaphi\Segura-Conda\SIG
Subcarpetas de comandos: C:\edaphi\Segura-Conda\Cmd
Subcarpetas de series temporales generales: C:\edaphi\Segura-
Conda\ST
Especificaciones de área
Series temporales generales en st_gen_05min.csv
Almacenadas en formato EDAPHI
Carpeta de caso de aplicación: C:\edaphi\Segura-Conda\MH
Subcarpeta de control de ejecución: C:\edaphi\Segura-Conda\MH\Cntrl
Subcarpeta de comandos del caso de aplicación: C:\edaphi\Segura-
Conda\MH\Cmd
Subcarpeta de SIG: C:\edaphi\Segura-Conda\MH\Sig
Subcarpeta de resultados: C:\edaphi\Segura-Conda\MH\Res
Subcarpeta de resultados HTML: C:\edaphi\Segura-Conda\MH\Res\Html
Carpeta de programas: c:\edaphi\V\Prog2026\V04Py314
Carpeta de código PY: c:\edaphi\V\Prog2026\V04Py314
Subcarpeta de comandos generales: c:\edaphi\V\Prog2026\V04Py314\Cmd
Subcarpeta útil general: c:\edaphi\V\Prog2026\V04Py314\Util
Subcarpeta de documentos generales:
c:\edaphi\V\Prog2026\V04Py314\doc
Entorno virtual: C:\Users\alav_\miniconda3\envs\Edaphi
Ejecutable Python: C:\Users\alav_\miniconda3\envs\Edaphi\python.exe

# conda environments:
#
# * -> active
# + -> frozen
base                C:\Users\alav_\miniconda3
Edaphi               * C:\Users\alav_\miniconda3\envs\Edaphi

Variables de entorno
EDAPHI_DIR, Carpeta principal de EDAPHI: C:\edaphi
EDAPHI_DIR_PROG, Carpeta de programas: c:\edaphi\V\Prog2026\V04Py314
EDAPHI_DIR_AREA, Carpeta de area: C:\edaphi\Segura-Conda
EDAPHI_DIR_C, Carpeta de caso: C:\edaphi\Segura-Conda\MH

```

Adicionalmente, como se explica en apartados posteriores, las aplicaciones que operan con GIS-Grass requieren otras variables de entorno por requerimientos de este software.

Nota: Las variables de entorno, además de poder usarse en archivos de comandos, indicándolas con % (%EDAPHI_DIR_AREA%, por ejemplo), también pueden referirse del mismo modo en los archivos de configuración de los módulos.

6.3 Subcarpeta CMD de la carpeta EDAPHI y EDAPHI\Area

En las versiones anteriores de EDAPHI, se situaban archivos con especificaciones generales para la configuración (fundamentalmente, incluyen variables de entorno), en la subcarpeta *Cmd* de la carpeta EDAPHI.

Actualmente, la configuración distingue el área de aplicación (Segura, Miño-Sil, ...), lo que permite particularizar el código para cada caso. Por ello, sólo se ha dejado el comando *edi_cod.cmd*, útil para desarrolladores (lanza el IDE para edición de código).

En el área puede encontrarse un archivo con contenido como el siguiente:

```
@echo off
Rem
*****
*****
    REM Archivo de configuración para EDAPHI-V4 (2026) basado en Miniconda
    Rem Este archivo se codifica en OEM 850
    Rem Las siguientes líneas son las que definen la configuración
estándar
    Rem Es conveniente definir en cada caso de aplicación, la siguiente
variable de entorno:
    rem EDAPHI_DIR
    Rem antes de llamar a este archivo
    Rem Y es aconsejable definir en cada caso de aplicación, las
siguientes variables de entorno:
    rem EDAPHI_DIR_C y EDAPHI_DIR_AREA
    rem Puede ser útil, para las ventanas Cmd, usar EDAPHI_DIR_AP, aunque
no las use el código
    Rem
*****
*****
    echo Ordenador %COMPUTERNAME%
    Set EDAPHI_DIR_PROG=c:\edaphi\V\Prog2026\V04Py314
    echo EDAPHI_DIR_PROG %EDAPHI_DIR_PROG%
    Set PATH=%EDAPHI_DIR_PROG%\Cmd;%PATH%
    if defined EDAPHI_DIR (
        echo EDAPHI_DIR %EDAPHI_DIR%
        Set PATH=%EDAPHI_DIR%\Cmd;%PATH%
    )
    if defined EDAPHI_DIR_AREA (
        echo EDAPHI_DIR_AREA %EDAPHI_DIR_AREA%
        Set PATH=%EDAPHI_DIR_AREA%\Cmd;%PATH%
    )
    if defined EDAPHI_DIR_C (
        echo EDAPHI_DIR_C %EDAPHI_DIR_C%
        Set PATH=%EDAPHI_DIR_C%\Cmd;%PATH%
    )
    Rem El directorio de programas:
    Rem Activar Conda
    call C:\Users\alav_\miniconda3\Scripts\activate.bat
C:\Users\alav_\miniconda3
    set PYTHONPATH=%EDAPHI_DIR_PROG%;%PYTHONPATH%
    call conda activate Edaphi
    echo ed_cmd para comandos Edaphi
    echo ed_cmd conf_edaphi para comprobar la configuración
```

6.4 Preparación del entorno virtual Python dentro de Miniconda

6.4.1 Instalación genérica. Opción recomendada para desarrolladores

El primer pase en la instalación de MinConda, para después crear un entorno virtual específico, que será denominado *Edaphi*.

En la carpeta del código puede encontrarse el archivo `env_edaphi_V04Py314.yml`, que se creó con el comando:

```
conda env export > C:\edaphi\V\env_edaphi_V04Py314.yml
```

Sirve para definir todas las dependencias del entorno virtual Edaphi. Puede ser usado con

```
conda env create -f env_edaphi.yml
```

para crear el entorno.

6.4.2 Opción general recomendada.

El modo en que se está distribuyendo EDAPHI es el más sencillo para los usuarios normales. Les bastará con copiar carpetas y ejecutar un comando de configuración una única vez.

6.4.2.1 Entorno Conda

Se distribuye un archivo **edaphi_conda.zip** que contiene la carpeta comprimida que debe instalarse en `C:\edaphi\V\`

Para su creación se ha usado `conda-pack`:

```
conda-pack -o C:\edaphi\V\edaphi_conda.zip
```

Este archivo se descomprime en **`C:\edaphi\V\edaphi_conda`**

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
conda-meta	08/06/2026 17:20	Carpeta de arc...	
DLLs	08/06/2026 17:16	Carpeta de arc...	
etc	08/06/2026 17:20	Carpeta de arc...	
include	08/06/2026 17:20	Carpeta de arc...	
Lib	08/06/2026 17:18	Carpeta de arc...	
Library	08/06/2026 17:20	Carpeta de arc...	
libs	08/06/2026 17:20	Carpeta de arc...	
opt	08/06/2026 17:20	Carpeta de arc...	
Scripts	08/06/2026 17:20	Carpeta de arc...	
share	08/06/2026 17:20	Carpeta de arc...	
Tools	08/06/2026 17:20	Carpeta de arc...	
api-ms-win-core-console-l1-1-0.dll	06/05/2022 17:21	Extensión de l...	22 KB
api-ms-win-core-console-l1-2-0.dll	06/05/2022 17:29	Extensión de l...	22 KB
api-ms-win-core-datetime-l1-1-0.dll	06/05/2022 17:21	Extensión de l...	22 KB
api-ms-win-core-debug-l1-1-0.dll	06/05/2022 17:21	Extensión de l...	22 KB
api-ms-win-core-errorhandling-l1-1-0.dll	06/05/2022 17:21	Extensión de l...	22 KB

Figura 6-1.- Ejemplo de carpeta descomprimida de la creada con conda-pack

y se emplea el siguiente comando, la primera vez:

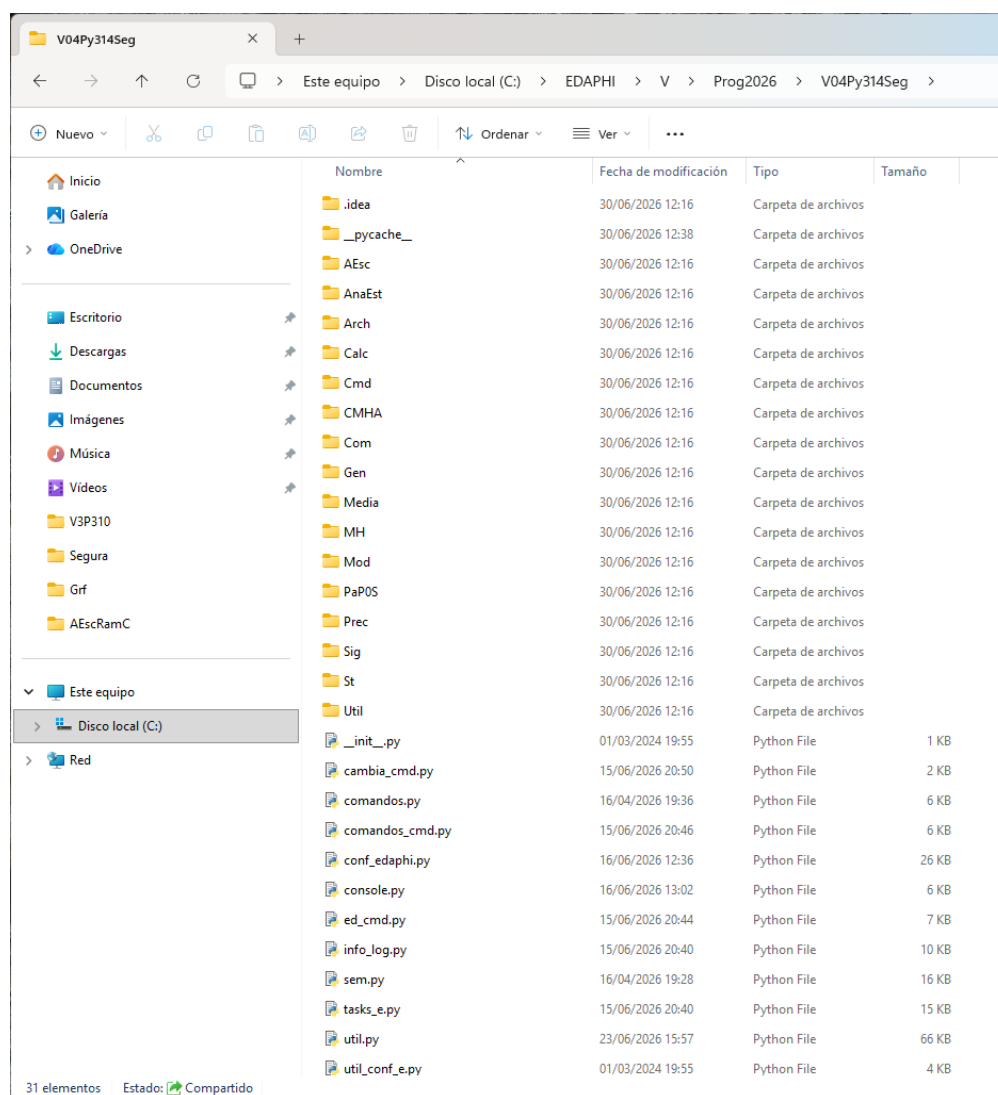
```
C:\edaphi\V\edaphi_conda\Scripts\conda-unpack.exe
```

Después, ya puede emplearse `C:\edaphi\V\edaphi_conda\python.exe` o `C:\edaphi\V\edaphi_conda\Scripts\activate.bat`, pero esto está incluido en los archivos de EDAPHI. Sólo será necesario **usar conda-unpack.exe una vez**.

6.4.2.2 Programas EDAPHI

El archivo **V04Py314.zip** tiene los programas EDAPHI.

Se tiene que descomprimir en la carpeta **C:\edaphi\V\Prog2026\V04Py314Seg**



6.4.2.3 Uso de EDAPHI

Con los pasos anteriores, no es necesario más acción por parte del usuario. YA puede usar EDAPHI.

6.5 Configuración general del entorno. Carpeta *EDAPHI\Cmd*

El archivo *EDAPHI\Area\Cmd\edaphi.cmd*, referido anteriormente, sirve para especificar las variables generales del entorno EDAPHI. Su contenido es:

```
@echo off
Rem
*****
REM Archivo de configuración para EDAPHI-V4 (2026) basado en Miniconda
Rem Este archivo se codifica en OEM 850
Rem Las siguientes líneas son las que definen la configuración
estándar
Rem Es conveniente definir en cada caso de aplicación, la siguiente
variable de entorno:
rem EDAPHI_DIR
Rem antes de llamar a este archivo
```

```

    Rem Y es aconsejable definir en cada caso de aplicación, las
    siguientes variables de entorno:
    rem EDAPHI_DIR_C y EDAPHI_DIR_AREA
    rem Puede ser útil, para las ventanas Cmd, usar EDAPHI_DIR_AP, aunque
    no las use el código
    Rem
    *****
    echo Ordenador %COMPUTERNAME%
    Set EDAPHI_DIR_PROG=c:\edaphi\V\Prog2026\V04Py314
    echo EDAPHI_DIR_PROG %EDAPHI_DIR_PROG%
    Set PATH=%EDAPHI_DIR_PROG%\Cmd;%PATH%
    if defined EDAPHI_DIR (
        echo EDAPHI_DIR %EDAPHI_DIR%
        Set PATH=%EDAPHI_DIR%\Cmd;%PATH%
    )
    if defined EDAPHI_DIR_AREA (
        echo EDAPHI_DIR_AREA %EDAPHI_DIR_AREA%
        Set PATH=%EDAPHI_DIR_AREA%\Cmd;%PATH%
    )
    if defined EDAPHI_DIR_C (
        echo EDAPHI_DIR_C %EDAPHI_DIR_C%
        Set PATH=%EDAPHI_DIR_C%\Cmd;%PATH%
    )
    Rem El directorio de programas:
    Rem Activar Conda
    call C:\Users\alav_\miniconda3\Scripts\activate.bat
C:\Users\alav_\miniconda3
    set PYTHONPATH=%EDAPHI_DIR_PROG%;%PYTHONPATH%
    call conda activate Edaphi
    echo ed_cmd para comandos Edaphi
    echo ed_cmd conf_edaphi para comprobar la configuración

```

Este archivo permite, por ejemplo, situar los programas en la carpeta deseada, independiente de la carpeta EDAPHI si se desea, sin más que cambiar la instrucción:

```
Set EDAPHI_DIR_PROG=%EDAPHI_DIR%\Prog
```

6.6 Comando *ed_cmd* y módulos disponibles

En esta versión de EDAPHI, se han suprimido muchos archivos CMD (archivos con extensión .cmd con texto plano para Windows que contienen una serie de comandos del sistema operativo).

Para lograr la misma funcionalidad, se emplea el comando *ed_cmd*, que llamará al módulo py por su nombre base (sin nombre de carpeta en el que esté almacenado) solucionando las cuestiones de direcciones concretas.

La respuesta en una ventana (haciendo uso de un archivo *ventana.cmd* de un módulo de aplicación) al comando *ed_cmd* es la siguiente:

```

Utilidad de comandos de EDAPHI
-i: Para uso interactivo

```

```

Opciones:
  ayuda
  comandos: listado de comandos relacionados con módulos Python
  ayuda comando: opciones de uso de comando (conf_edaphi, graf_xy,
...)
  ayuda_prog comando: ayuda de programador de un módulo (conf_edaphi,
graf_xy, ...)
  salir

```

Si se emplea `ed_cmd comandos`, la respuesta es la lista completa de módulo incorporados agrupados por paquetes.

```

Comunes
  comandos_cmd.- Utilidades de archivos CMD
  conf_edaphi.- Configuración de EDAPHI
  console.- Utilidades relacionadas con ventanas de comandos
  ed_cmd.- Utilidad de comandos de EDAPHI
  info_log.- anejo de trazas de ejecución y archivos log
  sem.- Semáforos de modelos MH
  tasks_e.- Subprocesos EDAPHI
  util.- Utilidades genéricas básicas
  util_dev.- Utilidades varias de desarrollador

Adda
  adda.- ADDA.- Análisis basado en datos diarios del parámetro

a
  AEsc
    aesc.- Cálculo de mallas de índices de amenaza

Anuario
  aemet_od.- Utilidades para el acceso a datos AEMET haciendo
uso de su servicio OpenData
  anuario.- Manejo de datos del anuario de aforos del CEDEX
  v_extremos.- Cálculo de estadísticas de valores extremos

Arch
  compress.- Utilidades de compresión de archivos
  edit_csv.- Editor simple de archivos CSV de configuración
  encript.- Encriptado
  file_csv.- Manejo de archivos CSV
  file_xls.- Manejo de archivos XLSX
  util_chardet.- Codificación de caracteres de archivos

Astl
  astl.- Análisis de series temporales largas

Calc
  bezier.- Define una curva interpolada a partir de puntos,
según curvas de Bezier
  curve_fitting.- Módulo para ajustes de curvas
  evol_comp.- Computación evolutiva para optimización
paramétrica
  root.- Obtención de raíces de funciones
  splines.- Define una curva interpolada a partir de puntos,
según curvas de Bezier
  topo.- Análisis de topologías de nodos conectados por arcos

CFFGS
  cffgs.- Acceso a información del sistema FFGS vía Internet

CMF
  cmf.- Acceso a información del sistema AROME vía Internet

CMHA
  cmha.- Acceso a información del sistema HARMONIE-AROME

```

ec_grib.- Utilidad para lectura de archivos GRIB basados en	
eccodes	
Com	
ftp_ed.- Utilidad FTP	
html_ed.- Utilidades HTML	
http_ed.- Acceso a direcciones http	
CSispi	
csispi.- Acceso a información del sistema Sispi vía Internet	
GCuencasV20	
gcuenas.- Caracterización y parametrización de cuencas y	
tramos de ríos	
util_gcuenas.- Algunas utilidades relacionadas con GCuencas	
Gen	
control.- Control de ejecución de aplicaciones EDAPHI	
ftp_saihsegura.- Carga y descarga via FTP para el caso SAIH	
Segura	
prog_mods.- Programación de tareas EDAPHI	
st_gen_ebro.- Utilidad de conversión de archivos históricos	
SAIH Ebro. Se diferencian archivos P y Q	
st_gen_jucar.- Utilidades lectura de series temporales en	
formato SAIH-JUCAR	
st_gen_rd.- Caso RD. Generación de archivos de episodio	
st_gen_saihsegura.- Generación de archivos de episodios	
generales para el caso SAIH Segura	
Ges	
ges.- Generación de eventos sintéticos	
util_ges.- Uso cíclico de GES con un modelo MHH	
Media	
anim.- Animaciones de imágenes	
graf_xy.- Gráficos XY	
sound.- Utilidades de sonido	
util_mathplotlib.- Utilidades para gráficos generados con	
matplotlib	
MH	
ana_topo_mh.- Análisis topológico de modelos H y tiempos de	
propagación	
cntrl_mh.- Control de funcionamiento de modelos hidrológicos	
EDAPHI	
mhed.- Modelos hidrológicos operacionales EDAPHI	
model_hec.- Modelos hidrológicos operacionales basados en el	
software Hec	
model_hec_util.- Utilidades relacionadas con MHH	
pe_xn.- Simulación de embalse PE_XN	
reach.- Simulación de tramos.Método Muskingum	
s_cna_hu.- Simulación de subcuencas	
test_mh.- Utilidad de prueba de MH. Ciclos basados en archivos	
históricos de datos y lluvias	
Mod	
chm.- Conector hidrometeorológico	
control_mod.- Módulo control de ejecución de aplicaciones que	
se usa desde otros módulos-aplicaciones	
h_node.- Nodos de representación del sistema hidrológico	
model.- Bases genéricas de modelos EDAPH	
scenario.- Gestión de escenarios usados por modelos	
Nieve	
nieve.- Módulo de fusión nival	
nieve_modis.- Módulo de nieve basado en datos MODIS	
PaPOS	
pap0s.- Cálculo de mallas de parámetros de escorrentía	
Prec	
area_mcidas.- Lectura de archivos Area McIdas	


```

    comb_cd.- Combina dos listas o matrices según el método RFC
    hdf5_ed.- Manejo de archivos en formato h5 de AEMET
    prec.- Procesador de precipitaciones basada en interpolación
para uso en tiempo real
    prec_comb.- Cálculo de mallas combinadas
    SecH
    SH
        sh.- Simulación con datos históricos
    Sig
        geoprj.- Gestión básica de sistemas de referencia espaciales
        (geográficos)
        interp_rast.- Interpolador por el método de inverso a la
distancia
        i_egrass.- Interfase de la solución EGrass
        map.- Presentación de mapas
        map_cts.- Operaciones con colecciones de series y mapas
        map_html.- Mapas en html
        map_par.- Mapas de tablas de parámetros
        mod_raster.- Modelos raster
        mod_raster_ts.- Series temporales de mallas (raster)
        raster.- Operaciones con capas matriciales o ráster
        rast_vect.- Operaciones combinadas de capas raster y
vectoriales
        vectorial.- Manejo de capas SIG vectoriales
    St
        trz_ts.- Utilidades para trazas de series temporales
        ts_calc.- Operaciones de cálculo con series temporales
        ts_gen.- Generación de series temporales sintéticas
        ts_stats.- Utilidades para cálculos de estadísticas de series
temporales
        ts_util.- Utilidades para manejo de series temporales
        ts_util_points_saih_seg.- Obtiene la información de puntos de
un episodio XLSX (SAIH-Segura) y genera SHP de nodos
        tv_serie.- CUtilidades básicas de series temporales
        tv_s_dss.- Manejo de series temporales con escrituras y
lecturas de bases de datos DSS de HEC
    WOF
        wateroneflow.- Acceso a datos remotos alojados en un servidor
Water One Flow

```

6.7 Archivos de arranque de aplicaciones

Tal y como se indicó anteriormente (4.10), se usan archivos de comandos con nombres *ventana.cmd* (para abrir la ventana de interacción con una aplicación) y *ciclo.cmd* (para que el programa ejecute un ciclo de funcionamiento en operación). Podrían usarse otros nombres, pero se aconseja mantener este criterio.

Estos archivos se sitúan en la carpeta de caso y configuran el caso de aplicación como se explica en los siguientes apartados.

6.7.1 Archivos de comando *ventana.cmd*

Para el caso de la aplicación *Prec* (capítulo 10), el archivo de apertura de ventana de comandos (*ventana.cmd*, ver apartado 4.10) será algo como:

```
@Echo off
```

```

set EDAPHI_AP=Prec
Rem Directorio de caso
Set EDAPHI_DIR_C=%cd%
Pushd ..\..
Rem Directorio General
Set EDAPHI_DIR=%cd%
Popd
Pushd ..
Rem Directorio de area. Ejemplo c:\edaphi\segura
Set EDAPHI_DIR_AREA=%cd%
Popd
Rem Entorno general
Call %EDAPHI_DIR_AREA%\Cmd\edaphi.cmd
Echo -----
Echo Escriba comandos para ver las opciones
Echo -----
Title EDAPHI-%EDAPHI_AP%
cmd /V:ON /E:ON /T:F1

```

En el caso de otro módulo, habría que cambiar el valor de la variable de entorno EDAPHI_AP. Según se estructure el caso de aplicación, así habrá que modificar lo relativo a variables de entorno EDAPHI_DIR_

Al hacer doble click en el icono del archivo, desde el explorador de archivos del sistema operativo, se abre una ventana que permite la interacción con el módulo.

```

Ordenador GEEKOM-ALAV
EDAPHI_DIR_PROG c:\edaphi\V\Prog2026\V04Py314
EDAPHI_DIR C:\edaphi
EDAPHI_DIR_AREA C:\edaphi\Segura-Conda
EDAPHI_DIR_C C:\edaphi\Segura-Conda\Prec
ed_cmd para comandos Edaphi
ed_cmd conf_edaphi para comprobar la configuración
-----
Escriba comandos para ver las opciones
-----
Microsoft Windows [Versión 10.0.26200.8875]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

(Edaphi) C:\edaphi\Segura-Conda\Prec>

```

Figura 6-2.- Ventana de interacción con el módulo Prec

6.7.2 Archivo de comandos ciclo.cmd

Para el funcionamiento cíclico se puede usar un archivo de comandos como el siguiente:

```
@Echo off
set EDAPHI_AP=MH
set EDAPHI_VAR=Ciclo-MH
color 2F
rem mode con COLS=90 LINES=15
Rem Directorio de caso
Set EDAPHI_DIR_C=%cd%
Pushd ..\..\..
Rem Directorio General
Set EDAPHI_DIR=%cd%
Popd
Pushd ..\..\..
Rem Directorio de area. Ejemplo c:\edaphi\segura
Set EDAPHI_DIR_AREA=%cd%
Popd
Rem Entorno general
Call %EDAPHI_DIR_AREA%\Cmd\edaphi.cmd
REM Atención, el título puede emplearse para controlar las esperas
(Caso Gen)
Rem Title EDAPHI#OP-%EDAPHI_AP%-%EDAPHI_DIR_C%
Title MH\CG Ciclo
del /Q /F ST\*.csv

copy /Y %EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\ST\st_gen_05min.csv %EDAPHI_DIR_C%\ST\st_gen_05min.csv
copy /Y %EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\ST\areales_05min.csv
%EDAPHI_DIR_C%\ST\areales_05min.csv
Rem Espera para generar las series en ST.
Rem ** Admite argumento: %1 ejemplo w_min=20
echo sem xlsx_conf=conf_sem_ec.xlsx -cmp_series /c /s %*
call ed_cmd sem xlsx_conf=conf_sem_cg.xlsx -cmp_series /c /s %*
del /Q /F Inter\*.xls

call ed_cmd mhed -calc_t xlsx_conf=conf_cg_operas.xlsx
call prep_res TODO

Rem Ciclo de cálculos y preparación de resultados generales MH
cd /D ..
start /I ciclo.cmd

exit
```

En este ejemplo, del módulo MH para el área Segura y caso Contraparada-Guardamar, se han incluido órdenes complementarias para cada ciclo de ejecución, entre las que se incluye el uso de un semáforo (ver apartado 13.13).

6.8 Uso de archivos de comandos CMD

Todos los módulos PY están programados para ser llamados a través del intérprete de comandos del sistema operativo.

El convenio que se emplea es del tipo:

```
ed_cmd módulo_py_sin_extensión -orden /opción argumento=x
```

En el capítulo siguiente se muestran varios ejemplos.

Se cuenta con el comando

```
ed_cmd comandos_cmd
```

que muestra el listado de archivos CMD disponibles en un caso de aplicación con información. La información es la que se incluya en la primera línea del archivo CMD después de *REM @A*.

Busca archivos en las siguientes carpetas

- %EDAPHI_DIR%\Cmd
- %EDAPHI_DIR_PROG%\%EDAPHI_DIR_AP%\Cmd
- %EDAPHI_DIR_AREA%\Cmd
- %EDAPHI_DIR_CASO%\Cmd

Desde la ventana de Prec, por ejemplo, el resultado sería:

```
|
| Comandos generales / comunes:
|
| * ed_cmd..... Comandos de módulos EDAPHI
|
| Comandos específicos de Prec:
|
| * No existe la carpeta c:\edaphi\V\Prog2026\V04Py314\Prec\Cmd
|
| Comandos específicos del caso de aplicación
|
| * areales_ctm..... Genera resultados areales en
|                        %EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res con map_cts
| * areales_ctm_comb..... Genera resultados areales en
|                        %EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res con map_cts
| * areales_ts..... Genera resultados areales (5min, 30min,
60min) en la
|                        carpeta %EDAPHI_DIR%\Html\Prec y
|                        %EDAPHI_DIR%\Prec\Res con ts_util
| * areales_ts_comb..... Genera resultados areales (Comb) en la
carpeta
|                        %EDAPHI_DIR%\Html\Prec y
|                        %EDAPHI_DIR%\Prec\Res con
|                        ts_util
| * cp_prec60min_00..... Copia resultados 60min 00 a la carpeta de
entrada
|                        para Comb
| * map_html_res_5min..... Genera el mapa de lluvias HTML en
|                        %EDAPHI_DIR_AREA%\Html\Prec. Admite /xml_png
| * p_antecedente..... Genera archivos de interés para los cálculos
de
|                        lluvia antecedente
| * prep_res_5min..... Prepara resultados para publicación web.
Ejecución
```

```

                                cada 5 minutos, basada en datos SAIH
* prep_res_60min..... Prepara resultados para publicación web.
Ejecución                                cada 60 minutos, incluyendo datos radar

```

Las opciones de uso por comando no representan el total del código incluido en cada módulo, sino un conjunto de funcionalidades que se han considerado útiles. Las posibilidades de uso por programación en Python son siempre mucho mayores

6.9 Desencadenamiento de acciones por eventos de ejecución. Archivos de comandos `call_extern.cmd`

Los módulos EDAPHI hacen llamadas de ejecución a archivos de comandos que se denominan `call_extern.cmd`. Si se encuentra un archivo con ese nombre en la carpeta del caso de aplicación, se ejecutará al producirse cierto evento (inicio del módulo, realización de cálculos parciales, fin del proceso, etc.). Cada módulo tendrá un comando `test_call_extern` que permitirá realizar pruebas e informará de los posibles argumentos con los que se realizará la llamada.

El ejemplo siguiente es de la aplicación Prec, sirve para ejecutar algunas acciones cuando después de calcular los valores areales cuando `t_0` es una hora entera:

```

@echo off
echo ^<^|^>
Echo ^<^|^> %EDAPHI_Ap%.%0
echo ^<^|^>
echo Argumentos recibidos:
echo      %*
if "%1"=="PREC.CALC_AREAS_MIN00-INCT60MIN" (
    call cp_prec60min_00.cmd
    call p_antecedente.cmd
)

```

6.10 Módulos que operan con Python 3 de GIS-Grass

La versión 7.8 de GIS-Grass se reprogramó con Python 3, con lo que el enlace con otros módulos de EDAPHI abrió nuevas posibilidades. En esta versión de EDAPHI se incorporó el módulo EGrassPy3 que hace de interfase entre el entorno EDAPHI y el de programación en el Python de GIS-Grass. En el capítulo 18 se dan las instrucciones para configurar este tipo de aplicaciones.

Para la versión anterior de EDAPHI (2023), se generó una versión de MTG (MTG24) que funciona con Grass 7.8 y su Python 3.9. Se trata de un caso singular, organizado de un modo distinto al de los demás módulos, para facilitar el uso del código por parte de los especialistas que están trabajando con este módulo en el INETER (Instituto Nacional

de Estudios Territoriales) de Nicaragua. Esta reorganización ha sido sencilla gracias a la versatilidad de la concepción modular de EDAPHI y el uso de sus variables de entorno.

6.11 Módulos que operan con Python 2.7 de GIS-Grass. Versiones obsoletas

Los módulos GCuencas (primera versión), GMeteo y GHR y MTG funcionan con Python de GIS-Grass. Por tanto, el primer paso necesario es la instalación de este paquete (<https://grass.osgeo.org/>). Una vez realizado esto, no será necesario ninguna acción complementaria de instalación, pues el desarrollo de este grupo de módulos EDAPHI se ha realizado sobre las bibliotecas de la instalación estándar de GIS-Grass.

Nota 1: se ha comprobado el funcionamiento de los módulos EDAPHI que funcionan con GIS-Grass versiones 7.4 a 7.6.

Nota 2: Se cuenta con versiones actualizadas de todos estos módulos que funcionan con Python 3

6.11.1 Configuración general del entorno

El archivo `EDAPHI\Cmd\edaphi_e_py2.cmd` sirve para especificar las variables generales del entorno EDAPHI. Su contenido es:

```
@echo off
Rem
*****
Rem Este archivo se codifica en OEM 850
Rem Desde este archivo se establecen las variables de entorno de EDAPHI para
Rem módulos EDAPHI que funciona con Python 2 de GIS-Grass
Rem en un módulo deben establecerse, antes de llamar a éste:
Rem EDAPHI_DIR, EDAPHI_AP, EDAPHI_GRASS_LOCATION y EDAPHI_GRASS_MAPSET
Rem
*****
Rem El directorio de programas:
Set EDAPHI_DIR_PROG=%EDAPHI_DIR%\Prog
REM Según la versión de Grass:
Set EDAPHI_GRASS=grass74
REM Para lo siguiente, ver GISBASE\%EDAPHI_GRASS%.bat y
"%GISBASE%\etc\env.bat"
SET GISBASE=C:\Program Files\GRASS GIS 7.4.0
call %EDAPHI_DIR_PROG%\Cmn\Py2\Cod\Cmd\edaphi_e.cmd
```

Este archivo permite situar los programas en la carpeta deseada, independiente de la carpeta EDAPHI si se desea, sin más que cambiar la instrucción:

```
Set EDAPHI_DIR_PROG=%EDAPHI_DIR%\Prog
```

El entorno específico para los módulos que dependen de GIS-Grass está preparado de modo tal que puedan usarse los módulos de esta aplicación desde la ventana de comandos y desde el código de los módulos EDAPHI.

6.11.2 Configuración del arranque de un módulo

Los módulos EDAPHI se ejecuta con un archivo de comandos del sistema operativo, con ventanas de comandos del mismo. Necesitan las siguientes variables de entorno:

- EDAPHI_AP.- Nombre del módulo (Gen, Prec, MH, ...)
- EDAPHI_DIR_C.- Carpeta de caso de aplicación
- EDAPHI_DIR.- Carpeta general de EDAPHI
- EDAPHI_GRASS_LOCATION.- Nombre de la localización (LOCATION) de la base de datos de Grass
- EDAPHI_GRASS_MAPSET.- Nombre del conjunto de mapas de Grass (MAPSET)

Lo siguiente muestra el contenido de un archivo de comandos para una ventana correspondiente a la aplicación *GMeteo*:

```
@Echo off
set EDAPHI_AP=GMeteo
SET EDAPHI_GRASS_LOCATION=Segura
SET EDAPHI_GRASS_MAPSET=PERMANENT
Rem Directorio de caso
Set EDAPHI_DIR_C=%cd%
pushd ..
Rem Directorio General
SET EDAPHI_DIR=%cd%
popd
Rem Entorno general
Call %EDAPHI_DIR%\Cmd\edaphi_e_py2.cmd
echo -----
echo Use comandos para ver las opciones disponibles
echo Use ejecutar_grass g.manual -i para ayuda de comandos de Grass
echo -----
cmd /V:ON /E:ON /T:F9
```

Este tipo de archivo se suele almacenar en el directorio de caso con el nombre de ventana.cmd. Al hacer doble click en él desde el administrador de archivos se abre una ventana que permite la interacción con el módulo.

Cuando el módulo anterior es llamado desde otra aplicación, para que realice las tareas que le correspondan, se emplea el nombre de archivo *ciclo.cmd*, cuyo contenido es el siguiente:

```
@Echo off
Set EDAPHI_AP=GMeteo
Set EDAPHI_GRASS_LOCATION=Segura
Set EDAPHI_GRASS_MAPSET=PERMANENT
Color F9
Mode con COLS=90 LINES=15
Rem Directorio de caso
Set EDAPHI_DIR_C=%cd%
Pushd ..
```

```
Rem Directorio General
Set EDAPHI_DIR=%cd%
Popd
Rem Entorno general
Call %EDAPHI_DIR%\Cmd\edaphi_e_py3.cmd
Rem Atención, el título puede emplearse para controlar las esperas
Title EDAPHI#OP-%EDAPHI_AP%-%EDAPHI_DIR_C%
REM Lo siguiente sirve para las dimensiones de los gráficos PNG
Set GRASS_RENDER_WIDTH=1000
Set GRASS_RENDER_HEIGHT=1000
Call limpia_res -no_interact eq_grib=False
Echo Terminado limpia_res
Call todo_dir
If %ERRORLEVEL% GEQ 1 (
    Echo    ATENCIÓN, se ha producido un ERROR
    Pause
)
Exit
```


7 Utilidades comunes de propósito general

Hay paquetes Python de EDAPHI que están asociados a módulos de aplicación. Pero hay otros paquetes y algunos módulos de propósito general. En este capítulo se exponen ejemplos de algunos de ellos.

El usuario puede experimentar con los comandos disponibles y descubrir sus potenciales. Siempre que se escriba el nombre del módulo obtiene la ayuda básica de uso.

El listado de módulos totales se ha incluido en el apartado 6.6 "Comando ed_cmd y módulos disponibles". Se destacan los siguientes paquetes:

Comunes	comandos_cmd.- Utilidades de archivos CMD conf_edaphi.- Configuración de EDAPHI console.- Utilidades relacionadas con ventanas de comandos ed_cmd.- Utilidad de comandos de EDAPHI info_log.- anejo de trazas de ejecución y archivos log sem.- Semáforos de modelos MH tasks_e.- Subprocesos EDAPHI util.- Utilidades genéricas básicas util_dev.- Utilidades varias de desarrollador
Arch	compress.- Utilidades de compresión de archivos edit_csv.- Editor simple de archivos CSV de configuración encrypt.- Encriptado file_csv.- Manejo de archivos CSV file_xls.- Manejo de archivos XLSX util_chardet.- Codificación de caracteres de archivos
Astl	astl.- Análisis de series temporales largas
Calc	bezier.- Define una curva interpolada a partir de puntos, según curvas de Bezier curve_fitting.- Módulo para ajustes de curvas evol_comp.- Computación evolutiva para optimización
paramétrica	root.- Obtención de raíces de funciones splines.- Define una curva interpolada a partir de puntos, según curvas de Bezier topo.- Análisis de topologías de nodos conectados por arcos
Com	ftp_ed.- Utilidad FTP html_ed.- Utilidades HTML http_ed.- Acceso a direcciones http
Media	anim.- Animaciones de imágenes graf_xy.- Gráficos XY sound.- Utilidades de sonido util_mathplotlib.- Utilidades para gráficos generados con mathplotlib
Sig	geoprj.- Gestión básica de sistemas de referencia espaciales (geográficos)

```

interp_rast.- Interpolador por el método de inverso a la
distancia
i_egrass.- Interfase de la solución EGrass
map.- Presentación de mapas
map_cts.- Operaciones con colecciones de series y mapas
map_html.- Mapas en html
map_par.- Mapas de tablas de parámetros
mod_raster.- Modelos raster
mod_raster_ts.- Series temporales de mallas (raster)
raster.- Operaciones con capas matriciales o ráster
rast_vect.- Operaciones combinadas de capas raster y
vectoriales
vectorial.- Manejo de capas SIG vectoriales

St
trz_ts.- Utilidades para trazas de series temporales
ts_calc.- Operaciones de cálculo con series temporales
ts_gen.- Generación de series temporales sintéticas
ts_stats.- Utilidades para cálculos de estadísticas de series
temporales
ts_util.- Utilidades para manejo de series temporales
ts_util_points_saih_seg.- Obtiene la información de puntos de
un episodio XLSX (SAIH-Segura) y genera SHP de nodos
tv_serie.- CUtilidades básicas de series temporales
tv_s_dss.- Manejo de series temporales con escrituras y
lecturas de bases de datos DSS de HEC

```

Algunos comandos ofrecerán posibilidades de interacción, como es el caso de `ts_util` `-w_grd`, que ofrece una representación de series temporales en forma matricial, con filas para cada serie y columnas para cada instante, según una tabla de colores.

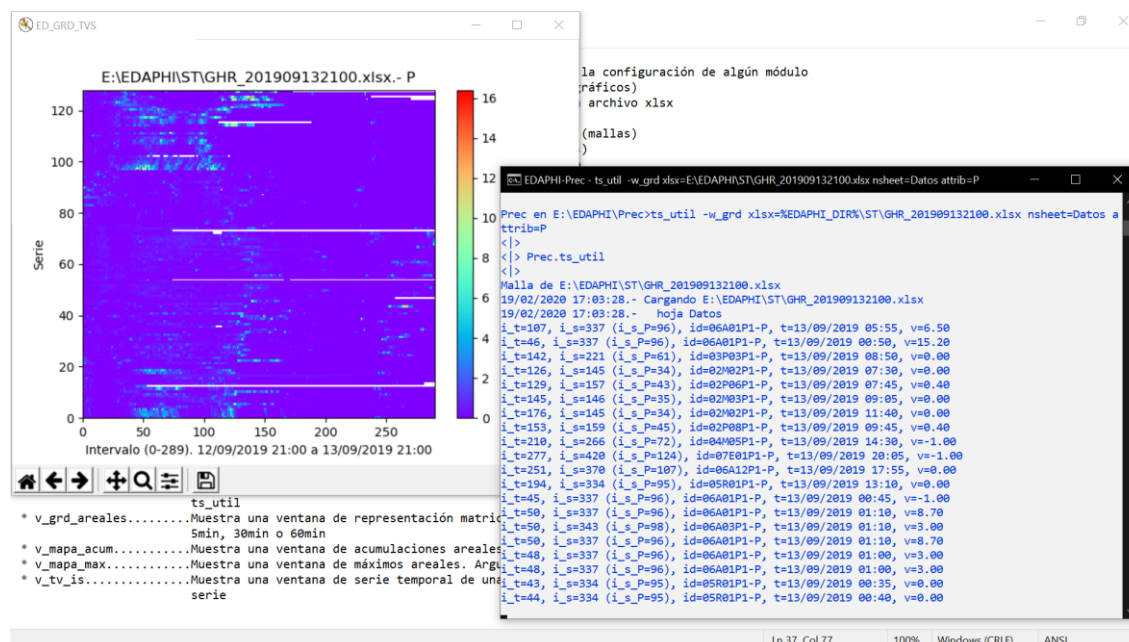


Figura 7-1.- Ejemplo del uso del comando `ts_util -w_grd`

Otros módulos como *map_cts* también ofrecerá posibilidades de interacción.

```
Operaciones con colecciones de series y mapas
Argumentos de acción:
-w_it: Muestra una ventana con valores en un instante determinado
-w_anim: Muestra una ventana animada
-w_max: Muestra una ventana con asignación de colores según los
máximos
-w_min: Muestra una ventana con asignación de colores según los
mínimos
-w_med: Muestra una ventana con asignación de colores según los
promedios
-w_acum: Muestra una ventana con asignación de colores según los
acumulados
-w_ran: Muestra una ventana con asignación de colores según
diferencias entre máximos y mínimos
-w_conf: Muestra una ventana con asignación de colores según el
archivo de configuración
-g_*: Comandos equivalentes a los anteriores pero almacenando los
resultados en archivos
-h_*: Comandos equivalentes a los anteriores pero almacenando los
resultados en html. No aplicable
      al caso _anim
-----
Argumentos obligatorios:
it=: Número de intervalo (para comando -w_it o -g_it)
dir_res=: Carpeta de resultados (para comandos g_
arch_res=: Nombre completo de archivo gráfico, alternativa a dir_res
para comandos g_, excepto para g_anim que sólo usa nombre predefinidos.
Tiene preferencia respecto a dir_res
Opción 1
arch_ct=: Nombre completo del archivo de series temporales
n_sheet=: Nombre de la hoja con las series. Por defecto,
n_sheet=Series
arch_vec=: Nombre completo del archivo vectorial
- Con los siguientes argumentos complementarios:
id_vec=: Campo de la capa vectorial para relacionar con ID de
series. Por defecto: ID
scn_excl=: Escenarios que se excluyen (-stats_t). Por defecto:
Min_Scns_Fut|Max_Scns_Fut"
scn=: Si se indica, sólo se calculan los valores del escenario
scn
attrib=: Atributo con el que opera. Con todos si no se
especifica
nt_color=: Nombre de la tabla de colores (ver comando
color_tablas)
dpi=: Puntos por pulgada para archivos gráficos (Por defecto,
dpi=300)
title=: Título. Puede usar la variable @t_0@ que será
sustituida por la cadena de instante actual
Opción 2
arch_conf=: Nombre completo del archivo de configuración XLSX
- Si se indica origen de series tendrá preferencia sobre lo
indicado en la configuración
arch_ct=: Nombre completo del archivo de series temporales
n_sheet=: Nombre de la hoja con las series. Por defecto,
n_sheet=Series
Argumentos complementarios:
inter_s=: Intervalo de pausa, en segundos, para animaciones
pref=: Prefijo para resultados estadísticos
```

/xml_png: Sólo genera el archivo XML y los PNG en los casos -h_*.
Útil cuando todas las capas vectoriales con variables asociadas tienen el campo ID

Ejemplos:

```
-w_max arch_vec=%EDAPHI_DIR_AREA%\Sig\subcuencas_prec.shp
arch_ct=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\60min\areales.xlsx n_sheet=Series
-w_it it=5 arch_vec=%EDAPHI_DIR_AREA%\Sig\subcuencas_prec.shp
arch_ct=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\60min\areales.xlsx n_sheet=Series
-g_it it=47 arch_vec=%EDAPHI_DIR_AREA%\CFFGS\Sig\nod_s_areas_yn.shp
arch_ct=%EDAPHI_DIR_AREA%\CFFGS\Res\asm\Nod_S_Areas_YN_ASM.xlsx
title="Valor actual de FFGS-ASM" n_tcolor=rainbow
arch_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\Html\Grf\FFGS-ASM_t0.png
-w_max arch_vec=%EDAPHI_DIR_AREA%\Sig\nod_p.shp
arch_ct=%EDAPHI_DIR_AREA%\St\st_gen_60min.xlsx n_sheet=Datos id_vec=id_cq
size=10 attrib=P
-w_max anim arch_vec=%EDAPHI_DIR_AREA%\Sig\subcuencas_prec.shp
arch_ct=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\60min\areales.xlsx n_sheet=Series
n_tcolor=plasma inter_s=0.5
-w_max
arch_conf=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Conf_Mapas\conf_mapa_s_max.xlsx
-g_acum
arch_conf=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Conf_Mapas\conf_mapa_s_acum.xlsx
dir_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\60min
-w_max
arch_conf=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Conf_Mapas\conf_mapa_s_max.xlsx
arch_ct=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\30min\areales.xlsx n_sheet=Series
-h_max
arch_conf=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Conf_Mapas\conf_mapa_s_max_HTML.xlsx
arch_ct=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\Comb\areales.xlsx
n_sheet=Seriesdir_res=%EDAPHI_DIR_C%\res_p_html
-h_conf
arch_conf=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Conf_Mapas\conf_mapa_html_subc_p.xlsx
arch_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\Prec\mapa_subc_i.html
-h_conf
arch_conf=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Conf_Mapas\conf_mapa_html_subc_p.xlsx
arch_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\Prec\mapa_subc_i.html /xml_png
```

En un caso concreto el comando `map_cts -w_max` mostraría la ventana siguiente (Figura 7-2).

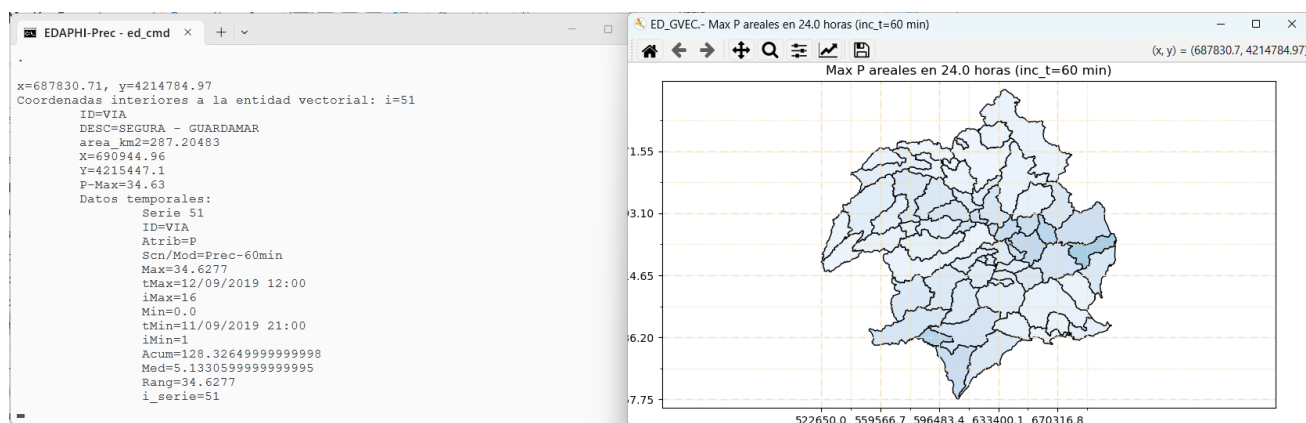


Figura 7-2.- Ejemplo de uso del comando `map_cts -w_max`

Se puede configurar un mapa complejo a través de un archivo XLSX. El caso más completo es el del módulo *map_cts*, que permite relacionar entidades vectoriales con series temporales, mostrarlas en el mapa, y colorear cada entidad en función de las características de la serie asociada (máximo, acumulado, ...).

	A	B	C
1	TITLE	Mapa de resultados de MH	
2	GRID	5	Dibuja una malla cuadrada (S/N)
3	INT_1_STATS	0	Intervalo (base 0) inicial para el cálculo de estadísticas
4	INT_2_STATS	144	Intervalo (base 0) final para el cálculo de estadísticas (-n para -n últimos intervalos)
5	H_W_REC_PX	320	Anchura (px) de las ventanas de información de registros de vectoriales
6	H_H_REC_PX	300	Altura (px) de las ventanas de información de registros de vectoriales
7	DPI_SAVE_PNG	300	Puntos por pulgada (72, 96, 160, 300, ...)
8	COL_TS_1_ARCH	%EDAPHI DIR AREA\%MH\Res\%tv_nod.csv	Archivo de series temporales (XLSX o CSV)
9	COL_TS_1_SHEET	Series	Hoja en el caso de archivo XLSX
10	COL_TS_1_NAME	Caudales (Resultados)	
11	COL_TS_1_VAR	Max	Max', 'Min', 'Med', 'Acum', 'Rang'
12	COL_TS_1_VECT	%EDAPHI DIR AREA\%MH\Res\%figura.png	
13	COL_TS_1_N_FIELD_1	 	Si incluye un hiperenlace tiene que se de Internet (no funciona para archivos locales, salvo localhost). Se realizan las siguientes sustituciones: %ID%-identificador de serie, %AT%-atributo de serie, %SCN%-escenario de serie, %RND%-entero aleatorio
14	COL_TS_1_N_FIELD_2	 	Si incluye un hiperenlace tiene que se de Internet (no funciona para archivos locales, salvo localhost). Se realizan las siguientes sustituciones: %ID%-identificador de serie, %AT%-atributo de serie, %SCN%-escenario de serie, %RND%-entero aleatorio
15	COL_TS_1_N_FIELD_3	P. subistema %Substit_wi%	Si incluye un hiperenlace tiene que se de Internet (no funciona para archivos locales, salvo localhost). Se realizan las siguientes sustituciones: %ID%-identificador de serie, %AT%-atributo de serie, %SCN%-escenario de serie, %RND%-entero aleatorio

Figura 7-3.- Configuración de un mapa para el comando *map_cts*

El módulo *map_par*, permite algo análogo, pero relacionando las entidades con una tabla de parámetros. Estas utilidades de mapas se completan con *map_html*, que se basa en los anteriores añadiendo la capacidad de generar mapas interactivos para su publicación web.

Los comandos con salida gráfica por ventana admiten las instrucciones de zoom, desplazamiento, guardar archivo gráfico o redistribuir áreas de representación (Figura 7-4).

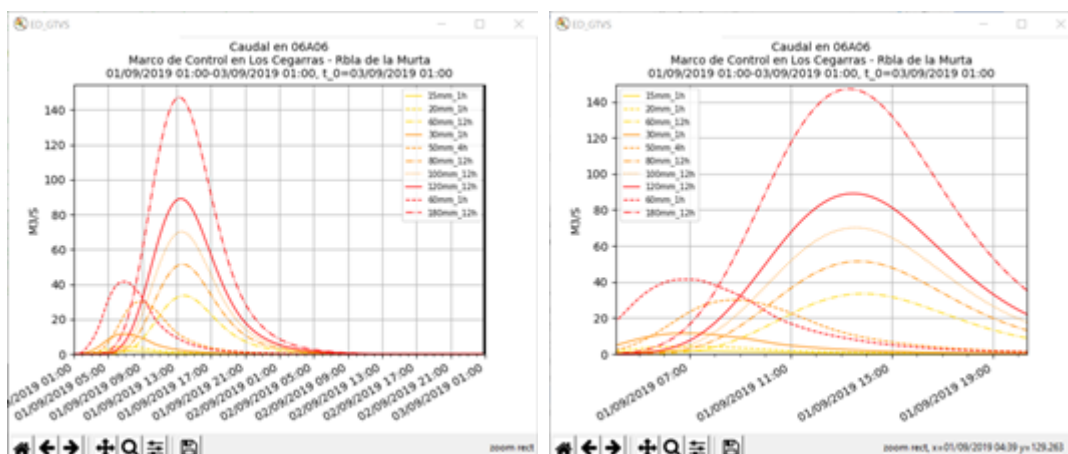


Figura 7-4.- Ejemplo de zoom en una ventana gráfica

Otros comandos ofrecen salida alfanumérica, como `scenario -list_s` que lista los escenarios de salida con el que se ha configurado un módulo (Figura 7-5).

En los capítulos dedicado a algunos módulos se incluyen ejemplos concretos sobre uso comandos de propósito general.

```

EDAPHI-MH
(Edaphi) C:\edaphi\Segura-Conda\MH\CG>ed_cmd scenario -list_s xlsx_conf=conf_cg_
opera.xlsx
* Escenarios de salida del modelo
Tipo, id
FUT, Fut_QCte
FUT, Fut_2h100
FUT, Fut_4h100
FUT, Fut_2h175
FUT, Fut_4h175
FUT, Fut_2h250
FUT, Fut_4h250
FUT, AEMET
FUT, P_0
FUT, P_60mm_12h
FUT, P_120mm_12h
PAS, Resp_Rapida
PAS, Resp_MedRap
PAS, Resp_Media
PAS, Resp_MedLen
PAS, Resp_Lenta
CAL, Calibra_Z
CAL, Calibra_NPAS
(Edaphi) C:\edaphi\Segura-Conda\MH\CG>

```

Figura 7-5.- Ejemplo del uso del comando `scenario -list_s`

Hay algunos módulos que sólo cuentan con algún comando de demostración, como complemento de explicación de funcionalidades incluidas en el entorno. Tal es el caso de `evol_comp` que ofrece varios ejemplos con el que experimentar en el uso de algoritmos de computación evolutiva para minimizar o maximizar funciones (Figura 7-6)

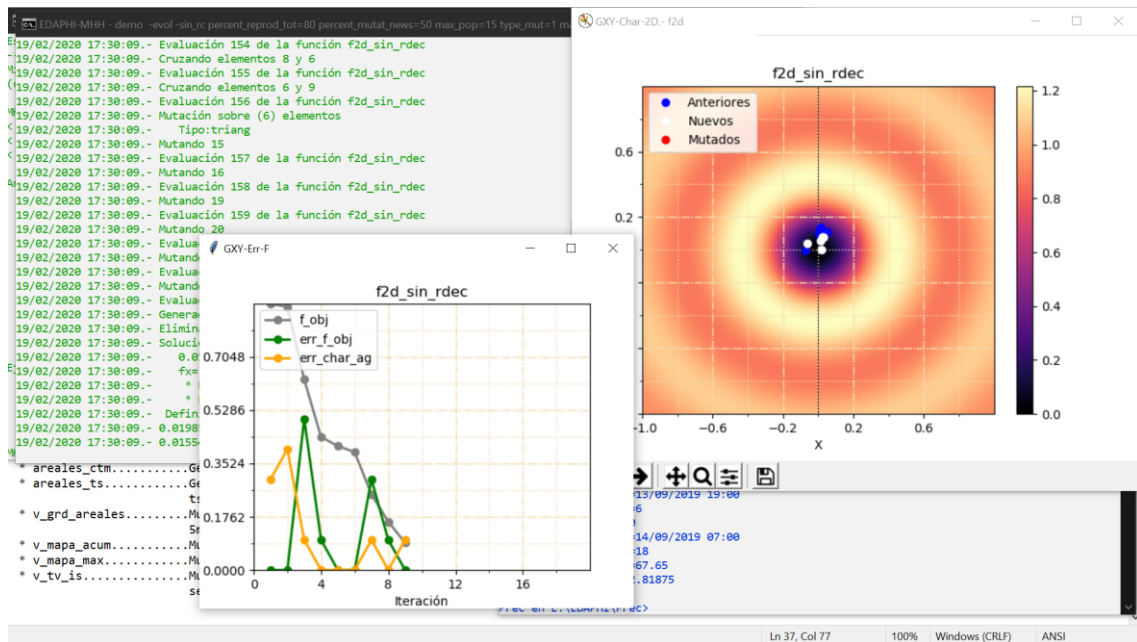


Figura 7-6.- Pantalla con resultados de la demostración del módulo evol_comp

Hay comandos algo complejos, pero muy usados. Tal es el caso de *ts_util* referido anteriormente, cuyas opciones de uso interactivo son:

```
Utilidades para manejo de series temporales
Argumento general:
    /mt_orig: no modifica la lista de tiempos

Comandos de información:
    -info: Información básica del archivo
    xlsx=: nombre de archivo XLSX
    nsheet=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series)
    csv=: nombre de archivo CSV como alternativa a xlsx y nsheet
    /ids: incluirá el listado de ID / nombre de las series
    /ats: incluirá el listado de atributos / attrib / tipo de las
series
    /scns: incluirá el listado de escenarios / modelos de las
series
    -t_int: Cambio de intervalo a instante o viceversa con la referencia
temporal de un archivo
    int=: Número de intervalo (opción 1) y devuelve el instante
    t=: Instante (opción 1) en formato "12/09/2019 21:00" y
devuelve el intervalo

Comandos de sustitución:
    -rep_as: Sustituye atributos o escenarios
    n_a=: nombre de archivo XLSX o CSV
    at_f=: attrib a buscar (admite comodín *). Pueden indicarse
varios separador por |
    at_t=: valor de sustitución de attrib
    scn_f=: escenario a buscar (admite comodín *). Pueden indicarse
varios separador por |
    scn_a=: valor de sustitución de escenario
    ns_a=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series) para el caso XLSX
```


Comandos de unión:

-B_a_A: Carga valores de B en A. Deben tener igual Inct. Las condiciones temporales vienen impuestas por A. Reconoce el tipo de archivo por la extensión

```

/a_no_a: añade las series de B no encontradas en A
n_a=: nombre de archivo XLSX o CSV
n_b=: nombre de archivo XLSX
n_r=: nombre de archivo XLSX resultado. Será A si se omite
ns_a=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series) para el caso XLSX
ns_b=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series) para el caso XLSX
ns_r=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series) para el caso XLSX
id_esp: si se indica, sólo pasa las series de con id=id_esp
scn=: Escenario que seleccionar (si se indica #n, siendo n un
entero, tomará los datos del escenario n de B
r_scnb=: Sustitución de identificadores de escenario de B al
pasar a A

```

```

/inv_a=: Sólo se aplica a los valores de A inválidos

```

-B_y_A: Une dos archivos. Deben tener igual Inct. Reconoce el tipo de archivo por la extensión

```

n_a=: nombre de archivo XLSX o CSV
n_b=: nombre de archivo XLSX
n_r=: nombre de archivo XLSX resultado. Será A si se omite
ns_a=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series) para el caso XLSX
ns_b=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series) para el caso XLSX
ns_r=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series) para el caso XLSX
id_esp: si se indica, sólo pasa las series de con id=id_esp
scn=: Escenario que seleccionar (si se indica #n, siendo n un
entero, tomará los datos del escenario n de B
r_scnb=: Sustitución de identificadores de escenario de B al
pasar a A
/prio_a: llevan prioridad los valores de A

```

Comandos de selección:

```

-sel_s: Selecciona las series
id=: Identificadores (nombre) de series separados por | y
entrecomillados
scn=: Escenarios separados por | y entrecomillados
at=: Atributos / tipos de series separados por | y
entrecomillados
xlsx=: nombre de archivo XLSX
nsheet=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series)
csv=nombre de archivo CSV como alternativa a xlsx y nsheet
arch_res=: Archivo de resultados. Tendrá prioridad sobre
dir_res. Si no se indica se genera uno automáticamente
dir_res=: Directorio de resultados (por defecto será el del
archivo de entrada)
-sub_int: Genera un archivo que contiene un subintervalo del archivo
dato
xlsx=: nombre de archivo XLSX
nsheet=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series)
csv=nombre de archivo CSV como alternativa a xlsx y nsheet
arch_res=: Archivo de resultados. Tendrá prioridad sobre
dir_res. Si no se indica se genera uno automáticamente

```



```

    dir_res=: Directorio de resultados (por defecto será el del
archivo de entrada)
    i_t_0=: Intervalo de t_0. Por defecto será el último
    Los argumentos temporales deben ser:
    - int_ini, int_fin
    - int_ini, num_int
    - int_fin, num_int
    - num_int (los últimos)
    - str_t_ini, str_t_fin
    t_ini=: Fecha inicial (Ejemplo t_ini="27/04/2018 14:23"
    t_fin=: Fecha final (Ejemplo t_fin="27/04/2018 14:23"
    t_ini o t_fin pueden adoptar el valor 't_0_gen', en cuyo caso
adoptan el valor correspondiente a t_0 de las series generales
    int_ini=: Intervalo inicial (tiene preferencia respecto a
t_ini)
    int_fin=: Intervalo final (tiene preferencia respecto a t_fin)
    num_int=: Número de intervalos, combinado con instante o
intervalo inicial o final, o los num_int últimos

    Comandos para gráficos t-v
    -w_tv: Muestra un gráfico t-v con todas las variables o con una si
se indica valor i_s
    xlsx=: nombre de archivo XLSX
    nsheet=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series)
    csv=nombre de archivo CSV como alternativa a xlsx y nsheet
    id=: Identificadores (nombre) de series separados por | y
entrecomillados
    scn=: Escenarios separados por | y entrecomillados
    at=: Atributos / tipos de series separados por | y
entrecomillados
    i_s=: Índice en base cero de la serie a representar (Opcional)
    title=: título que muestra el gráfico
    lin_w=: Ancho de línea (1 por defecto)
    /rnd_color: Colores aleatorios
    color=: Colores separados por | y entrecomillados
    /acum: Acumula las series
    -w_tv_s: Almacena un gráfico t-v con todas las variables o con una
si se indica valor i_s
    xlsx=: nombre de archivo XLSX
    nsheet=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series)
    csv=nombre de archivo CSV como alternativa a xlsx y nsheet
    id=: Identificadores (nombre) de series separados por | y
entrecomillados
    scn=: Escenarios separados por | y entrecomillados
    at=: Atributos / tipos de series separados por | y
entrecomillados
    i_s=: Índice en base cero de la serie a representar (Opcional)
    lin_w=: Ancho de línea (1 por defecto)
    /rnd_color: Colores aleatorios
    color=: Colores separados por | y entrecomillados
    arch_res=: Archivo de resultados. Tendrá prioridad sobre
dir_res. Si no se indica se genera uno automáticamente
    title=: título que muestra el gráfico
    dir_res=: Directorio de resultados (por defecto será el del
archivo de entrada)
    /rep_sp: Reemplaza espacio por _ en los nombres de los archivos
de resultados
    /rep_ch: Reemplaza caracteres especiales en los nombres de los
archivos de resultados

```

```

/acum: Acumula las series
-w_tv_a_s: Almacena un gráfico t-v por cada serie
  xlsx=: nombre de archivo XLSX
  nsheet=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series)
  csv=: nombre de archivo CSV como alternativa a xlsx y nsheet
  id=: Identificadores (nombre) de series separados por | y
entrecorillados
  scn=: Escenarios separados por | y entrecorillados
  at=: Atributos / tipos de series separados por | y
entrecorillados
/acum: Acumula las series
i_s=: Índice en base cero de la serie a representar (Opcional)
lin_w=: Ancho de línea (1 por defecto)
/rnd_color: Colores aleatorios
color=: Colores separados por | y entrecorillados
title=: título que muestra el gráfico
dir_res=: Directorio de resultados (por defecto será el del
archivo de entrada)
/rep_sp: Reemplaza espacio por _ en los nombres de los archivos
de resultados
/rep_ch: Reemplaza caracteres especiales en los nombres de los
archivos de resultados
  title=: título que muestra el gráfico

Comandos para gráficos matriciales (intervalo - serie)
-w_grd: Muestra un gráfico matricial
  cmap=: tabla de colores (ver comando color_tablas). Usar
EDAPHI_MVI para marcar valores inválidos
  xlsx=: nombre de archivo XLSX
  nsheet=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series)
  csv=: nombre de archivo CSV como alternativa a xlsx y nsheet
  title=: título que muestra el gráfico
  at=: Un atributo a seleccionar (tipo de serie, ej:at=P)
  j_dif=: (Opcional) Intervalo de referencia para mostrar
variaciones
  v_min=: (Opcional) Valor mínimo para la tabla de colores
  v_max=: (Opcional) Valor máximo para la tabla de colores
-w_grd_s: Guarda una matriz de datos en un archivo PNG. Admite
parámetro dir_res
  cmap=: tabla de colores (ver comando color_tablas). Usar
EDAPHI_MVI para marcar valores inválidos
  xlsx=: nombre de archivo XLSX
  nsheet=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series)
  csv=: nombre de archivo CSV como alternativa a xlsx y nsheet
  title=: título que muestra el gráfico
  at=: Un atributo a seleccionar (tipo de serie, ej:at=P)
  j_dif=: (Opcional) Intervalo de referencia para mostrar
variaciones
  v_min=: (Opcional) Valor mínimo para la tabla de colores
  v_max=: (Opcional) Valor máximo para la tabla de colores
  arch_res=: Archivo de resultados. Tendrá prioridad sobre
dir_res. Si no se indica se genera uno automáticamente
  dir_res=: Directorio de resultados (por defecto será el del
archivo de entrada)
-w_grd_epi: Lee el archivo referido en Gen\Res\last.csv y genera los
gráficos matriciales de series temporales en Gen\Res

Comandos de conversión

```

```

    -csv_to_xls: Transforma un archivo CSV en otro XLS
        csv=nombre de archivo CSV dato
        arch_res=: Archivo de resultados. Tendrá prioridad sobre
dir_res. Si no se indica se genera uno automáticamente
        dir_res=: Directorio de resultados (por defecto será el del
archivo de entrada)
        nsheet=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series)
    -csv_to_xlsx: Transforma un archivo CSV en otro XLSX
        csv=nombre de archivo CSV dato
        arch_res=: Archivo de resultados. Tendrá prioridad sobre
dir_res. Si no se indica se genera uno automáticamente
        dir_res=: Directorio de resultados (por defecto será el del
archivo de entrada)
        nsheet=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series)
    -csvfews_to_csv: Transforma un archivo CSV de FEWS en otro CSV
        csvfews=nombre de archivo CSV dato
        arch_res=: Archivo de resultados.
        ni_fut=: número de intervalos en futuro
        scn=: escenario
    -csvfews_to_xlsx: Transforma un archivo CSV de FEWS en otro XLSX
        csvfews=nombre de archivo CSV dato
        arch_res=: Archivo de resultados.
        ni_fut=: número de intervalos en futuro
        scn=: escenario
    -csv_to_html: Transforma un archivo CSV en HTML
        csv=nombre de archivo CSV como alternativa a xlsx y nsheet
        arch_css= Archivo de estilos CSS
        arch_res=: Archivo de resultados. Tendrá prioridad sobre
dir_res. Si no se indica se genera uno automáticamente
        dir_res=: Directorio de resultados (por defecto será el del
archivo de entrada)
    -xlsx_to_html: Transforma un archivo CSV en HTML
        xlsx=: nombre de archivo XLSX
        nsheet=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series)
        arch_css= Archivo de estilos CSS
        arch_res=: Archivo de resultados. Tendrá prioridad sobre
dir_res. Si no se indica se genera uno automáticamente
        dir_res=: Directorio de resultados (por defecto será el del
archivo de entrada)
    -html_table_vars: Genera una archivo HMTL con el resumen de las
variables que contiene
        xlsx=: nombre de archivo XLSX
        nsheet=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series)
        csv=nombre de archivo CSV como alternativa a xlsx y nsheet
        arch_css= Archivo de estilos CSS
        arch_res=: Archivo de resultados. Tendrá prioridad sobre
dir_res. Si no se indica se genera uno automáticamente
        dir_res=: Directorio de resultados (por defecto será el del
archivo de entrada)

    Otros
    -expand: expande hacia adelante o hacia atrás las series a partir de
t_0
        xlsx=: nombre de archivo XLSX
        nsheet=: Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto:
Series)
        csv=: nombre de archivo CSV como alternativa a xlsx y nsheet

```

```

n_fut=: Número de días/horas en futuro
n_pas=: Número de días/horas en pasado
/h n_ serán horas
arch_res=: Archivo de resultados
val=: valor a asignar en intervalos añadidos

```

Ejemplos:

Información

```

-info xlsx=%EDAPHI_DIR%\ST\GHR_201904201600.xlsx nsheet=Datos
-info /scns xlsx=Res\Map\Nod_S_Areas_YN_MAP.xlsx
-t_int csv=%EDAPHI_DIR\AREA%\ST\st_gen_60min.csv t="12/09/2019
21:00"

```

Selección

```

-sub_int int_ini=0 int_fin=12
xlsx=%EDAPHI_DIR\AREA%\ST\st_gen_05min.xlsx nsheet=Series attrib=S
dir_res=%EDAPHI_DIR%\st
-sub_int xlsx=St\ed_02R02Q01_01012010_09072015.xlsx t_ini="28/09/2012
01:00" t_fin="30/09/2012 23:00" arch_res=res\2012-09-27.xlsx /mt_orig
-sel_s xlsx=Res\Map\Nod_S_Areas_YN_MAP.xlsx id="S-EH. PEÑA
RANCHADERO|S-R. YAQUE - CANA" arch_res=p2s.xlsx
-sel_s n_xlsx_in=%EDAPHI_DIR\AREA%\MHH\CG\Res\Nod\01A02A1.xlsx
n_sheet=Series scn="Max_Scns_Fut|Min_Scns_Fut" at=Q

```

Conversión

```

-csv_to_xlsx csv=%EDAPHI_DIR\AREA%\ST\st_gen_60min.csv
dir_res=E:\EDAPHI
-csvfews_to_xlsx
csvfews="C:\Users\alav\OneDrive\Trabajo\Proyectos\Júcar\2023
SAIHJucar\fewes_archivos\input_EDAPHI2023-10-19 1100 +0200.Csv"
arch_res=st\fewes.xlsx ni_fut=144 scn=Prueba

```

Gráficos matriciales

```

-w_grd xlsx=%EDAPHI_DIR\AREA%\ST\GHR_201904201600.xlsx nsheet=Datos
attrib=P
-w_grd_s xlsx=%EDAPHI_DIR\AREA%\ST\st_gen_05min.xlsx nsheet=Series
attrib=S dir_res=%EDAPHI_DIR\AREA%\Html

```

Gráficos tv

```

-w_tv xlsx=%EDAPHI_DIR\AREA%\st\st_gen_05min.Stats_t.xlsx
-w_tv_a_s xlsx=%EDAPHI_DIR\AREA%\Prec\Res\Comb\areales.xlsx
nsheet=Series dir_res=%EDAPHI_DIR\AREA%\Html\Prec\Grf\Comb_gxy
-w_tv_a_s dir_res=%EDAPHI_DIR\AREA%\
xlsx=%EDAPHI_DIR\AREA%\Histo\2019-09-12\FicherosGHR\GHR_201909131400.xlsx
at=C id="01A02A1-C|01A03A1-C|01A04A1-C|07R02A1-C|07A01A1-C|07R03A1-
C|07R04A1-C|07A03A1-C|07R05A1-C|07A04A1-C|07A06A1-C|05A01A1-C|07C03A1-C"
-w_tv csv=Res\Nod_sim\02S01E1.csv at=E scn="DATO_CAL|Rap_EHA-Seco"
lin_w=2 /rnd_color
-w_tv csv=Res\Nod_sim\02S01E1.csv at=E scn="DATO_CAL|Rap_EHA-Seco"
lin_w=2 color="red|blue"

```

Unión

```

-B_a_A xlsx_a=a.xlsx xlsx_b=b.xlsx xlsx_c=c.xlsx
ts_util -B_a_A id_esp=Argos-Quipar scn=#0
n_a=%EDAPHI_DIR\AREA%\Prec\ST\st_gen_05min.csv
n_b=%EDAPHI_DIR\AREA%\MH\Moratalla_Argos\Res\Nod_sim\Argos-Quipar.csv
/a_no_a n_r=%EDAPHI_DIR\C%\ST\st_gen_05min.csv r_scnb="MH-MA"

```

```
-B_y_A xlsx_b=%EDAPHI_DIR_AREA%\Histo\2019-09-12\201909130000.xlsx  
xlsx_a=%EDAPHI_DIR_AREA%\Histo\2019-09-12\201909140000.xlsx  
n_r=%EDAPHI_DIR_AREA%\Histo\2019-09-12\201909130000-140000.xlsx
```

8 Enfoques metodológicos

El entorno incluye muchos métodos de cálculo con algoritmos programados que son de uso común en la hidrología operacional. Algunos son variaciones de soluciones estándares adaptadas para su uso en tiempo real. Tal es el caso de los filtros de media móvil que se incorporan, o utilidades para reajustes rápidos de curvas de gasto (relaciones nivel caudal en estaciones de medida de nivel en ríos o canales), y de otras muchas utilidades incorporadas.

No obstante, en este capítulo se incluyen algunos apartados que abordan algunos aspectos importantes, relacionados con el pronóstico hidrológico, que pueden ser singulares en EDAPHI.

8.1 Módulos de cálculo y simulación generales y específicos

El entorno incluye en su código utilidades de cálculo numérico, incluyendo un algoritmo de computación evolutiva para problemas de calibración de parámetros. También interpoladores unidimensionales y bidimensionales, y diversas herramientas de modelación. Pero, además, está concebido para incorporar soluciones externas.

En algunos capítulos dedicados a módulos de aplicación se incluyen descripciones sobre enfoques metodológicos. Así, en lo relacionado con el tratamiento de las lluvias (Prec) se incluyen los siguientes apartados:

- 10.3.1 "Interpolación"
- 10.3.2 "Combinación de mallas."

En el siguiente apartado se describe lo relacionado con la consideración del estado de humedad antecedente haciendo uso de un parámetro "a", pero es el en el capítulo donde se desarrollan algunos de estos conceptos, concretamente en lo que relaciona este parámetro con la lluvia antecedente, lo que se afronta con el uso de un índice:

- 12.2.2 "Índice de lluvia antecedente"

Lo relacionado con la operación de embalses se aborda en el capítulo específico:

- 14 "Laminación de embalses. EDAPHI-PEX-XN y XLSM"

Dado lo especial de los análisis estadísticos de valores máximos, los aspectos metodológicos, muy extensos, son tratados en el apartado correspondiente del módulo de aplicación V Extremos (18), concretamente en

- 18.2 "Enfoque metodológico"

Los relacionado con el tratamiento de imágenes de satélite para obtener la cobertura nival es también muy específico, como lo es el método de cálculo de fusión nival, por lo que los fundamentos de estas cuestiones se incluyen en el capítulo de EDAPHI-Nieve:

- 17.2.1 Obtención de la superficie de nieve
- 17.2.2 Modelo de fusión nival

8.1.1 Cálculo de errores de simulación

Para valorar los resultados se emplean las siguientes fórmulas de error:

$$ABS_POND_MAX = \frac{\sum_{i=1}^n |v_mod_i - v_obs_i| * |v_obs_i|}{\sum_{i=1}^n |v_obs_i|}$$

$$BIAS(sesgo) = \frac{\sum_{i=1}^n v_mod_i - v_obs_i}{n}$$

$$ABS(Error\ absoluto\ medio, MAE) = \frac{\sum_{i=1}^n |v_mod_i - v_obs_i|}{n}$$

$$BIAS_POND_MAX = \frac{\sum_{i=1}^n (v_mod_i - v_obs_i) * |v_obs_i|}{\sum_{i=1}^n |v_obs_i|}$$

$$CUAD (RECM, RMSE, error\ cuadrático\ medio) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_mod_i - v_obs_i)^2}{n}}$$

$$C_POND_MAX = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_mod_i - v_obs_i)^2 * |v_obs_i|}{\sum_{i=1}^n |v_obs_i|}}$$

Siendo v_mod : valor de modelo, v_obs : valor observado, i : intervalo de tiempo

También se calculan el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y las variantes normalizadas ($NNSE1$ y $NNSE2$):

$$NNSE1 = \frac{1}{2 - NSE1}; NSE1 = \frac{\sum_{i=1}^n |v_mod_i - v_obs_i|}{\sum_{i=1}^n |v_mod_i - v_obs_{med}|}$$

$$v_obs_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n v_obs_i}{n}$$

$$NNSE2 = \frac{1}{2 - NSE2}; NSE2 = \frac{\sum_{i=1}^n (v_mod_i - v_obs_i)^2}{\sum_{i=1}^n (v_mod_i - v_obs_{med})^2}$$

8.1.2 Reajustes en tiempo futuro

Las medidas de caudal o nivel en nodos del sistema hidrológico llegan hasta el instante actual t_0 , mientras que los valores en futuro alcanzan el horizonte de previsión t_{fin} . La variable de pronóstico parte de la serie medida y se prolonga a partir de los resultados de cálculo. Ello se realiza empleando una función error ($f_{corr_err_t0}$), que puede ser de dos tipos:

- 1) Constante e igual al error en el instante t_0 : Err_{t_0} (reajuste por desplazamiento)
- 2) Según una fórmula que iguala ambas series, observada y calculada, en el instante t_0 y asume el valor calculado en futuro a partir de cierto tiempo (th_{cfut}), anterior a t_{fin} , con una transición dependiente de una potencia (pot)

Si t_0 es el valor en horas de t_0 con respecto a una referencia y th_{cfut} se expresa también en horas, la fórmula que se aplica para el segundo caso es:

$$f_{corr_err_t0} = \begin{cases} err_{t_0} * \left(1 - \left(\frac{t - t_0}{th_{cfut}}\right)^{pot}\right), & t - t_0 \leq th_{cfut} \\ 0, & t - t_0 > th_{cfut} \end{cases}$$

La siguiente figura ilustra un caso de uso de ambos tipos de reajuste:

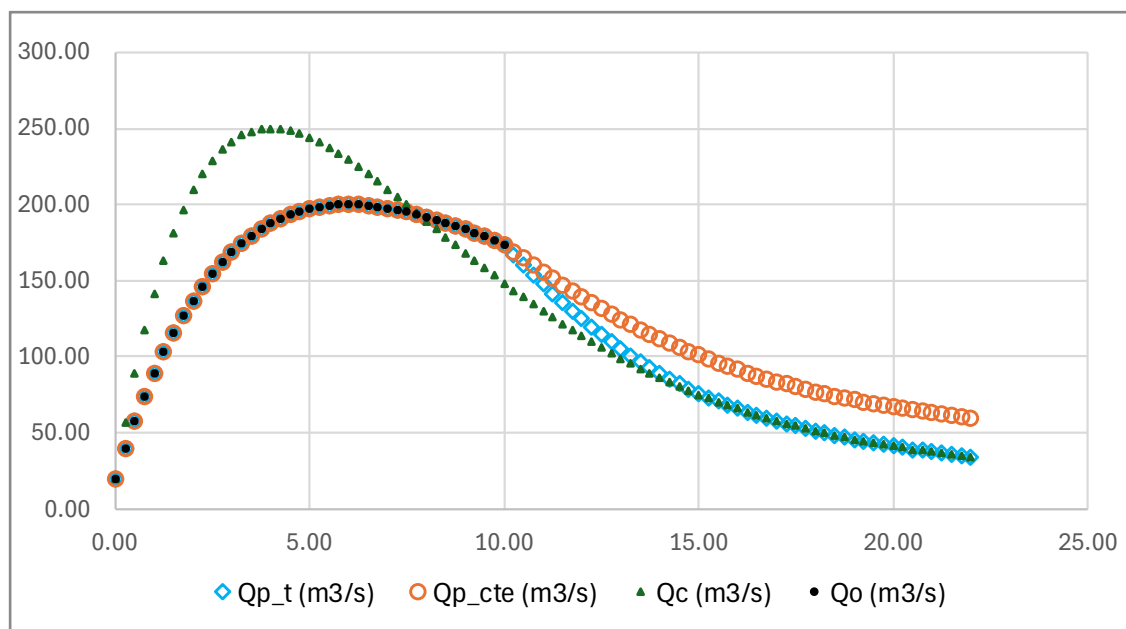


Figura 8-1.- Reajuste futuro a partir de la hora 10 (t_0) hasta el horizonte de previsión en la hora 22. Q_0 es el caudal observado, Q_c el calculado, Q_{p_cte} es el caudal con corrección constante y Q_{p_t} es la corrección dependiente de una potencia (2 en el ejemplo) y un tiempo de corrección (6 horas)

Cuyas funciones de corrección se ilustran a continuación:

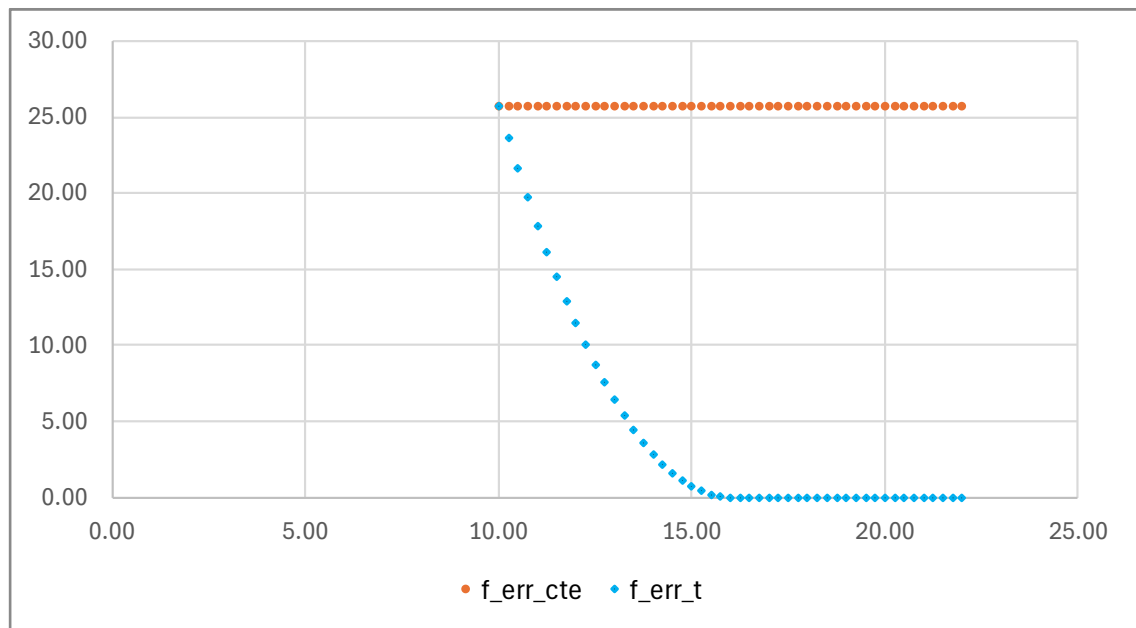


Figura 8-2.- Funciones de corrección de error inicial en el ejemplo de reajuste futuro

Si se detecta un caso en el que el modelo tiene un error sistemático, el reajuste por desplazamiento funciona bien. Si se logra un modelo sin sesgo, muy probablemente la segunda opción sea mejor. En este caso el valor *th_cfut* se fijará en función de los tiempos de respuesta del sistema hidrológico aguas arriba del punto en cuestión.

8.2 Modelación hidrológica

Se incluyen los fundamentos generales sobre modelación hidrológica, pues son compartidos por varios módulos de aplicación.

8.2.1 Funciones de pérdidas

La conversión de lluvia bruta a lluvia neta, es decir, el cálculo del volumen de precipitación que se transforma en escorrentía se realiza haciendo uso del método de número de curva (*NC*, ver “Computing Runoff Volumes” en el documento “HEC-HMS. Technical Reference” incluido en la documentación asociada a la instalación de Hec-HMS). La fórmula base es:

$$\sum P_n = \frac{(\sum P_b - P_0)^2}{(\sum P_b - P_0 + S)} \text{ si } P > P_0, 0 \text{ en otro caso}$$

- P_n : Lluvia neta
- P_b : Lluvia bruta
- S : Máxima retención posible
- P_0 : Umbral de escorrentía

Este parámetro está relacionado con el denominado máxima retención posible S :

$$S = \frac{25400}{NC} - 254$$

Es frecuente aceptar una relación $P_0/S = 0.2$, aunque es normal que esta relación varíe entre 0.1 y 0.3.

El número de curva refleja unas condiciones de humedad antecedente determinadas, pues el proceso de saturación asociada a la acumulación de precipitaciones lleva a un incremento en el valor de este parámetro. Es habitual considerar un valor de referencia denominado número de curva en condiciones normales, cuyo valor puede obtenerse en función de una caracterización del terreno. La aplicación GCuencas puede proporcionar este valor, a partir de la información de base, a cada subcuenca.

En hidrología de diseño, se emplean las denominadas condiciones *I* (seca) y *III* (húmeda). La condición *II* es la normal. Y se asumen las siguientes relaciones

$$NC_I = \frac{4.2 * NC}{(10 - 0.058 * NC)}$$

$$NC_{III} = \frac{23 * NC}{(10 + 0.13 * NC)}$$

NC se refiere a la condición II.

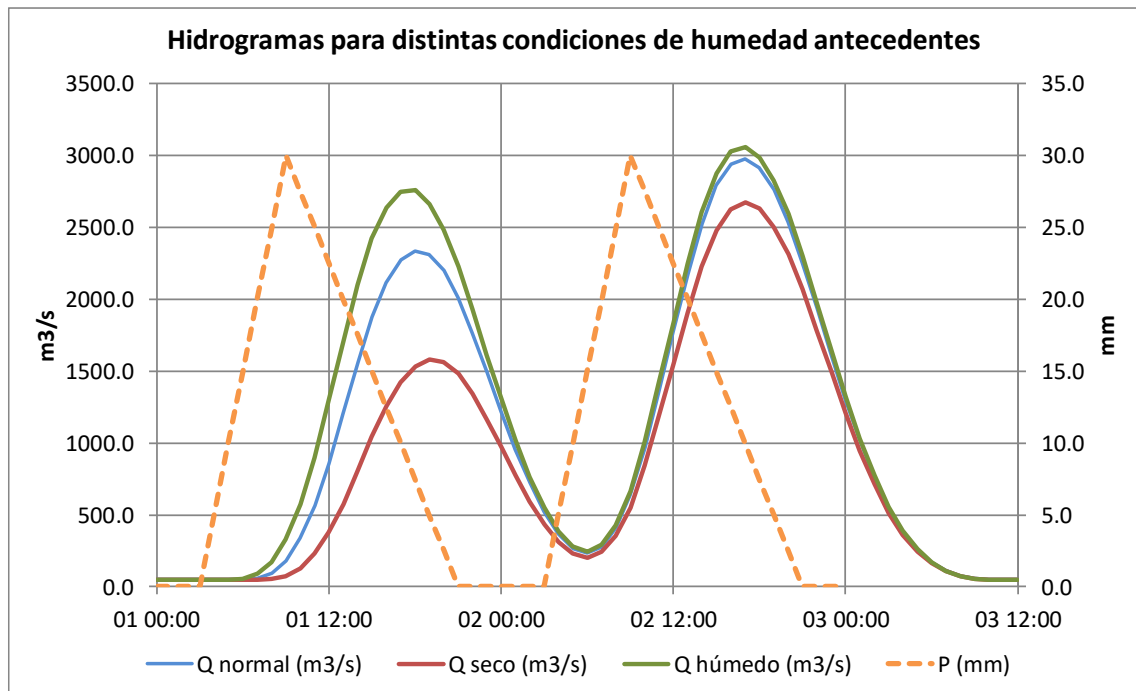


Figura 8-3.- Importancia del estado de humedad antecedente en una cuenca. Gráfica obtenida del archivo "Saturación y PE.xslm" que forma parte de la documentación de EDAPHI.

Pero para propósitos operacionales, las diferencias entre hidrogramas a que conducen estas fórmulas son demasiado grandes. Por ello se emplea el parámetro a como relación entre la máxima retención posible en situación normal y la que corresponde a un determinado estado de humedad antecedente

$$a = \frac{S}{S_a}$$

Así, se puede pasar de un número de curva a otro NC_a de forma continua:

$$NC_a = \frac{a * 100 * NC}{(100 + (a - 1) * NC)}$$

(Los valores sin subíndice se refieren a estado *II* - normal)

El caso concreto de los valores seco y húmedo, usados en hidrología de diseño, se obtienen con $a=0.42$ y $a=2.3$, respectivamente.

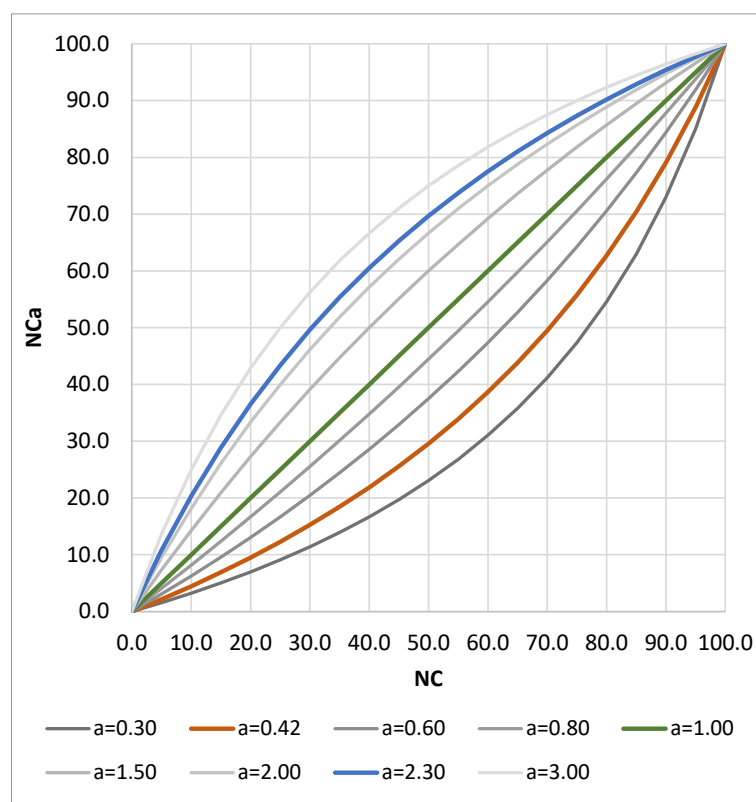


Figura 8-4.- Variación del número de curva en función del parámetro a

8.2.2 Cálculo del estado de humedad en función de la precipitación en días anteriores

En hidrología de diseño es habitual el uso de tablas como la siguiente, que representa el estado de humedad en función de la precipitación en los últimos 5 días:

	Lluvia antecedente total de 5 días (mm)	
Grupo	Estación húmeda	Estación seca
I	Menor que 13	Menor que 36
II	13 a 28	36 a 53
III	Más de 28	Más de 53

Tabla 2.- Relación del estado de los grupos de estado de humedad antecedente (I, II, y III), en hidrología de diseño, con la precipitación en los últimos 5 días

Pero, por un lado, por lo indicado en 13.3.6, es necesario distinguir entre estados intermedios de humedad, por lo que se emplea el parámetro a , y, por otro, algunos trabajos recomiendan valorar otros periodos de acumulación de precipitaciones.

Así, si se cambia la lluvia total por la media en los 5 días, resulta la tabla siguiente que puede independizarse de la longitud del periodo:

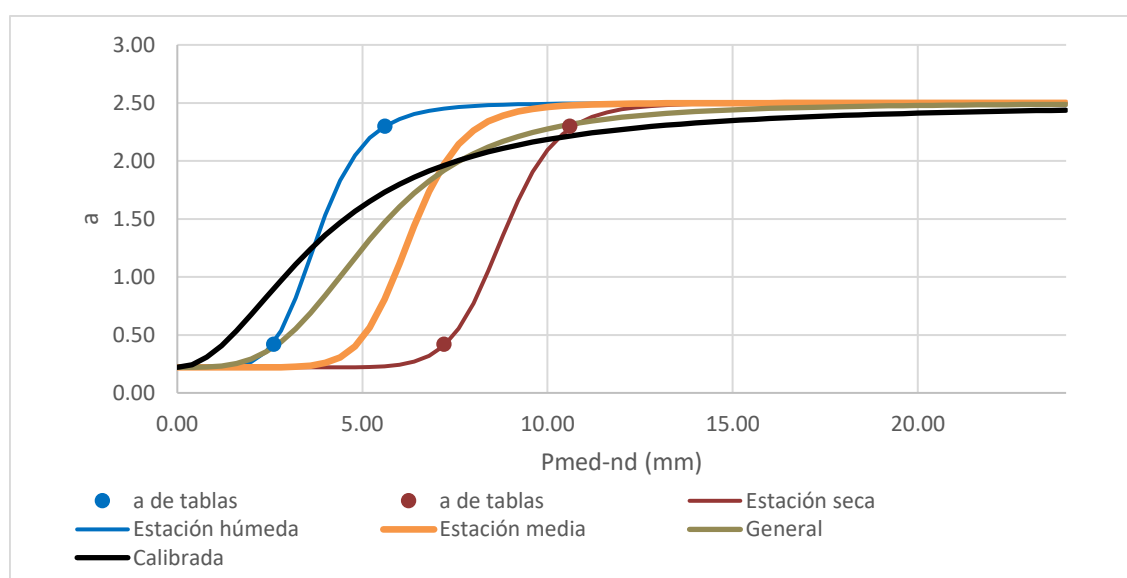
	Lluvia antecedente media en n días (mm)	
Grupo	Estación húmeda	Estación seca
I	Menor que 2.6	Menor que 36
II	2.6 a 5.6	7.2 a 10.6
II	Mas de 28	Mas de 10.6

Tabla 3.- Relación de la Tabla 2 expresada en valores medios diarios de precipitación

Y cabe expresar la relación del parámetro a con la precipitación según la siguiente fórmula:

$$a = a_{max} - \frac{a_{max} - a_{min}}{1 + \left(\frac{P_{med-nd}}{P_{a_med}} \right)^{pot}}$$

Lo que puede dar lugar a curvas como las siguientes:



Estación seca	Estación húmeda	Estación media	General	Calibrada
amax = 2.50	amax = 2.50	amax = 2.50	amax = 2.50	amax = 2.50
amin = 0.22	amin = 0.22	amin = 0.22	amin = 0.22	amin = 0.22
Pa_med (mm)= 8.80	Pa_med (mm)= 3.80	Pa_med (mm)= 6.30	Pa_med (mm)= 5.30	Pa_med (mm)= 4.00
pot = 12.00	pot = 6.00	pot = 9.00	pot = 3.50	pot = 2.00

Figura 8-5.- Ejemplos de curvas que relacionan "a" con la precipitación media en días anteriores

Puede observarse cómo están reflejados los puntos que se corresponden con las tablas anteriores, relativas a los estados I, II y III. Es decir, se puede optar por asumir las relaciones aceptadas en hidrología de diseño y extrapolar los resultados a otras situaciones de humedad antecedente (a través de a).

Adicionalmente, al entender que la relación $P0/S$ es mayor cuando el terreno está más seco, y asumiendo un rango de variación $[0.1, 0.3]$, se emplea la siguiente fórmula

$$rel_POS = relPOS_{min} - \frac{relPOS_{max} - relPOS_{min}}{a_{max} - a_{min}} (a - a_{min})$$

Cabe establecer los valores $relPOS_{min} = 0.1$ y $relPOS_{max} = 0.3$, aunque estos son configurables.

8.2.3 Función de transformación

La distribución en tiempo del volumen de escorrentía se realiza a través del hidrograma unitario, que representa la respuesta de la cuenca a una precipitación de valor la unidad (ver capítulo "Modeling Direct Runoff" en el documento "HEC-HMS. Technical Reference"). Generalmente, en EDAPHI, se elige el hidrograma unitario SCS estándar PRF 484 (ver apartado "SCS Unit Hydrograph Transform" del documento "Hec-HMS User's Manual"). Este hidrograma unitario se define a partir del desfase (Lag), y éste puede calcularse en función del tiempo de concentración.

Se han incluido otros tipos de hidrogramas unitarios: triangular de Témez, triangular SCS, ..., y varias fórmulas de cálculo de tiempos de propagación.

8.2.4 Flujo base

La modelación del flujo base se realiza con el método de recesión exponencial (ver capítulo "Modeling Baseflow" en el documento "HEC-HMS. Technical Reference").

8.2.5 Propagación en ríos y canales

Para el flujo en tramos de ríos y canales se opta por el método de Muskingum, con sus parámetros K , X , y NT (número de subtramos). Este modelo está explicado en el apartado "Muskingum model" del capítulo 8 del documento "HEC-HMS. Technical Reference".

También es posible definir un tramo en el que sólo hay traslación de hidrograma.

8.2.6 Módulo `s_cna_hu`. Simulación de subcuencas

Al escribir en una ventana `ed_cmd s_cna_hu`, se muestra lo siguiente:

```
Simulación de subcuencas
-----
Comandos y argumentos:
-test_p.- Demostración de funciones de pérdidas
-test_h.- Demostración de hidrogramas unitarios
```

```

-test_c.- Demostración de convolución
-test_t.- Demostración de transformación lluvia escorrentía
-test_k.- Pesos para el cálculo del índice de lluvia antecedente
      k=.- Valor k (0, 1], 0.5, por ejemplo
      d=.- número de días (5)
-test_a.- ejemplos índice de lluvia antecedente
-t_con.- Tiempos de concentración según distintas formulaciones
      a=.- Área de la cuenca en km2
      l=.- Longitud del tramo principal de la cuenca en km
      p=.- Pendiente en tantos por uno
-t_temez.- HU triangular según Témez
      a=.- Área de la cuenca en km2
      l=.- Longitud del tramo principal de la cuenca en km
      p=.- Pendiente en tantos por uno
      inct=.- Opcional. Duración de lluvia en horas
-t_scs.- HU triangular SCS
      a=.- Área de la cuenca en km2
      l=.- Longitud del tramo principal de la cuenca en km
      p=.- Pendiente en tantos por uno
      inct=.- Opcional. Duración de lluvia en horas
-scs_prf.- Tipo gamma SCS en función de prf (peak ratio factor)
      a=.- Área de la cuenca en km2
      tp=.- tiempo de punta
      prf=.- factor de punta
      inct=.- Opcional. Duración de lluvia en horas

Ejemplos:
      a=315 p=0.005 l=20 -t_scs
      a=315 tp=3.4 prf=485 -scs_prf
      tp=3.4 prf=485 -scs_prf inct=1.0

```

Algunos de los comandos pueden ser útiles para la caracterización de un caso de aplicación. Otros pueden ser útiles a efectos ilustrativos y en tareas de formación y entrenamiento de usuarios del sistema.

El gráfico siguiente muestra uno de los resultados del comando `-test_h`:

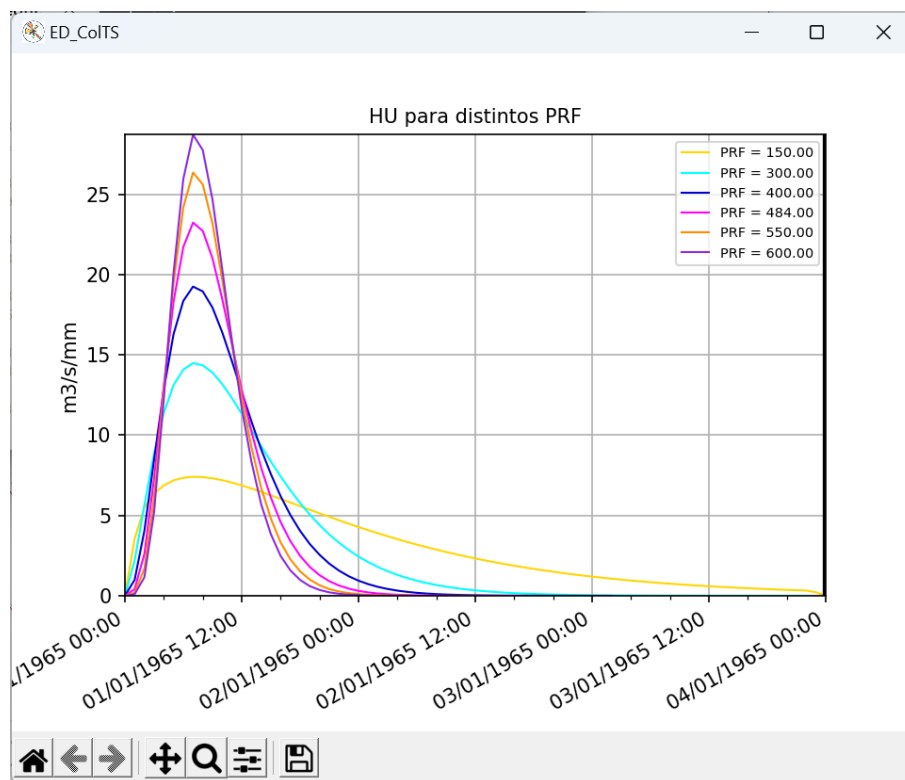


Figura 8-6.- Uno de los resultados del comando `subc -test_h`

Al igual que el siguiente, resultado del comando `-test_p`:

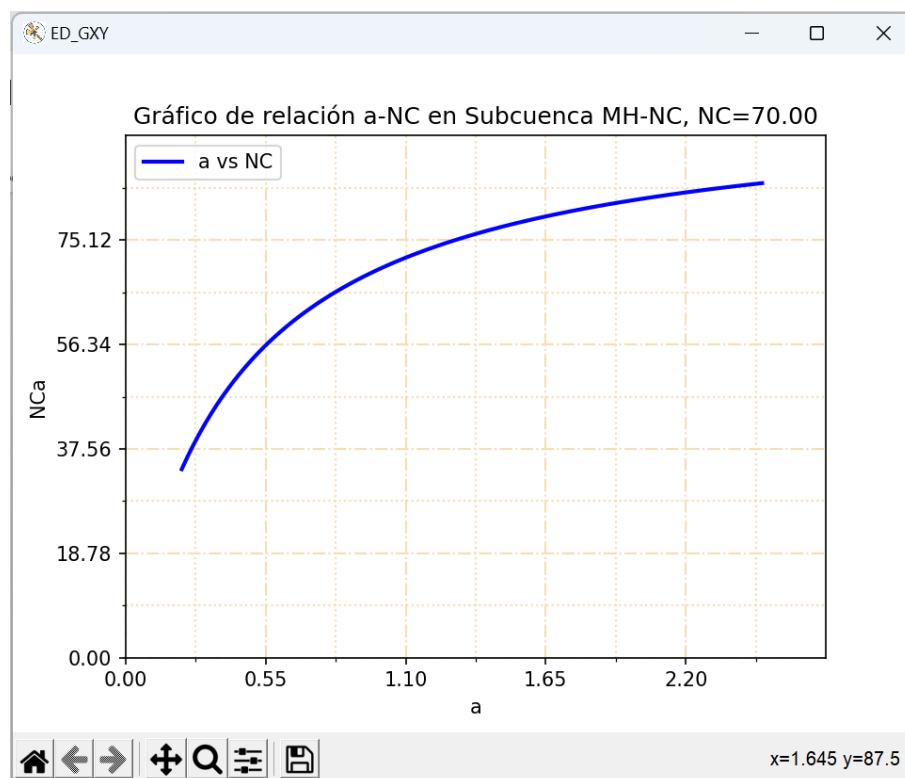


Figura 8-7.- Uno de los resultados del comando `subc -test_p`

La opción `-test_k` presenta lo que se describe en 12.2.2:

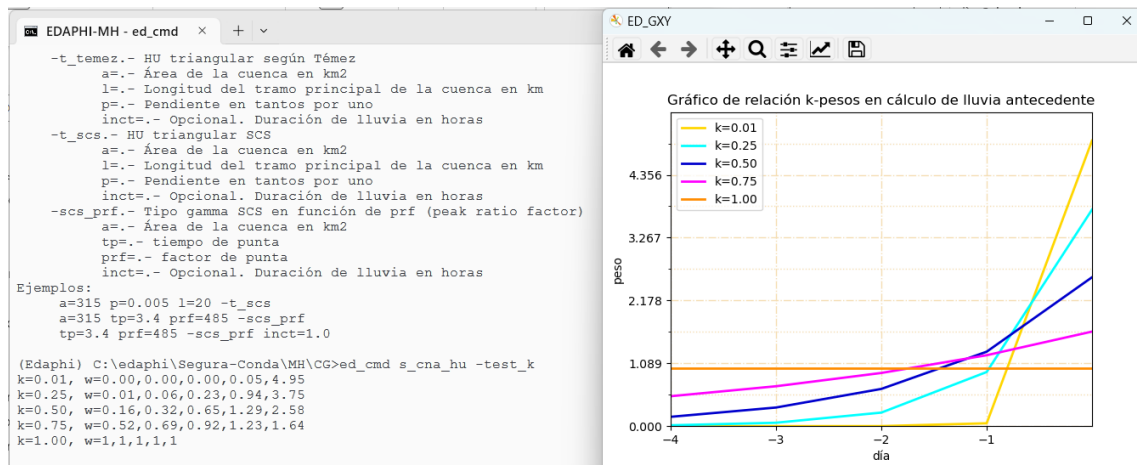


Figura 8-8.- Demostración del concepto de índice de lluvia antecedente desarrollado en el capítulo de fundamentos metodológicos de EDAPHI-PaP0S

8.2.7 Módulo reach. Simulación de tramos.

El comando `ed_cmd reach` cuenta con las siguientes opciones:

```
Simulación de tramos.Método Muskingum
-----
Comandos y argumentos:
-test_h.- Demostración de tramo por desfase
lag_h=: Desfase en horas
inct_h=: Incremento temporal de la serie de entrada (y de
cálculo)
-test_s.- Demostración de subtramo Muskingum
-test_t.- Demostración de tramo Muskingum
-coef.- Coeficientes de tramos y subtramos Muskingum
k=: Coeficiente k
x=: Coeficiente x
inct_h=: Incremento temporal de la serie de entrada (y de
cálculo)
```

Cuenta así con opciones para la ayuda en la caracterización y para fines formativos.

A modo de ejemplo, el siguiente gráfico resulta del uso de la orden `-test_t`:

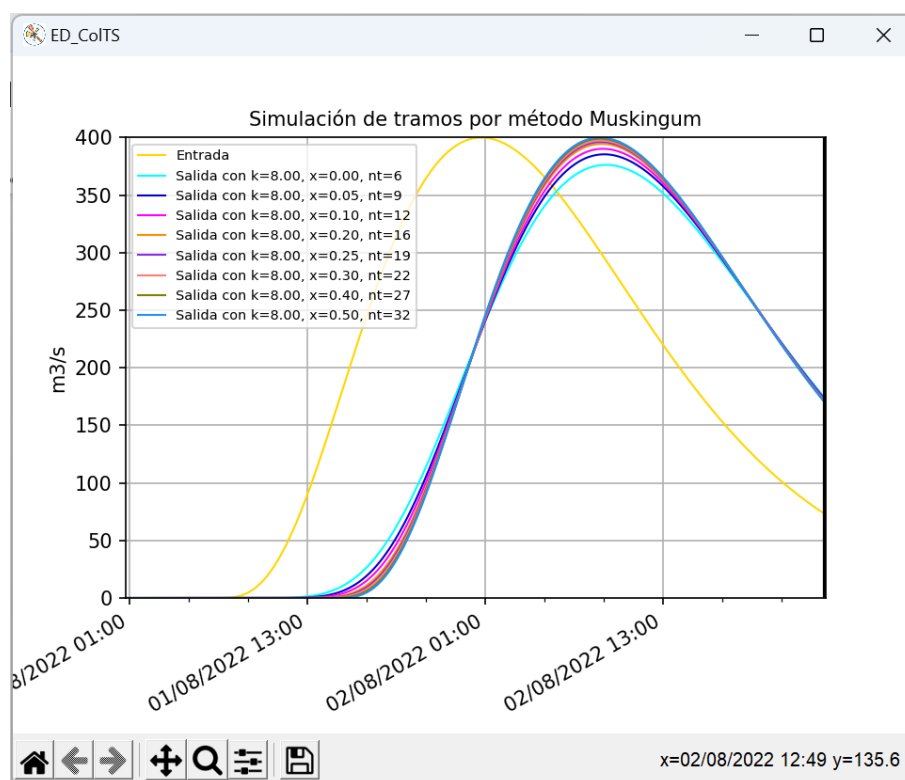


Figura 8-9.- Resultado gráfico del empleo de la orden reach -test_t

8.3 Representación del sistema hidrológico

El sistema hidrológico se representa en base a nodos de tipo subcuencas (nod_S), embalse (nod_V) o genérico (nod_Q).

Opcionalmente, también puede incluirse el tipo de nodo pluviómetro (nod_P), que tendrán a la precipitación como variable asociada.

Los nodos nod_Q pueden tener dato de caudal, opcionalmente, lo que servirá para los contrastes y calibraciones de los modelos de simulación.

Cada tipo de nodo tendrá su capa SIG en formato SHP de tipo puntos, con nombre fijo nod_Q.shp, ... Los nodos tipo nod_S tendrán, además, una capa de polígonos con nombre nod_S_Areas.shp.

Cada capa debe tener, al menos, dos campos de tipo texto:

- id.- Identificador que permite reconocer de manera única (clave) un nodo
- desc.- Descripción del nodo

Los nombres de las capas serán Nod_P, Nod_Q, Nod_V y Nod_S

id	desc
02A03A1	Aforo río Segura - Menjú
02O03A1	Marco de control en Rbla del Tinajón

Tabla 4.- Ejemplo de tabla alfanumérica asociada a un SHP que define los nodos de tipo Q

La capa de áreas de subcuencas debe tener el campo de área en km².

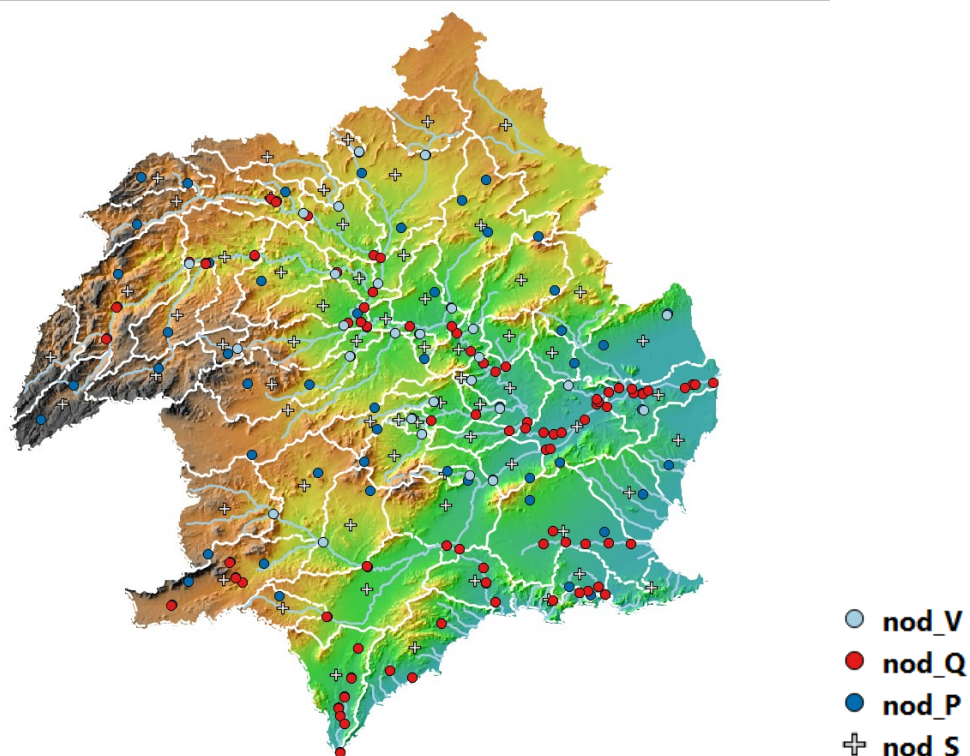


Figura 8-10.- Mapa con la representación del sistema hidrológico, incluyendo nodos tipo nod_P

Se han referido las variables principales de cada tipo de nodo, aunque cada uno de ellos puede tener otras, según el tipo de modelación.

Se trata pues de una representación sencilla. Después, el modelo que se emplee en cada caso contará con el tipo de representación que le corresponda. Los nodos EDAPHI tienen como principal función el servir de conexión entre datos, modelos y resultados. Se independiza con ellos las representaciones internas de los modelos de los datos y los resultados. Es decir, el modo de representación se caracteriza por:

- Los nodos representan puntos o entidades de interés
- Cada tipo de modelo tendrá su representación interna
- Independencia de módulos, modelos, datos y resultados:
 - Representan datos y entradas a modelos
 - Pueden usarse modelos distintos o reconfigurarse sin que ello afecte al resto del sistema, ya sean de tipo agregado, semidistribuido o distribuido.

- Se asocian a la generación de resultados de interés, obviando detalles internos de cada modelo.

El módulo GenMH, complemento de GCuencas, puede generar las capas de los anteriores a partir de otra capa de puntos con otra clasificación de puntos (16).

8.3.1 Tramos de río y topología del sistema hidrológico

Los nodos tipo S, Q y V se conectan a través de arcos o conexiones que distinguen aguas arriba y aguas abajo. Esto permite definir una topología de modo tal que se conozca todo lo que está aguas arriba o aguas abajo de un elemento concreto.

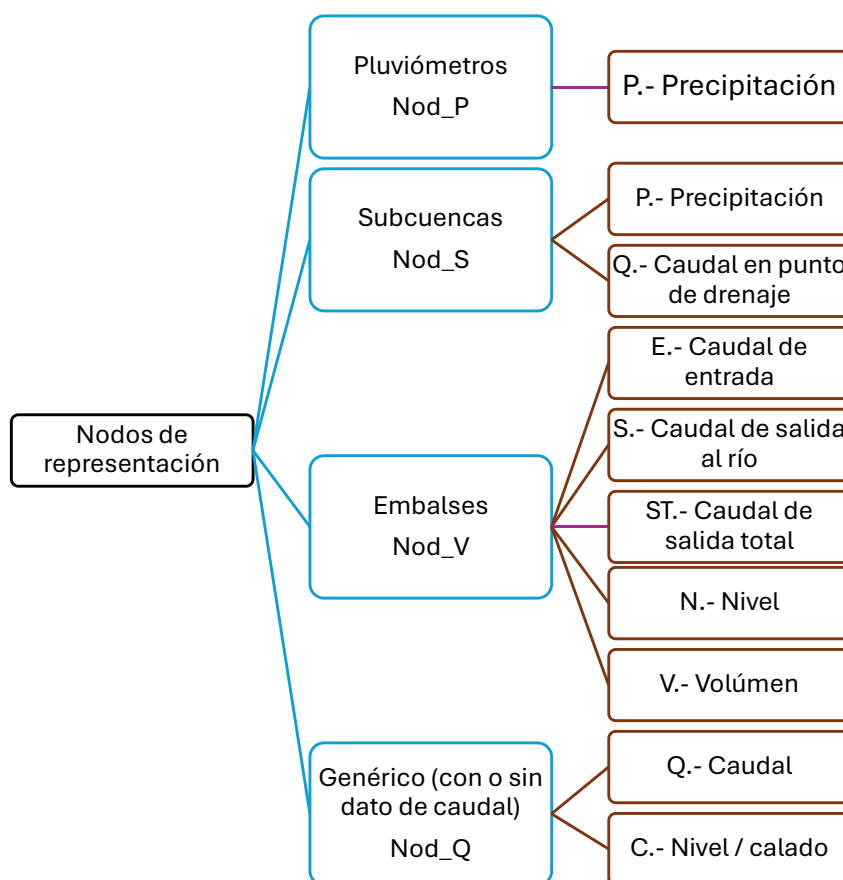


Figura 8-11.- Tipos de nodos y sus variables

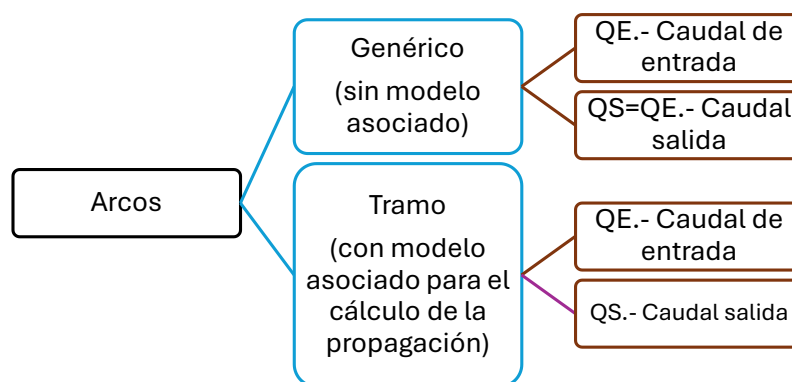


Figura 8-12.- Entidades para las conexiones de nodos

Esta topología se completa con la relación de los pluviómetros con las subcuencas. En esta ocasión, la relación viene dada por la condición de inclusión geográfica.

Varios módulos y utilidades usan esta topología. El módulo fundamental para ello es *topo.py*, dentro del paquete Calc. Y, relacionado con estas relaciones topológicas, tiene especial interés el módulo *ana_topo_mh.py* (ver 13.15)

8.4 Escenarios

Un escenario EDAPHI es un conjunto de series temporales y parámetros asociados a unas entidades de modelación. Se diferencian los siguientes tipos:

- Escenario de simulación. - Tendrá asociados unos parámetros de simulación, unas variables de entrada al sistema hidrológico y unas salidas resultado de los cálculos basados en los anteriores. En este escenario no se distingue tiempo pasado o futuro respecto a un instante. Se emplea en fases de estudio o análisis de comportamiento de sistemas hidrológicos
- Escenario pasado. - Tendrá asociados unos parámetros de simulación, unas variables de entrada al sistema hidrológico y unas salidas resultado de los cálculos basados en los anteriores. Se trata de un tipo de escenario para la labor previa al pronóstico, que permite comparar cálculos con medidas u observaciones, en caso de que las haya.
- Escenario futuro. - También estará definido por unas series temporales de entrada y unos parámetros de modelación, y por los resultados correspondientes, pero referidos a tiempos futuros o englobando intervalos de tiempo futuro.

Todos los escenarios pueden agrupar otro tipo de atributos, ya sea como dato o como resultado.

8.5 Horizonte de previsión

Lo siguiente es un fragmento del libro "BASES SPH 2015.- Bases conceptuales y organizativas para los sistemas de predicción hidrológica" (Angel Luis Aldana Valverde, 2015), que puede ser descargado de <https://www.angel-l-aldana.com/publicaciones> o adquirir una copia en papel en <https://www.bubok.es/libros/240907/BASES-SPH-2015-Bases-conceptuales-y-organizativas-para-los-sistemas-de-prediccion-hidrologica>

En primer lugar, hay que recordar el hecho de que la previsión es posible gracias al desfase existente entre causa y efecto que se observa en los fenómenos hidrometeorológicos. Esto es especialmente claro en los procesos de transformación lluvia-escorrentía, en los que la respuesta de la cuenca receptora de lluvia se manifiesta en un caudal cuyo valor máximo (punta) se presenta con un desfase temporal (tiempo de punta). Esto se explica con el concepto de hidrograma unitario (Figura 8-13), que define la respuesta de una cuenca a una precipitación uniforme de volumen con valor unidad.

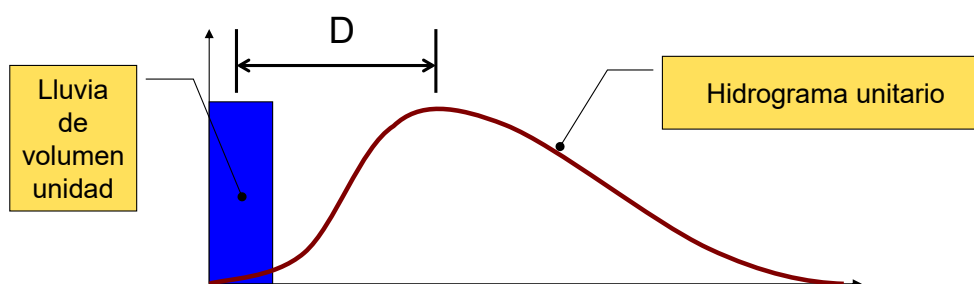


Figura 8-13.- Desfase (D) entre la lluvia y el caudal de escorrentía según el concepto de hidrograma unitario

También la propagación de hidrogramas a lo largo de un río o canal se produce con un desfase que permite hacer previsión en función de los valores pasados (recientes) y actuales. Un hidrograma observado en un punto del río se propagará hacia aguas abajo con un retraso o desfase D (Figura 8-14) y una laminación (reducción de sus valores punta). El modelo de propagación conocido como Muskingum recoge este concepto en uno de sus principales parámetros (que suele identificarse con K).

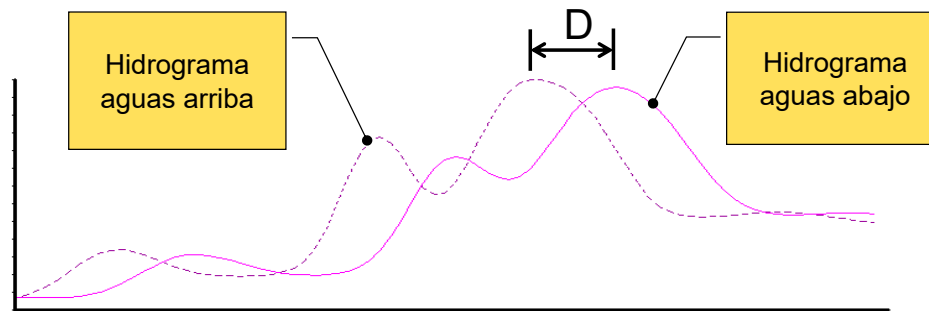


Figura 8-14.- Desfase (D) entre un hidrograma y su propagado aguas abajo

Gracias a esta característica de este tipo de fenómeno, que fácilmente puede valorarse en horas, se cuenta con capacidad de previsión basada en observaciones, medidas de niveles y cálculo de precipitaciones y caudales.

En la meteorología se distinguen distintos tipos de previsiones atendiendo al horizonte temporal de la misma, es decir, el tiempo máximo que alcanza la previsión, medido desde el momento en que ésta se realiza:

- Inmediata (hasta 6 horas)
- A corto plazo (hasta 4 días)
- A medio plazo (hasta 10 días)

Estos horizontes temporales son independientes del área geográfica sobre la que se realiza la previsión, pues la constancia en desfases de causas y efectos es, de algún modo, global. Sin embargo, en hidrología, al estar asociada la previsión a sistemas con tiempos de respuesta muy variables, un enfoque análogo no resulta práctico.

Un conjunto de hipótesis razonables de causa (la precipitación, por ejemplo) tendrá como respuesta unas consecuencias (caudales) en un determinado punto de la red hidrográfica situada aguas abajo del lugar o área donde se detecta la causa. Entre estímulos y respuestas habrá unos desfases que dan lugar a una horquilla en la previsión. Esta horquilla (Figura 8-15) puede definirse con dos hipótesis de futuro extremas dentro de un rango razonable (siguiendo con el ejemplo, podrían ser una lluvia futura nula y otra alta con una determinada probabilidad de ocurrencia). El horizonte de previsión estaría dado por un tiempo tal que la amplitud de la horquilla de previsión (divergencia admisible), la diferencia entre hipótesis extremas en un instante dado fuese tal que, tratada como incertidumbre en la previsión, se considerase aceptable desde un punto de vista práctico.

Así, el horizonte de previsión vendría determinado por los factores:

- Tiempo de respuesta del sistema hidrológico
- Divergencia admisible en la previsión asociada a la incertidumbre en las entradas al sistema

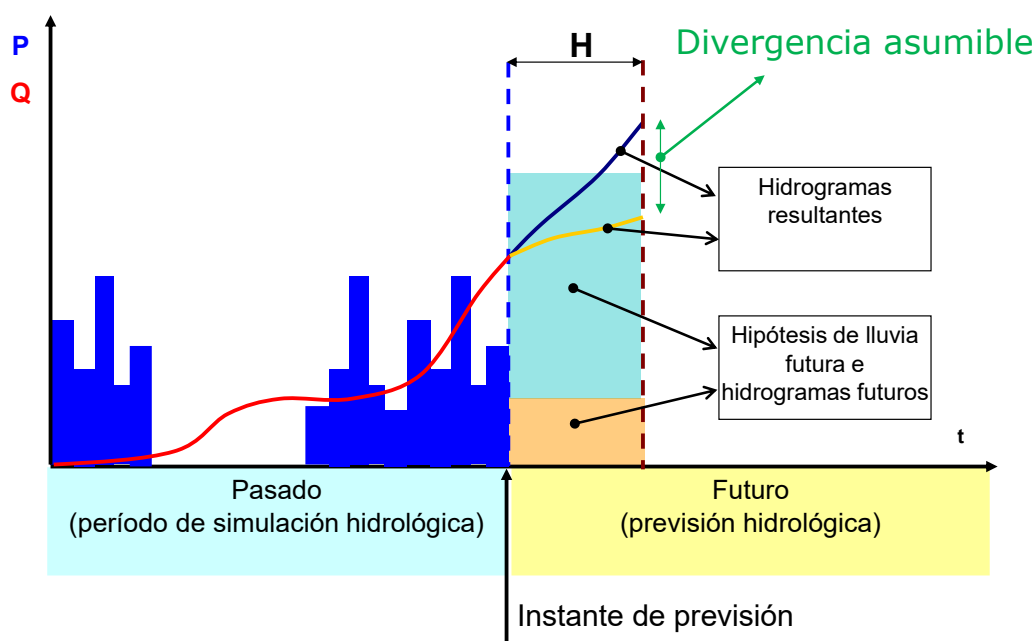


Figura 8-15.- Horizonte de previsión en función de la divergencia asumible y la horquilla de previsión

A lo anterior habría que sumar una apertura adicional de la horquilla de previsión debido a las incertidumbres de medida y cálculo.

Así pues, horizonte de previsión será aquel periodo de tiempo que, a partir de un instante determinado con datos suficientes, proporcione una previsión con incertidumbre menor a la divergencia asumible por los usuarios de la información.

No obstante, por razones prácticas, se asume un horizonte común en los cálculos para todas las cuencas de un área. Pero el concepto anterior y su uso en las salidas de resultados se aplican en la práctica, como se puede comprobar en cuestiones más concretas que se tratan en los capítulos siguientes.

8.6 Ciclos de cálculo

El uso operacional en tiempo real de aplicaciones para el monitoreo y pronóstico hidrológico debe ser entendido como un ciclo que se repite sucesivamente a lo largo del tiempo. Cada ciclo se iniciará cuando se disponga de nuevos datos, lo que suele darse con una frecuencia periódica. Hay sistemas automáticos de información hidrológica que proporcionan datos cada 15, 30 o 60 minutos. Esto no obliga a realizar los pronósticos en cada refresco, pues dependerá de las necesidades y de los tiempos de cálculo. Si se

obtienen nuevos datos cada hora, será preferible contar con nuevos pronósticos que, al contar con información más reciente serán mejores (al menos para los instantes más próximos), pero por tiempos de cálculo, de supervisión u otras razones de tipo operacional, puede que no sea posible o, quizás, no sea siquiera recomendable. Cada caso requerirá fijar unos tiempos de actualización de pronósticos.

El usuario de la información que generen los sistemas de pronóstico debe ser consciente de estos ciclos, así como de las incertidumbres en los resultados. Un valor pronosticado (como un nivel de agua bajo un puente, por ejemplo) para un instante determinado (12 horas en el futuro) puede ser corregido y mejorado en un ciclo siguiente (pasados 6 horas, por ejemplo), pues las incertidumbres serán menores (la horquilla de previsión a 6 horas, siguiendo con el ejemplo, tendrá menor amplitud), en general. Ahora bien, habrán de tenerse en cuenta otras fuentes de incertidumbre que pueden afectar al acierto en las previsiones, como pueden ser modificaciones del cauce causadas por la misma crecida.

8.7 Discretizaciones temporales en datos e intervalos de cálculo

EDAPHI cuenta con múltiples utilidades para que cualquier módulo pueda operar con series temporales dato con discretizaciones diferentes. Así, por ejemplo, puede operar con datos de mallas de previsiones de lluvia horaria y datos de medida de caudales a intervalos de cinco minutos.

Y el origen de los datos no determina el intervalo de cálculo ni el de resultados, pues el de los resultados también puede cambiarse.

Utiliza diversos algoritmos para los cambios de discretización de las series temporales según el tipo de variables (lluvia, caudal, nivel, ...).

8.8 Calibración de parámetros de simulación en el pronóstico hidrológico en tiempo real

8.8.1 Planteamiento del problema

El objetivo de la calibración de parámetros de modelación en el pronóstico hidrológico en tiempo real será el ajuste de los modelos de simulación y pronóstico para obtener resultados que representen bien la realidad. Preferiblemente, se contará con medidas que permitan valorar en tiempo real la bondad de los ajustes, pero no siempre se cuenta con esta información. Si no se cuenta con medidas en tiempo real, habrá que ajustar los modelos basados en otras medidas, pero si no hay datos no hay criterio riguroso de valoración del ajuste.

Los modelos de simulación que se emplean cuentan con limitaciones de representatividad inherentes a todo modelo (por definición), y con parámetros que

requieren modificaciones para que los resultados del modelo se ajusten a la realidad medida (generalmente caudales).

Y en la solución de este problema hay que tener en cuenta una realidad rara vez explícita en lo encontramos escrito: la gran incertidumbre asociada a las variables hidrológicas, ya sean lluvias o caudales. Cabe asegurar que hay que asumir una incertidumbre mínima del 10%. (ver también el apartado 8.8.1.3)

El problema operacional difiere en mucho de otros en el ámbito de la hidrología aplicada. Las condiciones de uso y las exigencias en cuanto a tiempos para proporcionar resultados condicionan fuertemente la solución a adoptar. También hay que considerar los medios materiales y humanos disponibles.

8.8.1.1 Proceso cíclico

El pronóstico hidrológico en tiempo real se tiene que concebir como un proceso cíclico, tal y como se indicó anteriormente, en el que cada refresco de datos (medidas o resultados de otros modelos) inicia un nuevo ciclo que acaba en la difusión del pronóstico. Así, caben dos opciones:

- Reajuste en cada ciclo.- Puede exigir demasiado esfuerzo de máquina y humano, por lo que no puede recomendarse de manera general, aunque se disponga de herramientas de autocalibración (basadas en algoritmos de optimización paramétrica), pues es deseable que los reajustes sean supervisados.
- Reajuste en cada varios ciclos o a horas prefijadas.- El proceso de calibración no será necesario incorporarlo en cada vuelta, sino que se puede hacer cada cierto número de ciclos. La frecuencia puede ser fijada con criterios operacionales, según los turnos de trabajo del equipo de hidrólogos, por ejemplo. Puede ser práctico establecer horas fijas para la calibración automática.

Obviamente, los reajustes serán posibles cuando haya datos que faciliten el contraste.

8.8.1.2 Ventana móvil de tiempo pasado reciente. Periodo de análisis.

Los modelos de pronóstico hidrológico funcionan generalmente en dos fases: 1) simulación de un periodo de tiempo pasado reciente y 2) pronóstico en un periodo que se denomina horizonte de previsión. El periodo de la primera fase suele ser función del tiempo de respuesta del sistema hidrológico, entre otros factores, aunque es difícil fijar a priori un valor sin análisis del caso concreto. Generalmente será superior a un día y expresable en esta unidad, aunque en hidrología los tiempos son muy variables, pues el

tiempo de respuesta de una cuenca puede expresarse en horas, días, semana o, incluso, en meses. El segundo depende especialmente del tiempo de respuesta y de la incertidumbre admisible (que puede ser valorada por la divergencia entre escenarios futuros verosímiles de entrada), pero asumir valores del orden de la mitad del tiempo de respuesta suele ser apropiado de forma general, aunque esto es demasiado restrictivo en muchos casos. En un caso de aplicación con muchas cuencas o subcuencas, con sistemas hidrológicos con distintos tiempos de respuesta, habrá que buscar una solución de compromiso, atendiendo también a la satisfacción de unas necesidades.

Este periodo se irá desplazando en el tiempo (ventana móvil) en cada ciclo con nuevos datos.

Cuando se sigue este procedimiento, el modelo tendrá siempre una cierta memoria de lo ocurrido anteriormente, según el periodo de análisis de pasado reciente y según los tipos de información con el que cuente. Aunque los cálculos se realicen según modelos de eventos, cabe la posibilidad de dar continuidad en el tiempo a series temporales de variables e incluso de parámetros, de su evolución, con lo que, en la práctica, algunos modelos de eventos funcionarán como si fueran modelos de simulación continua.

8.8.1.3 Importancia de la calidad de las medidas en puntos de contraste de resultados

La calidad de las medidas en puntos de contraste de resultados de los pronósticos tendrá una altísima responsabilidad. Cabe afirmar que, en la práctica, los errores de pronóstico hidrológico, sus incertidumbres, dependen fundamentalmente de los errores en la medida y de las incertidumbres de los pronósticos de entrada. A esto hay que añadir las limitaciones de representatividad de los modelos de simulación.

Lo relacionado con las medidas es especialmente importante en situaciones extremas:

- Cuando los caudales circulantes son muy bajos, el flujo del agua se ve afectado por irregularidades del cauce y otros factores que llevan a gran incertidumbre en el cálculo.
- En el caso de niveles altos del agua (situaciones de crecida) se suelen sufrir las consecuencias de errores importantes en los cálculos de caudales. Bien porque no fue posible ajustar curvas de gasto basadas en aforos, bien porque no se cuenta con topografía y estudios hidráulicos del área en el que se encuentra la estación

de medida, o porque las condiciones asociadas a la crecida (transporte de sólidos, desbordamientos o modificaciones del cauce) imponen una incertidumbre alta.

En el caso de las crecidas, un error en la medida o cálculo de caudal en el punto de contraste lleva a errores importantes en el pronóstico basado en observaciones. En el intento de interpretación de errores de simulación o pronóstico, especialmente en la fase de hidrogramas crecientes, un error de medida en caudales llevará a que se reajusten los desfases en las propagaciones y los volúmenes de escorrentía de manera errónea. Sobre los primeros suele haber menores incertidumbres, pues, entre otras razones, pueden contar con las bases hidráulicas para la acotación de los parámetros correspondientes. Pero, considerando fijados los anteriores, se observará un error que puede ser atribuido a unos parámetros de cálculo de volúmenes de escorrentía distintos de los llevarían al modelo a una buena representación de la realidad, por una percepción errónea causada por datos insuficientes o de mala calidad.

Hay algo obvio en los razonamientos anteriores pero que conviene recordar: los datos de precipitación tendrán mucha importancia, pues, generalmente, los cálculos necesarios serán de transformación de lluvia en escorrentía. Es frecuente que los errores en los datos de precipitación sean la causa principal de los mayores errores en caudales simulados y pronosticados.

8.8.2 Precalibración

Unos estudios basados en datos históricos y en estudios hidrológicos de diversas fuentes (incluso para otros objetivos) permitirán establecer un rango razonable de variación de los parámetros de simulación y pronóstico. Las modificaciones que se realicen posteriormente en tiempo real deben mantenerse dentro de estos rangos, salvo que se evidencien necesidades claras de asignar valores fuera de ellos. El objetivo de los estudios será lograr un rango de variación de parámetros posibles o razonables de amplitud lo más reducida que sea posible.

Este será también el caso obligado en el que no se cuente con medidas en tiempo real.

Cabe la posibilidad de operar en tiempo real con parámetros fijos, pero no parece que se haya inventado el modelo que no requiera reajustes (al menos, este autor no lo ha visto en casos reales de aplicación). No obstante, cabe la solución de no realizar los reajustes, pero en este caso será preferible operar con resultados de escenarios (conjunto de parámetros) que representen diferentes condiciones en que se encuentre

el sistema hidrológico. Quedará pendiente definir la información que se difunde para ayuda en toma de decisiones, pues la incertidumbre, cuantificable como discrepancias entre escenarios razonables, será alta.

8.8.3 Consideración y manejo de incertidumbres

Los errores de medida, los de simulación, la representatividad del modelo o las incertidumbres asociadas a las entradas al sistema llevan a una incertidumbre inevitable en el pronóstico. El único objetivo posible es tratar de reducir estas incertidumbres, pero no hay posibilidad de defender rigurosamente un valor determinista. Una vez asumido esta realidad inevitable, caben dos opciones:

- Difundir unos valores específicos de la variable (nivel o caudal) en función del tiempo, pero con indicación de la incertidumbre asociada.
- Operar con múltiples escenarios de simulación y pronóstico, y presentar resultados con conjuntos de hidrogramas o limnigramas, que pueden contar con sus respectivos indicadores de fiabilidad o probabilidad de ocurrencia.

8.8.4 Valoración del error

La valoración del error de pronóstico cuenta con dificultades operacionales muy relevantes en la aplicación práctica. Esto está asociado a aspectos prácticos relacionados con la incertidumbre en la medida, por buena que sea. Hay que tener en cuenta que un error del 5% en hidrometría, en ríos, es algo casi ideal (un objetivo difícil y caro), y en la práctica hay que asumir errores del 10% como normales.

La siguiente cuestión es la selección de la variable que se usa en contraste con la medida:

- Error en los pronósticos anteriores. - Se calcula el error por comparación de los resultados de ciclos anteriores con las medidas. Este planteamiento tiene el inconveniente grave de que el pronóstico depende altamente de hipótesis de entradas futuras, tales como lluvias en las subcuencas del sistema hidrológico que se trate o caudales de entrada al mismo.
- Error de simulación. - Se contrasta la simulación del modelo con las medidas. Se recomienda basar la valoración de los ajustes en este enfoque, pues reduce la extensión y complejidad del problema. Aunque seguramente no sea posible en soluciones de pronóstico orientado a datos (no físicamente basados).

Finalmente, hay que seleccionar una fórmula de error. Es común emplear las que se usan en otras aplicaciones de la hidrología, pero hay expresiones que pueden resultar especialmente útiles en hidrología operacional, como las que ponderan los errores en los valores más altos, por ejemplo.

8.8.5 Calibración en tiempo real

El objetivo será la selección de una combinación óptima de parámetros que resulte en un pronóstico bien ajustado a la realidad medida en tiempo real.

8.8.5.1 Métodos de calibración

El problema del ajuste de parámetros se plantea como un problema matemático de optimización paramétrica, que busca solución a la minimización de una función error dependiente de los parámetros de simulación y pronóstico. La computación evolutiva, dentro de lo que se encuentran los algoritmos genéticos, ofrece métodos de cálculo eficientes para casos de muchas variables y son fácilmente programables en el ordenador.

Hay otro modo de realizar una calibración más simple: calcular un conjunto de escenarios predefinidos de parámetros correspondientes a diferentes situaciones hidrológicas (caudales altos o bajos, estado de humedad antecedente alta o baja, etc.) y seleccionar el que proporcione mejor ajuste. Este último método tiene la ventaja de que la colección de parámetros será congruente, con sentido físico, lo que no siempre es el caso cuando se recurre a los algoritmos numéricos.

Cuando la calibración se realiza de manera automática se denomina autocalibración. Aunque se cuente con esta capacidad, las calibraciones deben ser supervisadas.

EDAPHI cuenta con los métodos de calibración que aquí se exponen. Incluye algoritmos de computación evolutiva para problemas de optimización paramétrica. La selección final puede ser por comparación de los diferentes métodos.

Calibración dura. Sin memoria de ciclos anteriores

Cabe la posibilidad de afrontar una calibración dura, muy exigente en cálculos, consistente en buscar soluciones con rangos amplios de variación de parámetros sin tener en cuenta las conclusiones de las calibraciones en ciclos anteriores. La memoria del modelo se limitará al periodo de tiempo pasado que se usa para los cálculos en cada ciclo.

Este enfoque es aplicable cuando no se ha podido establecer una precalibración basada en análisis que permita acotar de manera importante los rangos de variación de los parámetros.

Este método también se puede aplicar cuando se han tenido problemas con el sistema de monitoreo y pronóstico, no ha sido posible hacer un seguimiento continuo de los procesos hidrológicos y hay fundadas sospechas de que los parámetros apropiados al momento difieren en mucho de los definidos antes del fallo.

Obviamente depende mucho, incluso en exceso, de la calidad de las medidas.

Calibración blanda. Modelos con inercia

El sistema será más robusto y consistente cuando los modelos tienen “inercia” al considerar los ajustes de parámetros de ciclos anteriores. Cabe decir que el modelo tiene memoria de lo ocurrido. Ello evitará cambios drásticos de parámetros que lleve a incongruencias o inconsistencias. No obstante, el proceso debe ser, como todos los de calibración, supervisado y corregido, si es necesario.

Al periodo o proceso en el que se van realizando modificaciones en los parámetros hasta lograr un buen ajuste del modelo se le denomina en ocasiones “calentamiento”.

El resultado de aplicación de modelos de eventos siguiendo este enfoque cabe ser considerado como una modelación continua en el tiempo.

Los algoritmos de EDAPHI incorporan también este enfoque limitando los rangos de variación de parámetros en función de los parámetros seleccionados en ciclos anteriores. La variación de los rangos en el tiempo será función lineal dependiente de los rangos normales (los que se aplicarían en caso de la autocalibración dura) y los valores de los parámetros de la calibración anterior, y de un parámetro temporal expresado en horas que condiciona la memoria de los valores.

Calibración basada en relaciones de parámetros o variables

Un parámetro que afecta a una variable puede relacionarse con otra que esté directa o indirectamente relacionada. Dicha relación puede servir para ajustar dicho parámetro. Tal sería el caso de un parámetro de estado de humedad antecedente, o afectado por ella, que puede relacionarse por la precipitación acumulada en un periodo reciente anterior (5 días, por ejemplo). Dichas relaciones pueden reflejarse en tablas o fórmulas y pueden ser usadas para obtener el valor del parámetro en función de la variable.

Este tipo de enfoque de calibración, especialmente los que consideran periodos largos de precipitaciones para las relaciones, son análogas a las blandas, pues cuentan con inercia o memoria larga de lo ocurrido.

En el apartado de relaciones entre modelos se ofrece otro método de calibración basado en relación de variables, pero de diferentes modelos.

EDAPHI ofrece solución para este tipo de enfoque, pudiendo relacionar variables a través de fórmulas.

8.8.6 Enlace entre modelos para calibraciones

8.8.6.1 Modelos en cascada

La primera necesidad de enlazar modelos de pronóstico hidrológico está en el empleo de los resultados de modelos numéricos de predicción del tiempo (modelos meteorológicos), especialmente para precipitaciones. Esto permite extender el horizonte de previsión en base a una hipótesis objetiva.

También es necesario en otros casos, cuando se opera con subsistemas de manera independiente, pero unos, los situados aguas abajo, dependen de los drenajes de los de aguas arriba. Este es el caso cuando uno de los subsistemas se simula con un tipo de modelo y otros con un modelo distinto. El caso más común es cuando un modelo hidrológico sirve para generar caudales pronosticados de entrada a un modelo hidráulico que representa a una zona inundable.

En este caso, las calibraciones de los modelos suelen ser independientes, pero debe tenerse en cuenta algo que debe ser valorado en análisis de sensibilidad o incertidumbre: el error del que proporciona entradas a otro se propagará a este último.

En la fase de calibración del modelo aguas abajo, se puede tener en cuenta la magnitud de los caudales que se esperan en un futuro inmediato, proporcionados por el modelo sobre el sistema aguas arriba. Así, por ejemplo, mayores caudales implicarán tiempos de propagación menores, lo que puede condicionar una predilección en los valores de los parámetros correspondientes aguas abajo.

8.8.6.2 Relación entre parámetros equivalentes

En ocasiones, se da la circunstancia de que un mismo sistema es simulado con dos modelos distintos. Los modelos pueden tener formulaciones distintas de los mismos subprocesos del ciclo hidrológico, y cabe encontrar parámetros o índices que podemos

denominar equivalentes pues representan el mismo fenómeno (tiempos de propagación en cauces, laminaciones, volúmenes de escorrentía, etc.)

El método de pérdidas habitualmente empleado en los casos de aplicación de EDAPHI en operación, recurre al parámetro de humedad antecedente $a = S_n / S$, siendo S_n la máxima retención posible en condiciones normales y S la que corresponde a una condición concreta. En función de a se calculan los valores de número de curva del método del SCS ($a=0.42$ lleva a $NC=NCI$, condiciones secas en hidrología de diseño, y $a=2.3$ a $NC=NCII$, condiciones húmedas). Este parámetro o índice facilita el establecimiento de relaciones con otros índices similares de otras formulaciones.

Un ejemplo está en la representación de la humedad del terreno. En el caso de que se enlacen modelos hidrológicos con meteorológicos, ambos contemplan la humedad en sus formulaciones, por lo que cabe establecer relaciones entre parámetros o índices.

Por supuesto, el enfoque es aplicable con dos modelos hidrológicos.

En cierto modo, este enfoque puede ser considerado como una calibración blanda, cuando nuestro modelo delega la "memoria" en otro modelo y basa sus ajustes en los resultados del último.

Cuando se opera con un mismo subsistema con varios modelos distintos cabe hablar de enfoque multimodelo. EDAPHI está preparado para operar con este planteamiento.

8.8.6.3 Hipermodelos

Trabajar con un sistema hidrológico complejo puede ser difícil. La calibración de un modelo con muchos parámetros es una tarea dificultosa. Es por ello que cabe seguir el principio de "divide y vencerás", y subdividir un sistema complejo en otros más sencillos. De este modo la tarea de calibración será más fácil.

Aunque en el entorno se ha desarrollado el concepto de hipermodelo en su código, no es necesario en la implementación. Un sistema complejo puede dividirse en subsistemas y solucionar las dependencias desde aguas arriba hacia aguas abajo con semáforos (

La solución EDAPHI-MHH-H es un ejemplo de hipermodelo. Se enfoca principalmente en afrontar la calibración de parámetros en subsistemas simples para después usarlos en el pronóstico en un modelo que engloba a los diferentes submodelos y representa al sistema hidrológico completo

8.8.7 Autocalibración secuencial o en paralelo

Los módulos de cálculo hidrológico pueden realizar las operaciones de autocalibración como parte de la secuencia del proceso de cálculo dentro de un ciclo, o pueden lanzar el proceso de autocalibración en paralelo y usarse sus resultados en un ciclo posterior, cuando estas operaciones, exigentes en capacidades de cálculo, se hayan terminado. Esta última opción permite optimizar los tiempos de cálculo y ofrece la disponibilidad de resultados más pronta.

8.8.8 Solución a adoptar en cada caso

La consideración de lo anterior llevará a la selección del procedimiento operacional más apropiado a cada caso de aplicación. Será especialmente importante tener en cuenta:

- El número de hidrólogos que operen en tiempo real, las condiciones en que tienen que hacerlo, el tiempo disponible para los reajustes y el perfil de estos (entrenamiento, experiencia y conocimiento del sistema hidrológico concreto)
- La calidad de las medidas.
- La necesidad de la robustez de la solución.

9 EDAPHI-Gen. Módulo de configuración y control general

9.1 Introducción

El módulo Gen proporciona un conjunto de utilidades de propósito general. No se describen detalladamente cada una de ellas, tan solo las de uso más común o de utilidad más relevante. Para el resto, la descripción y el uso del mismo comando (con su ayuda en línea) serán suficiente para su uso.

9.2 Funcionalidades

Las principales funcionalidades de Gen pueden agruparse según:

- Configuración del entorno
- Control de ejecución y programación de tareas
- Manejo de archivos de series temporales. Se generan las colecciones de series que usarán el resto de los módulos
- Manejo de nodos de representación del sistema hidrológico
- Intercambios de archivos vía Ftp
- Otros

No obstante, hay multitud de comandos de propósito general que son accesibles desde el resto de los módulos, sin necesidad de usar Gen.

9.3 Comandos

El módulo Gen no tiene un comando específico único, sino que se organiza, según el caso, con el conjunto de utilidades, incluso específicas del caso de aplicación, que sean de interés.

En principio, se cuenta con algo como lo siguiente (extraído de la respuesta de `ed_cmd` comandos):

```

Gen
    control.- Control de ejecución de aplicaciones EDAPHI
    ftp_saihsegura.- Carga y descarga via FTP para el caso SAIH
Segura
    prog_mods.- Programación de tareas EDAPHI
    st_gen_ebro.- Utilidad de conversión de archivos históricos
SAIH Ebro. Se diferencian archivos P y Q
    st_gen_jucar.- Utilidades lectura de series temporales en
formato SAIH-JUCAR
    st_gen_rd.- Caso RD. Generación de archivos de episodio
    st_gen_saihsegura.- Generación de archivos de episodios
generales para el caso SAIH Segura
  
```

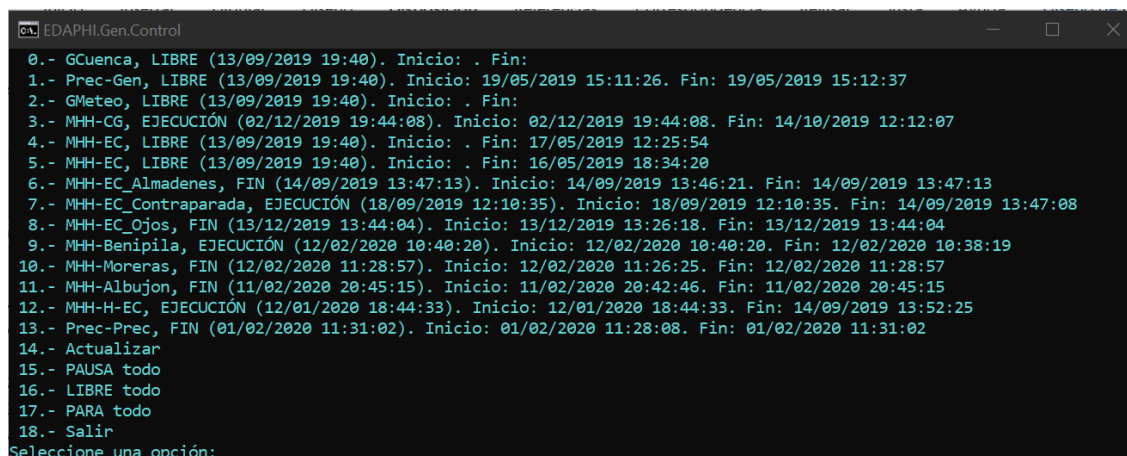
Pero se cuenta con muchos otros módulos que pueden desempeñar un papel importante en las funcionalidades previstas para *Gen*, lo cual también, como todo en EDAPHI, es flexible. A continuación, se lista una selección de las proporcionadas por la instrucción `ed_cmd` comandos:

```

Comunes
    conf_edaphi.- Configuración de EDAPHI
    tasks_e.- Subprocesos EDAPHI
    util.- Utilidades genéricas básicas
Anuario
    aemet_od.- Utilidades para el acceso a datos AEMET haciendo
uso de su servicio OpenData
    anuario.- Manejo de datos del anuario de aforos del CEDEX
Arch
    compress.- Utilidades de compresión de archivos
    edit_csv.- Editor simple de archivos CSV de configuración
    encrypt.- Encriptado
    file_csv.- Manejo de archivos CSV
    file_xls.- Manejo de archivos XLSX
    util_chardet.- Codificación de caracteres de archivos
Astl
    astl.- Análisis de series temporales largas
Calc
Com
    ftp_ed.- Utilidad FTP
    html_ed.- Utilidades HTML
    http_ed.- Acceso a direcciones http
Gen
    control.- Control de ejecución de aplicaciones EDAPHI
    ftp_saihsegura.- Carga y descarga via FTP para el caso SAIH
Segura
    prog_mods.- Programación de tareas EDAPHI
    st_gen_ebro.- Utilidad de conversión de archivos históricos
SAIH Ebro. Se diferencian archivos P y Q
    st_gen_jucar.- Utilidades lectura de series temporales en
formato SAIH-JUCAR
    st_gen_rd.- Caso RD. Generación de archivos de episodio
    st_gen_saihsegura.- Generación de archivos de episodios
generales para el caso SAIH Segura
Ges
    ges.- Generación de eventos sintéticos
    util_ges.- Uso cíclico de GES con un modelo MHH
St
    trz_ts.- Utilidades para trazas de series temporales
    ts_calc.- Operaciones de cálculo con series temporales
    ts_gen.- Generación de series temporales sintéticas
    ts_stats.- Utilidades para cálculos de estadísticas de series
temporales
    ts_util.- Utilidades para manejo de series temporales
    ts_util_points_saih_seg.- Obtiene la información de puntos de
un episodio XLSX (SAIH-Segura) y genera SHP de nodos
    tv_serie.- Utilidades básicas de series temporales

```

Uno de los módulos interesantes es *control*. Las aplicaciones desarrolladas con EDAPHI están diseñadas de modo que admiten pausar o interrumpir la ejecución. Este módulo facilita tal tipo de acciones.



```

C:\> EDAPHI.Gen.Control
0.- GCuenca, LIBRE (13/09/2019 19:40). Inicio: . Fin:
1.- Prec-Gen, LIBRE (13/09/2019 19:40). Inicio: 19/05/2019 15:11:26. Fin: 19/05/2019 15:12:37
2.- GMeteo, LIBRE (13/09/2019 19:40). Inicio: . Fin:
3.- MHH-CG, EJECUCIÓN (02/12/2019 19:44:08). Inicio: 02/12/2019 19:44:08. Fin: 14/10/2019 12:12:07
4.- MHH-EC, LIBRE (13/09/2019 19:40). Inicio: . Fin: 17/05/2019 12:25:54
5.- MHH-EC, LIBRE (13/09/2019 19:40). Inicio: . Fin: 16/05/2019 18:34:20
6.- MHH-EC_Almadenes, FIN (14/09/2019 13:47:13). Inicio: 14/09/2019 13:46:21. Fin: 14/09/2019 13:47:13
7.- MHH-EC_Contraparada, EJECUCIÓN (18/09/2019 12:10:35). Inicio: 18/09/2019 12:10:35. Fin: 14/09/2019 13:47:08
8.- MHH-EC_Ojos, FIN (13/12/2019 13:44:04). Inicio: 13/12/2019 13:26:18. Fin: 13/12/2019 13:44:04
9.- MHH-Benipila, EJECUCIÓN (12/02/2020 10:40:20). Inicio: 12/02/2020 10:40:20. Fin: 12/02/2020 10:38:19
10.- MHH-Moreras, FIN (12/02/2020 11:28:57). Inicio: 12/02/2020 11:26:25. Fin: 12/02/2020 11:28:57
11.- MHH-Albujon, FIN (11/02/2020 20:45:15). Inicio: 11/02/2020 20:42:46. Fin: 11/02/2020 20:45:15
12.- MHH-H-EC, EJECUCIÓN (12/01/2020 18:44:33). Inicio: 12/01/2020 18:44:33. Fin: 14/09/2019 13:52:25
13.- Prec-Prec, FIN (01/02/2020 11:31:02). Inicio: 01/02/2020 11:28:08. Fin: 01/02/2020 11:31:02
14.- Actualizar
15.- PAUSA todo
16.- LIBRE todo
17.- PARA todo
18.- Salir
Seleccione una opción:
  
```

Figura 9-1.- Ventana de interacción del comando control

Otro módulo útil es *prog_mod*, que ofrece las siguientes opciones:

Argumentos:

- ini: Inicia el ciclo de programación de tareas EDAPHI
- edit: Edición de opciones que se almacenan en el archivo `conf_prog.csv`
- test: Prueba de ejecución del módulo

Con el comando `ed_cmd prog_mods -ini`, se abre una ventana como la siguiente, y el programa se encarga de lanzar módulos en instantes deseados:



```

C:\> EDAPHI-Gen - prog_mods -ini
Proximas 6 tareas
21/02/2020 19:15 ['Gen', 'ciclo.cmd', '']
21/02/2020 20:15 ['Gen', 'ciclo.cmd', '']
21/02/2020 21:15 ['Gen', 'ciclo.cmd', '']
21/02/2020 22:15 ['Gen', 'ciclo.cmd', '']
21/02/2020 23:15 ['Gen', 'ciclo.cmd', '']
21/02/2020 23:30 ['GMeteo', 'ciclo.cmd', '']
  
```

Figura 9-2.- Ventana del programador de tareas

9.4 Configuración

9.4.1 Configuración general

El archivo `conf_gen.x/sx` situado en la carpeta del módulo almacena las opciones de configuración general que afectan al resto de módulos. La hoja *Dir* contiene la información de las carpetas generales y la *ST* la relacionada con los archivos de series y

determina parte del funcionamiento del comando *st_gen*. También se incluyen otras dos hojas *Txt-csv* y *Cntrl* para opciones de configuración de archivos de texto y de espera de ejecución, respectivamente

9.4.2 Configuración del programador de tareas

El resultado de una instrucción `ed_cmd prog_mods` es:

```
Programación de tareas EDAPHI
Argumentos:
  -ini: Inicia el ciclo de programación de tareas EDAPHI
        n_arch_conf=: Si no se indica el archivo de configuración se
tomará, por defecto, el valor C:\edaphi\Gen\conf_prog.xlsx
  -test: Prueba de ejecución del módulo
```

La configuración de este módulo es sencilla. Basta editar una hoja de cálculo.

Módulo	Comando	Argumentos	Horas (Ejemplo 1: 06:00 12:00 18:00, Ejemplo 2: 60-m ejemplo 3: 60-m-00:00)
Gen	ciclo.cmd		10-m-00:01
CMHA	ciclo.cmd		04:00 10:00 16:00 22:00
Gen	lanza_mh.cmd	ARR	30-m-00:20
Gen	lanza_mh.cmd	MD	30-m-00:30
Gen	lanza_mh.cmd	BAJO	30-m-00:40
Gen	lanza_mh.cmd	RBLAS	15-m-00:10
Gen	lanza_mh_calib.cmd	ARR	120-m-00:05
Gen	lanza_mh_calib.cmd	MD	120-m-00:35
Gen	lanza_mh_calib.cmd	BAJO	120-m-01:05
Gen	lanza_mh_calib.cmd	RBLAS	120-m-01:35
Prec	ciclo_60min.cmd		60-m-00:32
PaPOS	ciclo.cmd		60-m-00:04

Figura 9-3.- Hoja de configuración de tareas del programador de tareas

Puede ser útil un archivo CMD de lanzamiento como el siguiente (*ini_prog.cmd*):

```
@Echo off
```

```

set EDAPHI_AP=Gen
rem color 0F
mode con COLS=90 LINES=15
Rem Directorio de caso
Set EDAPHI_DIR_C=%cd%
Pushd ..\..
Rem Directorio General
Set EDAPHI_DIR=%cd%
Popd
Pushd ..
Rem Directorio de area. Ejemplo c:\edaphi\segura
Set EDAPHI_DIR_AREA=%cd%
Popd
Rem Entorno general
Call %EDAPHI_DIR_AREA%\Cmd\edaphi.cmd
Title Gen Prog
call ed_cmd prog_mods -ini

```

En el caso de aplicación de la cuenca del Segura, se incorporó un módulo de generación de archivos de series temporales generales: el comando *st_gen* genera, a partir de los datos de medidas en estaciones, que pueden estar almacenados en archivos, las colecciones de series que serán usadas por el resto de los módulos. Así, si se almacenan en archivos, su modo de trabajo se configurará según lo que aparezca la hoja *ST* del archivo *conf_gen.xlsx*.

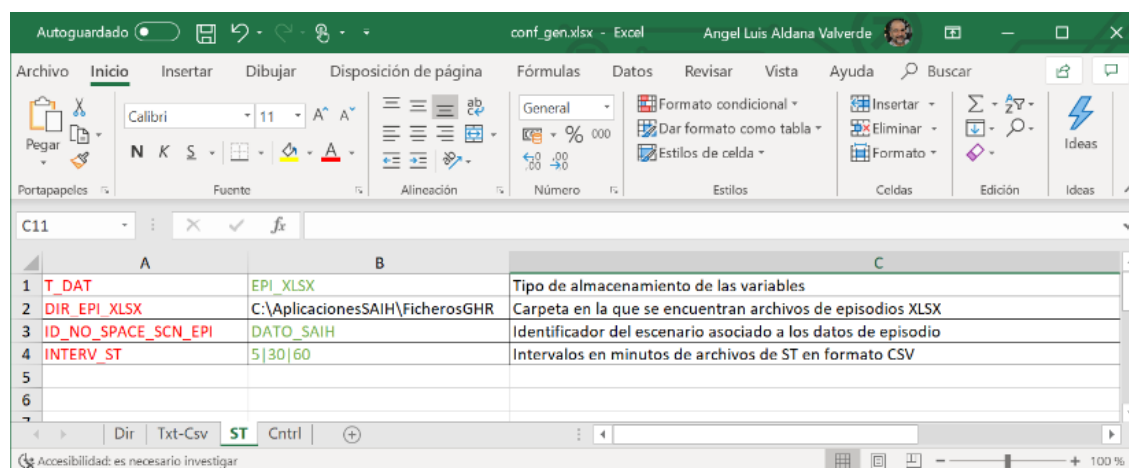


Figura 9-4.- Opciones de configuración que afectan especialmente al comando *st_gen*

Las tareas que realiza a partir de los datos originales son:

- Nombres de las variables: Les asignará el ID de los puntos de medición.
- Relleno de huecos por interpolación en series con atributos C, Q, N, S, V, E
- Cambio de discretización temporal (5, 30 y 60, ..., configurable)
- Escritura de archivos *st_gen_**. CSV y XLSX

De este modo quedarán los archivos de series temporales listas para el resto de los módulos EDAPHI.

Se han generado otros módulos similares para enlazar con otros orígenes de datos en diferentes formatos, Así, por ejemplo, en el caso de la experiencia en República Dominicana, se generó un módulo denominado *st_gen_rd* para fines similares, y *st_gen_jucar* para la experiencia piloto en el SAIH Júcar..

9.5 Uso de utilidades comunes

Desde este módulo pueden usarse algunas utilidades comunes (de propósito general accesibles desde el resto de los módulos, capítulo 7) para ampliar las posibilidades de análisis o de resultados.

El siguiente archivo de comandos, por ejemplo, calcula algunas estadísticas y genera gráficos que se emplearán para la construcción de la web (capítulo 18).

```
@echo OFF
REM @A Calcula estadísticas del archivo st_gen_05min y crea resultados
en %EDAPHI_DIR%\st y %EDAPHI_DIR%\Gen\Html\Grf
for %%d in (P,C,Q,S) do (
    rem Cálculo de estadísticas
    call ed_cmd ts_stats /c -stats_t
    csv=%EDAPHI_DIR\AREA%\st\st_gen_05min.csv dir_res=%EDAPHI_DIR\AREA%\st
    attrib=%%d
    rem Generación de gráficos
    call ed_cmd ts_util -w tv_s
    csv=%EDAPHI_DIR\AREA%\st\st_gen_05min.Stats_t-%%d.csv title="Valores
    representativos" dir_res=%EDAPHI_DIR\AREA%\Html\Gen\Grf
    rem estadísticas por serie
    call ed_cmd ts_util -sel_s
    csv=%EDAPHI_DIR\AREA%\ST\st_gen_05min.csv
    arch_res=%EDAPHI_DIR\AREA%\ST\st_gen_05min_%%d.csv at=%%d
    call ed_cmd ts_stats -stats /h
    csv=%EDAPHI_DIR\AREA%\st\st_gen_05min_%%d.csv attrib=%%d
    arch_res=%EDAPHI_DIR\AREA%\Html\Gen\stats_%%d.html
    arch_css=../cmn/edaphi.css
)
rem Selección
call ed_cmd ts_util -sel_s csv=%EDAPHI_DIR\AREA%\ST\st_gen_05min.csv
arch_res=%EDAPHI_DIR\AREA%\ST\st_gen_05min_N.csv at=N
rem Cálculo de estadísticas
call ed_cmd ts_stats /c -stats_t
csv=%EDAPHI_DIR\AREA%\st\st_gen_05min_N.csv
arch_res=%EDAPHI_DIR\AREA%\st\st_gen_05min.Stats_t-Var-N.csv attrib=N
j_dif=0
rem Generación de gráficos
call ed_cmd ts_util -w tv_s
csv=%EDAPHI_DIR\AREA%\st\st_gen_05min.Stats_t-Var-N.csv title="Valores
representativos" dir_res=%EDAPHI_DIR\AREA%\Html\Gen\Grf
rem estadísticas por serie y que coincidan índices
call ed_cmd ts_stats -stats /h
csv=%EDAPHI_DIR\AREA%\st\st_gen_05min_N.csv attrib=N
```



```
arch_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\Gen\stats_Var-N.html
arch_css=../cmn/edaphi.css
```

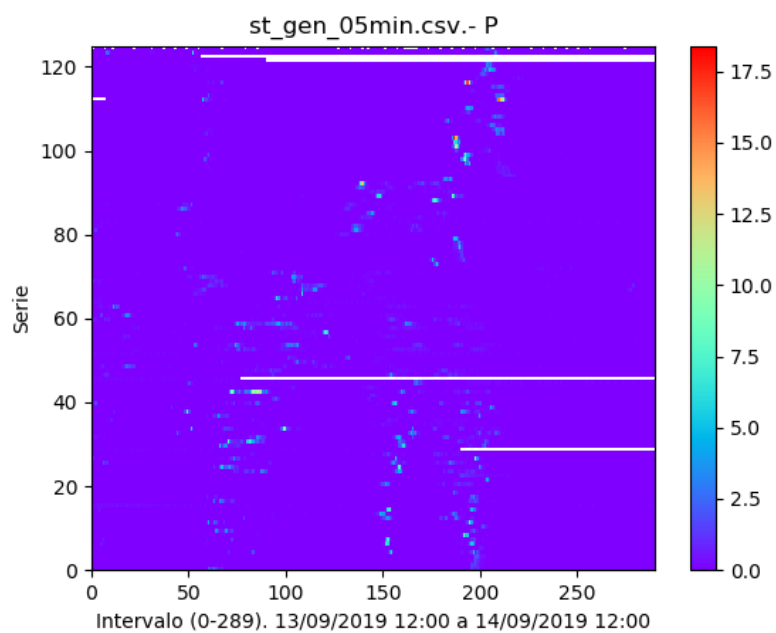


Figura 9-5.- Ejemplo de resultado obtenido con utilidades comunes

Si se desea consultar gráficamente una serie concreta, origen de los datos, puede usarse un comando como el siguiente:

```
ed_cmd ts_util xlsx=%EDAPHI_DIR%\ST\GHR_201909132100.xlsx nsheet=Datos
-w_tv i_s=2
```

Que ofrecerá una ventana con la representación de la variable.

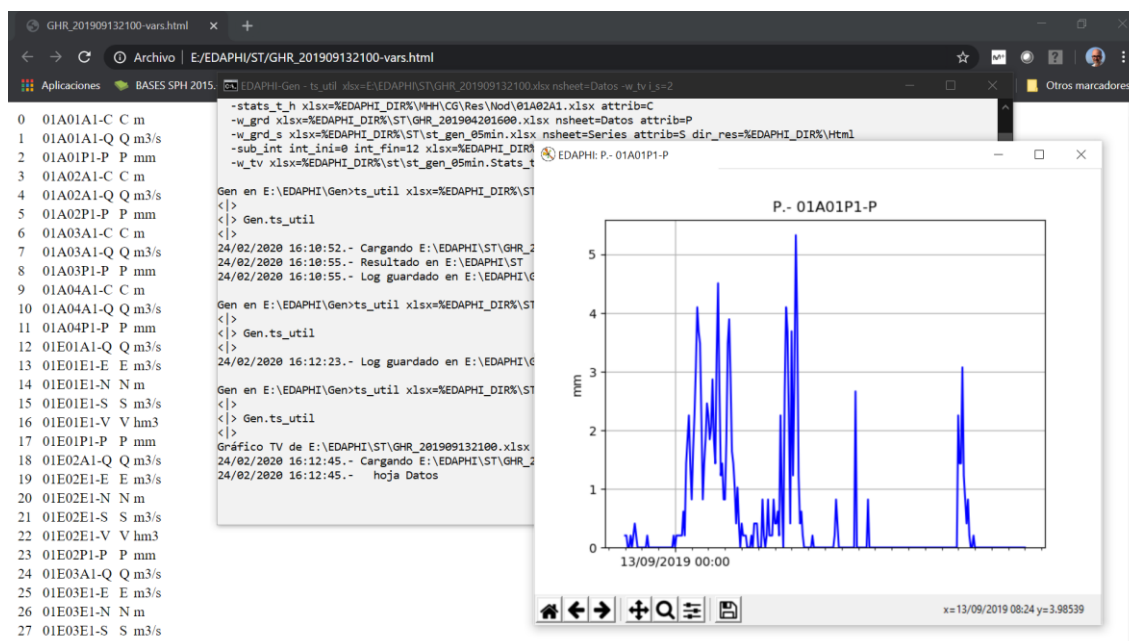


Figura 9-6.- Ejemplo de una consulta gráfica de una variable concreta de la fuente de datos origen

Para conocer el índice de la variable puede ser útil el comando:

```
ed_cmd ts_util xlsx=%EDAPHI_DIR%\ST\GHR_201909132100.xlsx nsheet=Datos
      -html_table_vars
```

Generará un archivo HTML con los índices y los nombres de las variables.

Pueden dejarse preparados un conjunto de archivos de comandos como el siguiente:

```
@echo OFF
REM @A Muestra una ventana de mapa de lluvias acumuladas en
pluviómetros. Argumento obligado: 05min, 30min o 60min
Echo ^<^|^>
Echo ^<^|^> %EDAPHI_Ap%.%0
Echo ^<^|^>
if "%1" == "" (
    echo Indique uno de los siguiente argumentos: 05min, 30min o
60min
) else (
    call ed_cmd map_cts -w_acum
arch_ct=%EDAPHI_DIR_AREA%\st\st_gen_%1.csv
arch_conf=%EDAPHI_DIR_AREA%\Gen\Conf_Mapas\conf_mapa_PAcum.xlsx
)
```

Que ofrecerá una ventana de valores máximos de precipitación en pluviómetros

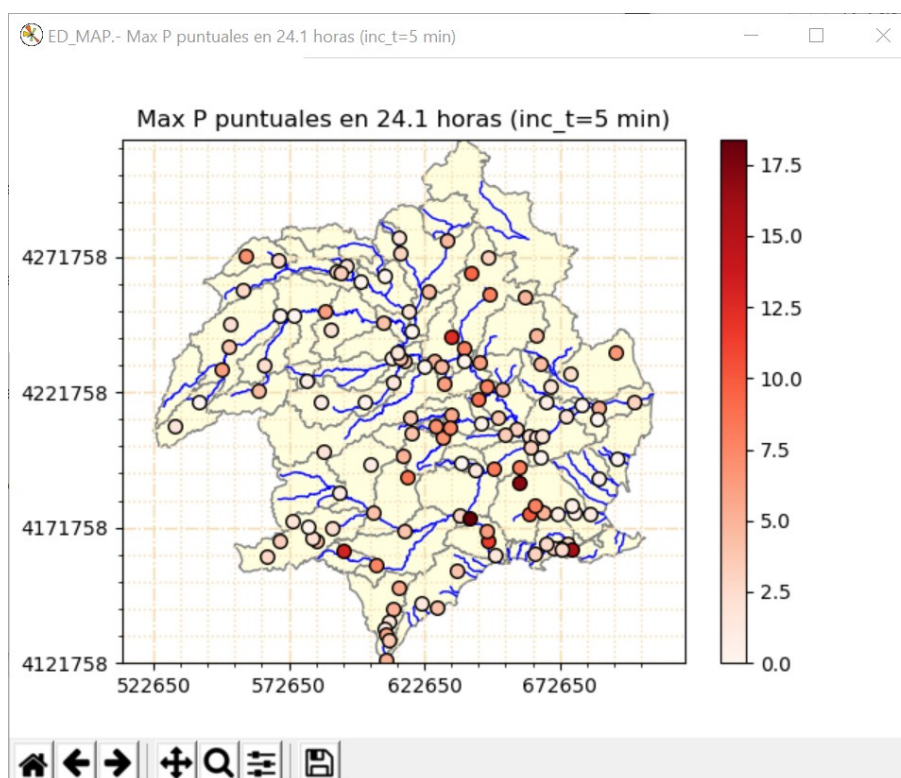


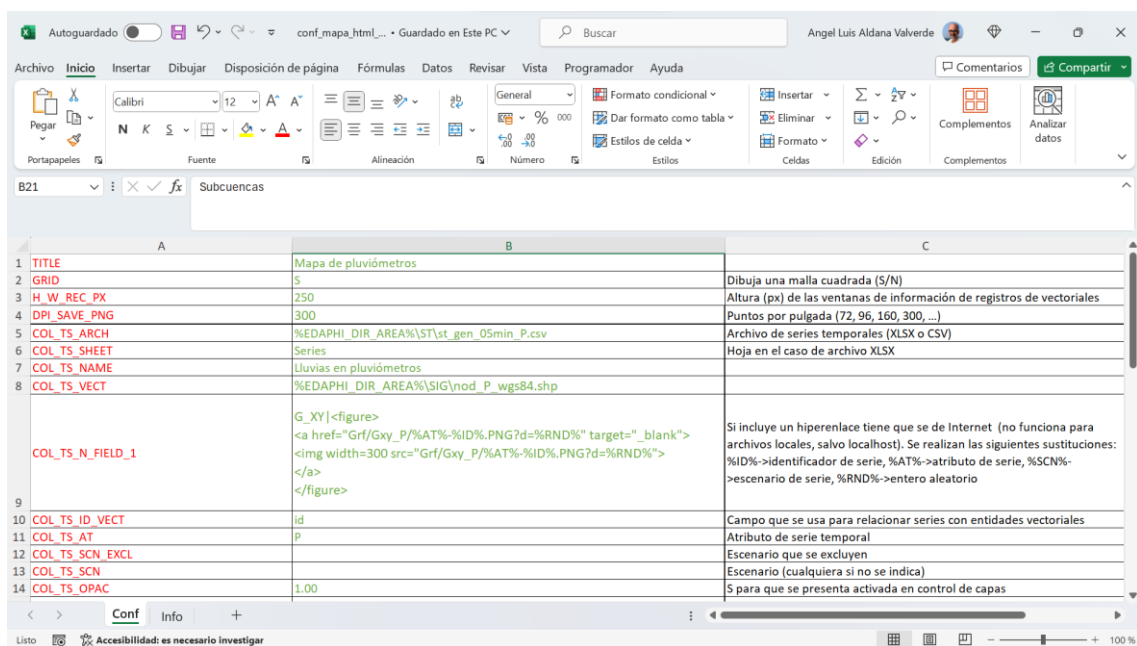
Figura 9-7.- Ventana de mapa de lluvias máximas en pluviómetros

Si se incorpora un conjunto de archivos de comandos en la carpeta Gen\Cmd, como en el caso de otros módulos, se tendrá acceso a ellos desde la ventana de comandos (instrucción `ed_cmd comandos_cmd`)

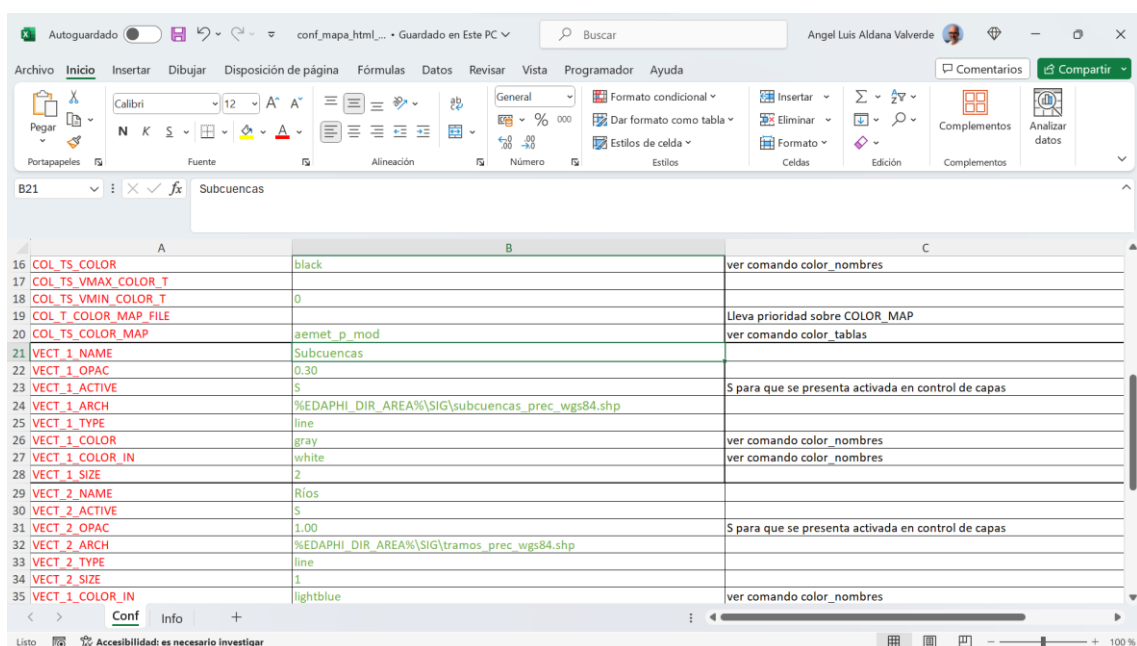
También pueden generarse mapas en formato HTML para ser publicados en web. Bastaría un archivo cmd con un contenido como el siguiente:

```
@echo OFF
REM @A Genera el mapa general HTML en %EDAPHI_DIR_AREA%\Html\Gen
Admite /xml_png
Echo ^<^|^>
Echo ^<^|^> * Comando de caso %0 en el entorno de la aplicación
%EDAPHI_Ap%
Echo ^<^|^>
Rem Mapa de series
call ed_cmd map_cts -h_conf
arch_conf=%EDAPHI_DIR_C%\Conf_Mapas\conf_mapa_html_gen.xlsx
arch_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\Gen\mapa_gen_i.html %1
```

El módulo general *map_cts* se configura para cada tipo de variables con unos archivos XLSX de configuración, los cuales son autoexplicativos:



	A	B	C
1	TITLE	Mapa de pluviómetros	
2	GRID	5	Dibuja una malla cuadrada (S/N)
3	H.W_REC_PX	250	Altura (px) de las ventanas de información de registros de vectoriales
4	DPI_SAVE_PNG	300	Puntos por pulgada (72, 96, 160, 300, ...)
5	COL_TS_ARCH	%EDAPHI_DIR_AREA%\ST\st_gen_05min_P.csv	Archivo de series temporales (XLSX o CSV)
6	COL_TS_SHEET	Series	Hoja en el caso de archivo XLSX
7	COL_TS_NAME	Lluvias en pluviómetros	
8	COL_TS_VECT	%EDAPHI_DIR_AREA%\SIG\nod_P_wgs84.shp	
	COL_TS_N_FIELD_1	G_XY <figure> </figure>	Si incluye un hiperenlace tiene que se de Internet (no funciona para archivos locales, salvo localhost). Se realizan las siguientes sustituciones: %ID%>identificador de serie, %AT%>atributo de serie, %SCN%>escenario de serie, %RND%>entero aleatorio
9			
10	COL_TS_ID_VECT	id	Campo que se usa para relacionar series con entidades vectoriales
11	COL_TS_AT	P	Atributo de serie temporal
12	COL_TS_SCN_EXCL		Escenario que se excluyen
13	COL_TS_SCN		Escenario (cualquiera si no se indica)
14	COL_TS_OPAC	1.00	S para que se presenta activada en control de capas



	A	B	C
16	COL_TS_COLOR	black	ver comando color_nombres
17	COL_TS_VMAX_COLOR_T		
18	COL_TS_VMIN_COLOR_T	0	
19	COL_T_COLOR_MAP_FILE		Lleva prioridad sobre COLOR_MAP
20	COL_TS_COLOR_MAP	aemet_p_mod	ver comando color_tablas
21	VECT_1_NAME	Subcuencas	
22	VECT_1_OPAC	0.30	
23	VECT_1_ACTIVE	5	S para que se presenta activada en control de capas
24	VECT_1_ARCH	%EDAPHI_DIR_AREA%\SIG\subcuencas_prec_wgs84.shp	
25	VECT_1_TYPE	line	
26	VECT_1_COLOR	gray	ver comando color_nombres
27	VECT_1_COLOR_IN	white	ver comando color_nombres
28	VECT_1_SIZE	2	
29	VECT_2_NAME	Rios	
30	VECT_2_ACTIVE	5	
31	VECT_2_OPAC	1.00	S para que se presenta activada en control de capas
32	VECT_2_ARCH	%EDAPHI_DIR_AREA%\SIG\tramos_prec_wgs84.shp	
33	VECT_2_TYPE	line	
34	VECT_2_SIZE	1	
35	VECT_1_COLOR_IN	lightblue	ver comando color_nombres

Figura 9-8.- Ejemplo de uno de los archivos de configuración de mapas en formato HTML

El resultado sería un archivo HTML como el de la siguiente figura:

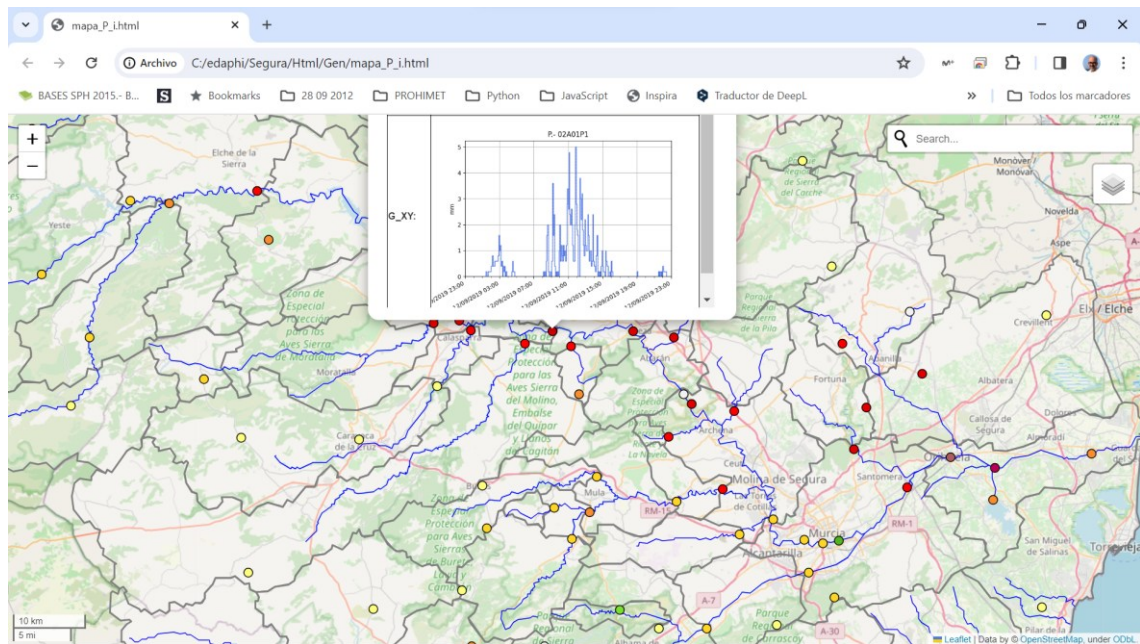
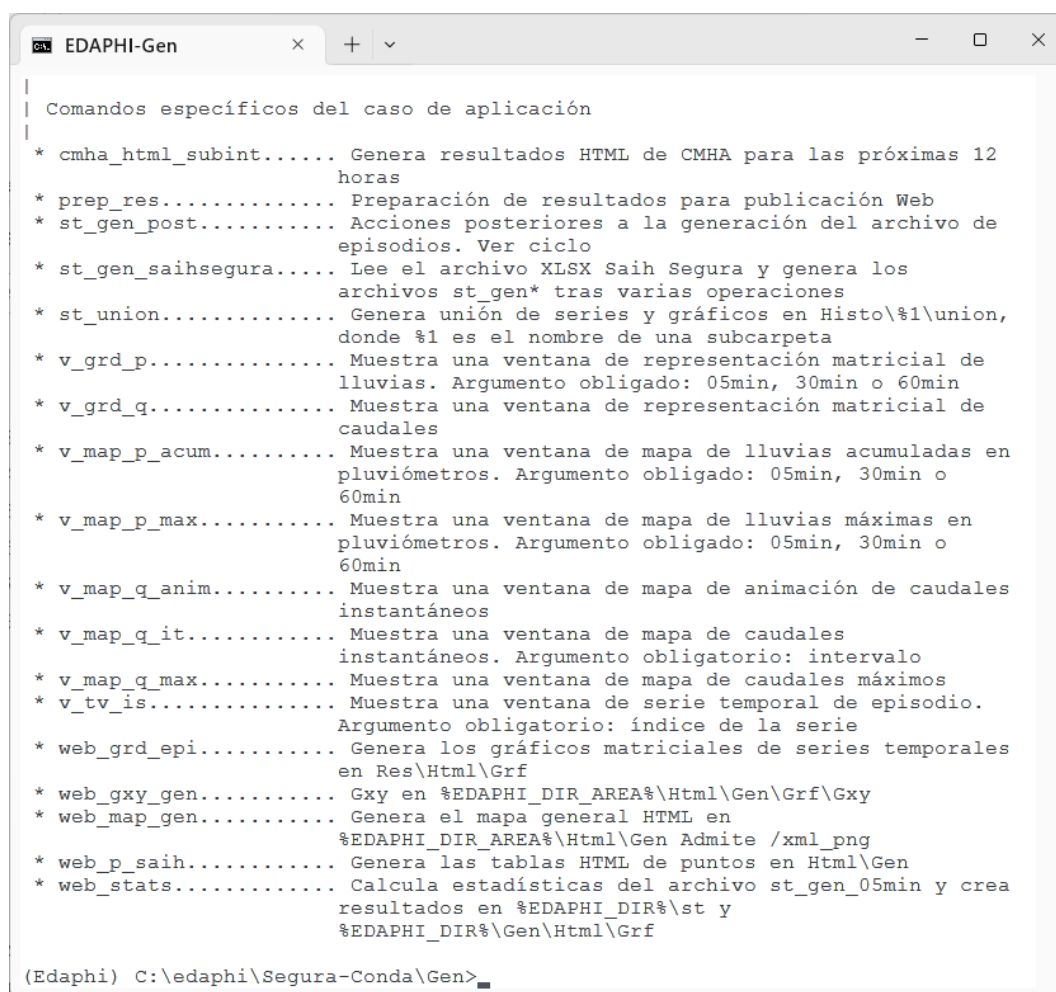


Figura 9-9.- Ejemplo de mapa HTML con posibilidad de acceso a gráficos de series temporales asociadas a puntos. Caso de datos SAIH de pluviómetros en la cuenca del Segura.

A modo de ejemplo, en el caso de la implementación de EDAPHI en la cuenca del Segura, se cuenta con un conjunto de comandos específicos, a modo de ejemplo de adaptación a los requerimientos de un proyecto concreto, que muestra el siguiente recorte de la ventana (uso de *ventana.cmd* en *Edaphi\Segura\Gen*) con las salidas de la instrucción `ed_cmd comandos_cmd`:



```

EDAPHI-Gen
| Comandos específicos del caso de aplicación
|
* cmha_html_subint..... Genera resultados HTML de CMHA para las próximas 12
                        horas
* prep_res..... Preparación de resultados para publicación Web
* st_gen_post..... Acciones posteriores a la generación del archivo de
                        episodios. Ver ciclo
* st_gen_saihsegura..... Lee el archivo XLSX Saih Segura y genera los
                        archivos st_gen* tras varias operaciones
* st_union..... Genera unión de series y gráficos en Histo\%1\union,
                        donde %1 es el nombre de una subcarpeta
* v_grd_p..... Muestra una ventana de representación matricial de
                        lluvias. Argumento obligado: 05min, 30min o 60min
* v_grd_q..... Muestra una ventana de representación matricial de
                        caudales
* v_map_p_acum..... Muestra una ventana de mapa de lluvias acumuladas en
                        pluviómetros. Argumento obligado: 05min, 30min o
                        60min
* v_map_p_max..... Muestra una ventana de mapa de lluvias máximas en
                        pluviómetros. Argumento obligado: 05min, 30min o
                        60min
* v_map_q_anim..... Muestra una ventana de mapa de animación de caudales
                        instantáneos
* v_map_q_it..... Muestra una ventana de mapa de caudales
                        instantáneos. Argumento obligatorio: intervalo
* v_map_q_max..... Muestra una ventana de mapa de caudales máximos
* v_tv_is..... Muestra una ventana de serie temporal de episodio.
                        Argumento obligatorio: índice de la serie
* web_grd_epi..... Genera los gráficos matriciales de series temporales
                        en Res\Html\Grf
* web_gxy_gen..... Gxy en %EDAPHI_DIR_AREA%\Html\Gen\Grf\Gxy
* web_map_gen..... Genera el mapa general HTML en
                        %EDAPHI_DIR_AREA%\Html\Gen Admite /xml_png
* web_p_saih..... Genera las tablas HTML de puntos en Html\Gen
* web_stats..... Calcula estadísticas del archivo st_gen_05min y crea
                        resultados en %EDAPHI_DIR%\st y
                        %EDAPHI_DIR%\Gen\Html\Grf

(Edaphi) C:\edaphi\Segura-Conda\Gen>

```

Figura 9-10.- Ejemplo de listado de comandos específicos definidos con las utilidades comunes del capítulo 7

10 EDAPHI Prec. Procesador de precipitaciones para uso en tiempo real

10.1 Introducción

Este módulo es uno de los básicos para el pronóstico hidrológico. Se trata de un procesador de lluvias que parte de datos de medidas en pluviómetros y genera mallas de precipitación y calcula valores areales medios en cuencas.

10.2 Funcionalidad de la aplicación

Las funcionalidades de *Prec* son:

- Cálculo de mallas de precipitaciones por intervalo
- Combinación de mallas interpoladas con mallas procedente de una red de radares meteorológicos u otra fuente análoga.
- Trabajo con escenarios para realizar, por ejemplo, cálculos en diferentes intervalos de tiempo (5, 30, 60 minutos)
- Posibilidad de cálculo incremental para lograr ahorros de tiempo, aprovechando cálculos anteriores
- Cálculo de precipitaciones areales en polígonos. Se aplica para el cálculo en subcuencas.
- Posibilidad de generar mapas configurables de mallas de precipitaciones o de precipitaciones areales
- Puede generar animaciones de mallas precipitaciones
- Posibilidad de calcular series de archivos de series generales de EDAPHI o calcular un intervalo desde un archivo de puntos en formato XLSX (útil para realizar pruebas)

Cuenta con funcionalidades generales de los módulos EDAPHI en cuanto a generación de resultados para publicación web, archivos XLSX, etc.

Los módulos del paquete *Prec* son:

```
Prec
    area_mcidas.- Lectura de archivos Area McIdas
    comb_cd.- Combina dos listas o matrices según el método RFC
    hdf5_ed.- Manejo de archivos en formato h5 de AEMET
    prec.- Procesador de precipitaciones basada en interpolación
para uso en tiempo real
    prec_comb.- Cálculo de mallas combinadas
```


10.3 Cálculo de mallas

10.3.1 Interpolación

Prec cuenta con un interpolador sencillo que usa el método de inversa a la distancia. Sería fácil incorporar otro tipo de interpoladores o dotar de algoritmos basados en geoestadística, pero, al menos hasta ahora, no se ha trabajado en ningún caso en el que esté justificado otro tipo de método.

La expresión de la interpolación para obtener el valor de la precipitación P en el punto (x, y) es:

$$P(x, y) = \sum_{l=1}^p a_l * f_l(x, y)$$

Donde $f_l(x, y)$ son denominadas funciones base

En el caso de que se opte por cálculo en función de n valores puntuales (P_l), se aplica la fórmula:

$$P(x, y) = \sum_{l=1}^n \lambda_l * P_l; \left(\sum_{l=1}^n \lambda_l = 1 \right)$$

Para asegurar que la suma de coeficientes sea 1, se recurre a expresarlos como:

$$\lambda_l = \omega_l / \sum_{k=1}^n \omega_k$$

En el caso del interpolador de inversa a la distancia, será:

$$\omega_l = \frac{1}{h_l(x, y)^\theta} = \frac{1}{\left(\sqrt{(x - x_l)^2 + (y - y_l)^2} \right)^\theta}$$

$h_l(x, y)$ es la distancia al pluviómetro l de coordenadas (x_l, y_l) al punto (x, y) donde realizar los cálculos, en función de una potencia.

El algoritmo implementado permite especificar algunas condiciones, además de la potencia, cuyo valor habitual es 2:

- Distancia máxima ($dmax$). - Se ordenan los pluviómetros según el valor de la distancia h_l y se seleccionan aquellos m pluviómetros que distan menos que $dmax$ del punto en el que obtener el valor interpolado.

- Número máximo de pluviómetros (n_{max}). - Si $m > n_{max}$ se seleccionan los primeros n_{max} .

Con estas fórmulas y condiciones se calculan los valores en celdas de una matriz de dimensiones dadas por las coordenadas extremas y por el tamaño de celda. Las coordenadas que se asigna a cada celda serán las de su punto central.

10.3.2 Combinación de mallas.

Si se cuenta con información complementaria de las distribuciones espaciales de lluvias por intervalos, puede optarse por el uso del módulo *prec_comb* que, partiendo de las mallas interpoladas, las combina con la fuente externa para obtener un resultado que busca las ventajas de unos y otros tipos de mallas.

El caso de aplicación normal es el de calcular las mallas por interpolación basada en los datos pluviométricos de la red telemétrica y realizar la combinación con un mosaico de lluvias obtenidas a partir de una red de radares meteorológicos.

El algoritmo implementado es sencillo y muy intuitivo, pues sus parámetros representan criterios de elección entre una fuente y otra:

- *cp*: confianza en la malla primaria (la interpolada). Tendrá un valor entre 0 y 1, según la menor o mayor confianza depositada en la malla primaria con respecto a la secundaria (radar)
- *ed*: exponente de discrepancia. Representa la importancia que se concede a la discrepancia de valores de una y otra malla.

En cada celda de la malla, el valor se calcula conforme a una media ponderada en función del valor de la malla primaria, yp , y del de la secundaria ys :

$$yr = pp * yp + ps * ys; \text{ con } pp + ps = 1$$

$$ps = (1 - cp) * r^{-ed}; pp = 1 - ps$$

r es denominada la razón de medias entre ambas distribuciones, calculando el valor medio en el área completa o en las inmediaciones de la celda de cada distribución. Siendo mp el valor medio para la malla primaria y ms el de la secundaria:

$$r = \max\left(\frac{ms}{mp}, \frac{mp}{ms}\right)$$

El usuario puede hacer uso del módulo *comb_cd* para un mejor entendimiento del método a través de gráficos. La salida de `ed_cmd comb_cd` es:

```

Combina dos listas o matrices según el método RFC
Comandos:
-test.- Muestra resultados de ejemplos de demostración
/sim.- Resultado alfanumérico. Operación con listas 1D y 2D
/par.- Ventanas con ilustración gráficos de parámetros
/cte.- Ejemplo de uso con mallas y parámetros constantes en
formato malla
/var.- Ejemplo de uso con mallas y parámetros variables en
formato malla
/vp.- Ejemplo de uso con mallas y parámetros variables en
función de puntos

```

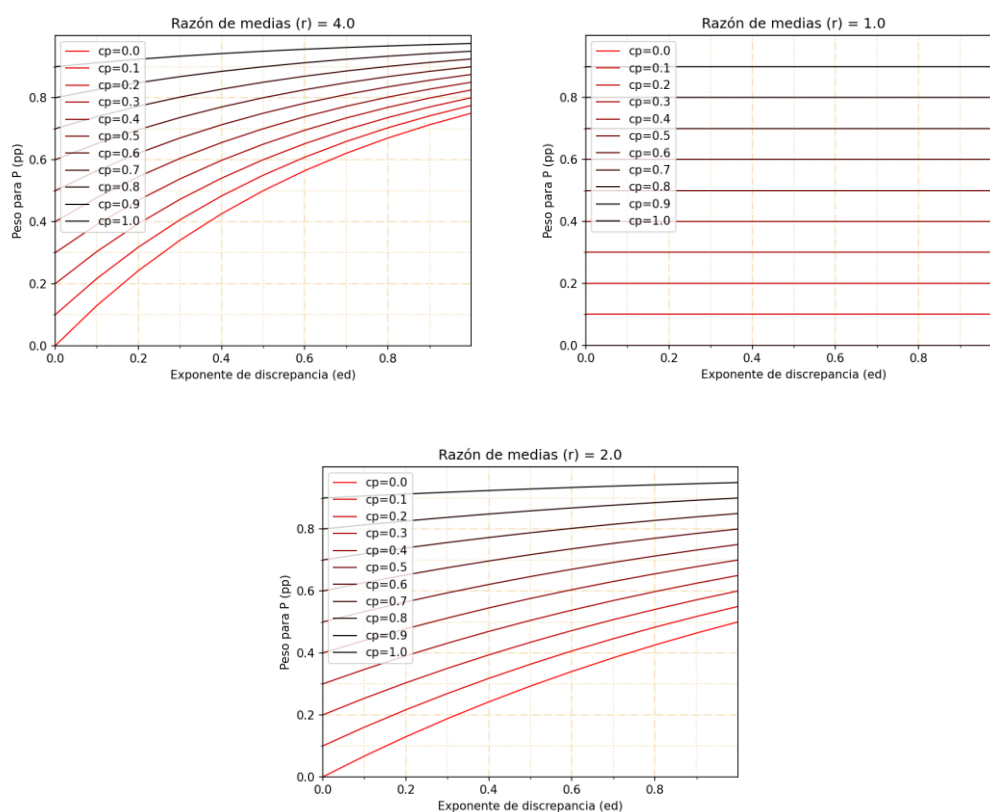


Figura 10-1.- Variación del peso de la malla primaria en función de la confianza, del exponente de discrepancia y de la razón de medias

10.3.2.1 Parámetros cp y ed variables en espacio

El usuario puede realizar los cálculos conforme a lo anterior con parámetros cp y ed constantes en el espacio. Pero el código desarrollado permite definir que estos parámetros varíen dentro de unos valores máximos y mínimos según la celda esté más o menos lejos de los pluviómetros.

Las siguientes gráficas, obtenidas con el comando `comb_cd -test /vp` ilustran lo anterior:

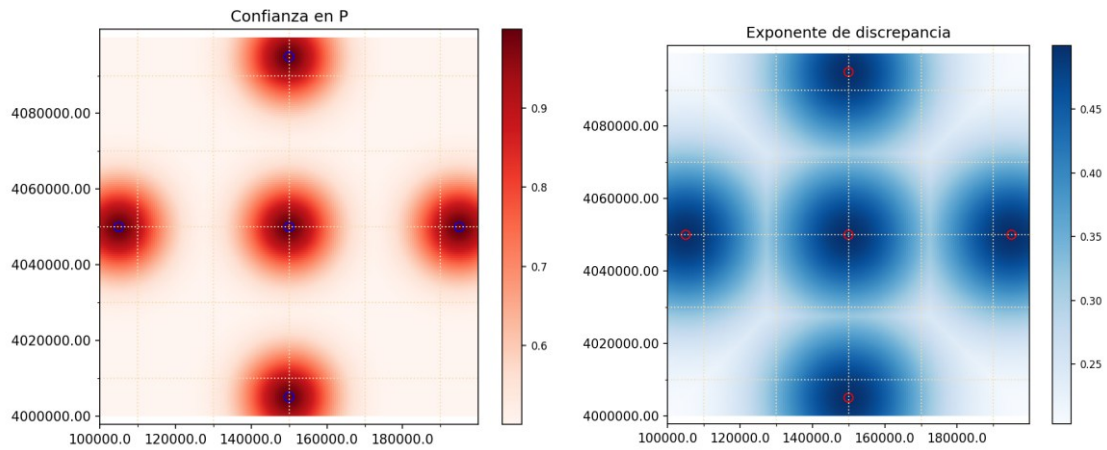


Figura 10-2.- Mallas de parámetros variables de confianza y de exponente de discrepancias

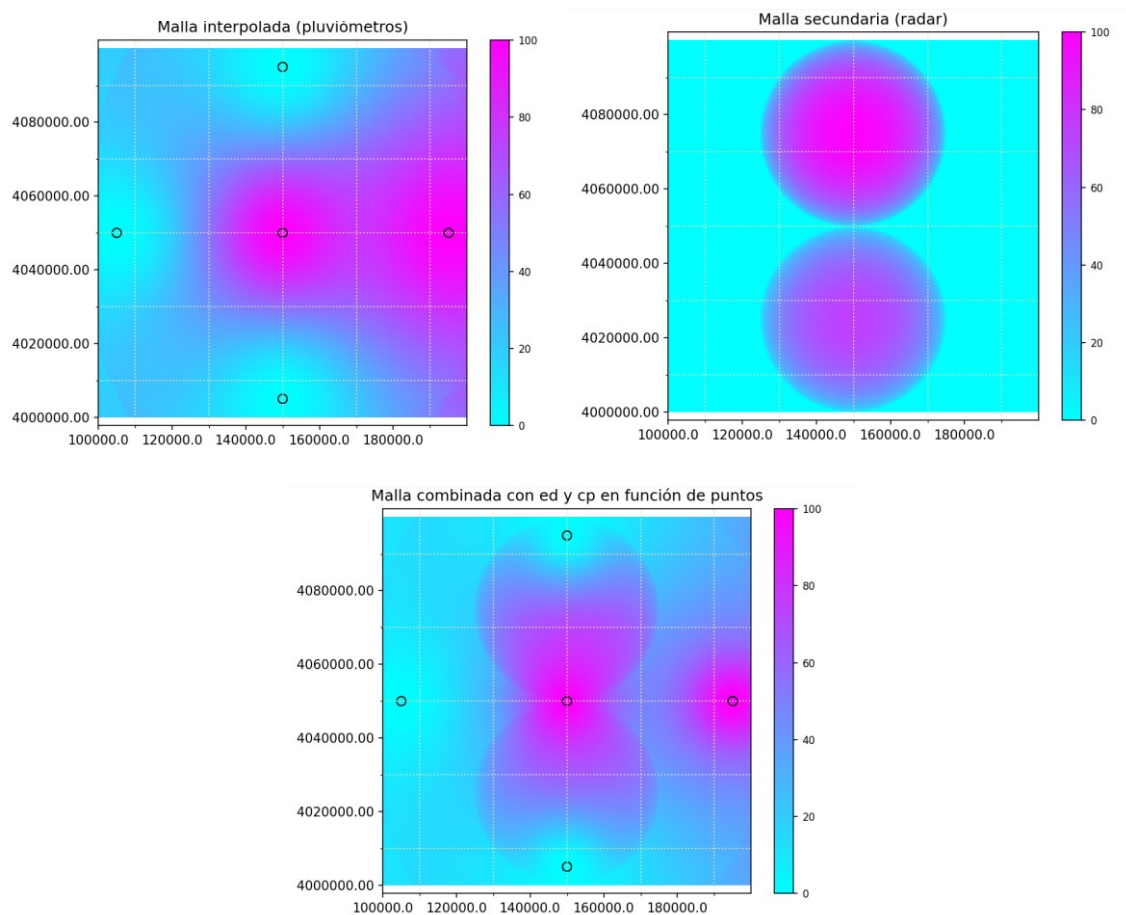


Figura 10-3.- Mallas primarias, secundaria y resultante al usar los parámetros cp y ed variables

Las funciones de distancia se construyen con una función del tipo:

$$fe = vmin + (vmin - vmax) * e^{\frac{-x^2}{R^2}}$$

R es la distancia a la que se alcanza el 1% del rango ($vmin + 0.01 (vmax - vmin)$), un parámetro a fijar por el usuario.

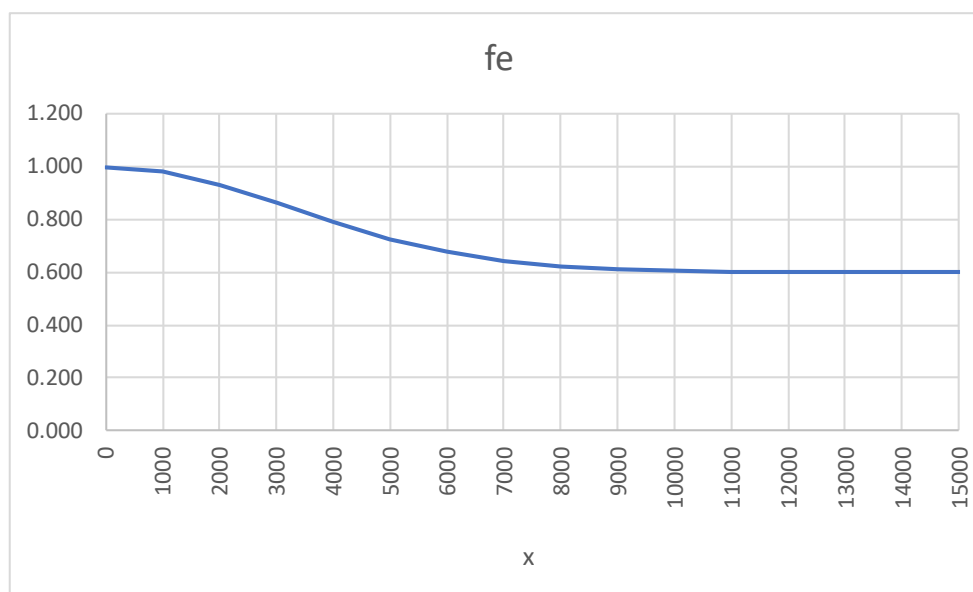


Figura 10-4.- Representación gráfica de una de las funciones de distancia para la definición de una malla de parámetro cp o ed ($R=20.000,00$, $vmin=0,6$, $vmax=1,0$)

El interés de los resultados prácticos de este algoritmo puede apreciarse en las siguientes figuras del caso de aplicación en la cuenca del Segura:

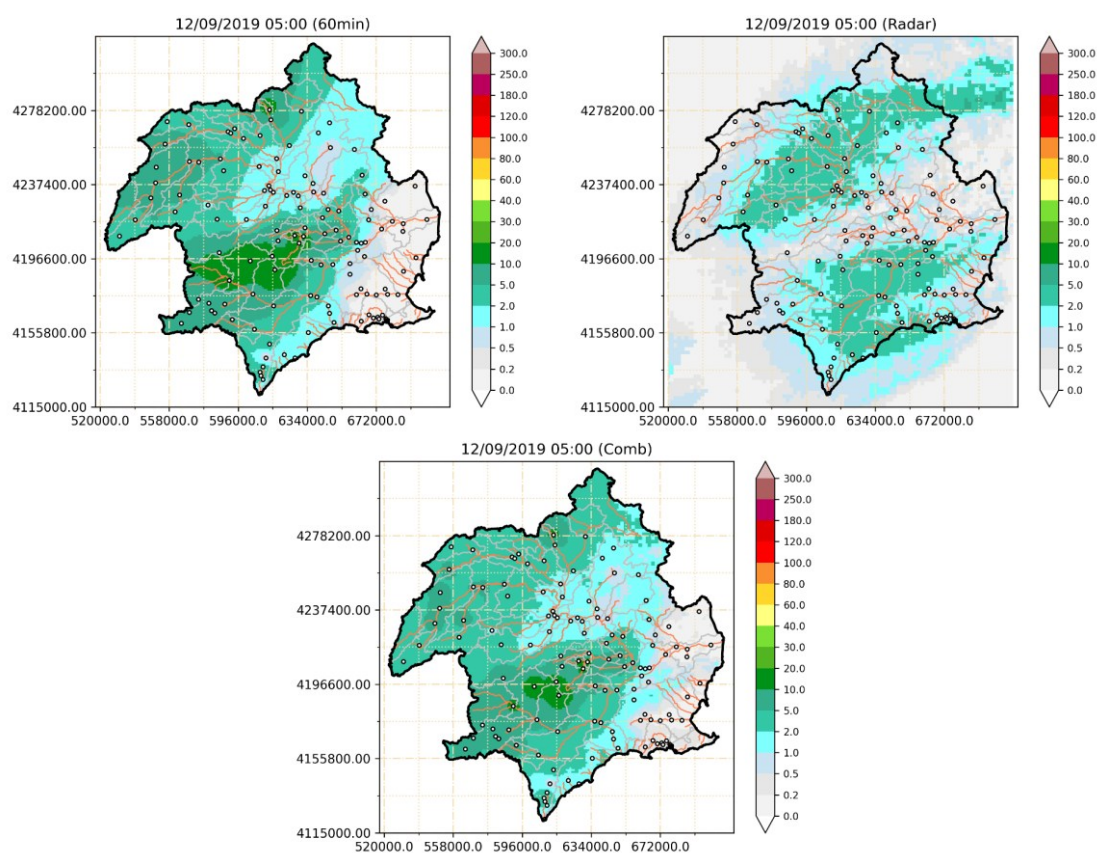


Figura 10-5.- Ejemplo de resultado (Comb) para la hora 12/09/2019 05:00 de combinación de la malla de lluvia interpolada en función de los datos SAIH (60min) y la malla de lluvias obtenidas por la red de radares de AEMET para la cuenca del Segura

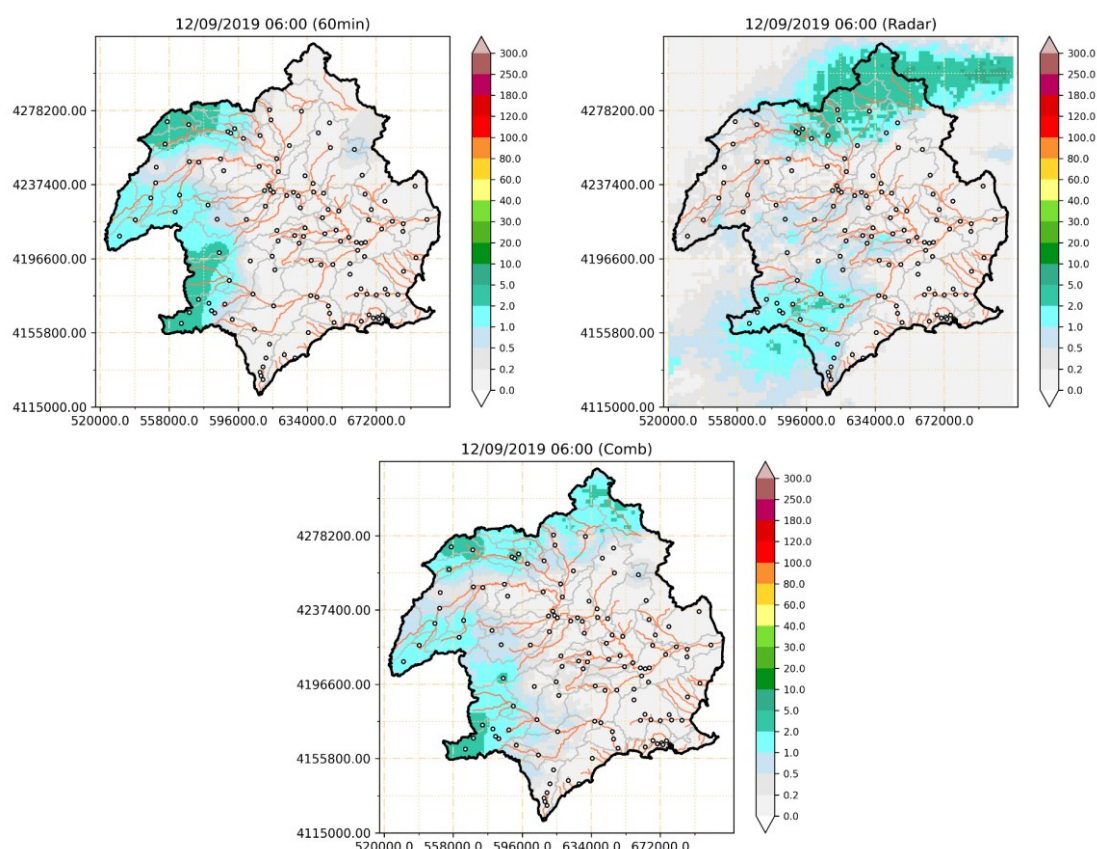


Figura 10-6.- Ejemplo de resultado (Comb) para la hora 12/09/2019 06:00 de combinación de la malla de lluvia interpolada en función de los datos SAIH (60min) y la malla de lluvias obtenidas por la red de radares de AEMET para la cuenca del Segura

10.4 Cálculo de valores areales

Los valores areales en subcuencas (u otras áreas de interés) se obtienen operando con los valores de las celdas interiores a sus respectivos polígonos. Para agilizar estos cálculos se emplea una máscara obtenida de la capa de polígonos que representa a las subcuencas. Esta máscara es una capa ráster de iguales dimensiones que las matrices que se quieren obtener y cuyos valores (enteros), cada uno de los cuales se refiere a una subcuenca concreta, indica si el punto está dentro de un área, otra o ninguna. Así, si una subcuenca se identifica por el número j , para calcular los valores areales en su área, se buscarán los valores de las celdas de la matriz calculada que tenga valor j en la celda de igual posición de la máscara.

La máscara se calcula en el proceso de configuración de la aplicación y no requiere volver a ser recalculada, salvo que haya cambios en la capa de áreas. El cálculo es, en términos SIG, una conversión de representación vectorial a ráster.

Este método implica que no se admiten superposiciones de áreas. Pero la aplicación ofrece solución a esto gracias a las diferentes opciones de configuración con escenarios de cálculo de areales (ver apartados 10.5 y 10.6).

10.5 Configuración

10.5.1 Configuración básica del interpolador

La configuración de la mayor parte de los parámetros del módulo se realiza en la hoja *Conf* del archivo de configuración XLSX (*conf_prec.xlsx*, por ejemplo).

	A	B	C	D	E	F	G
1	DESC	Cuenca del río Segura	Descripción del caso				
2	T_NOD	P	Tipos de nodos con los que opera. Los nodos S son generados a partir de VEC_AREAS				
3	SEC_CONF	PAS	Secciones en el apartado de configuración				
4	LEVEL_LOG	1	Nivel de impresión por pantalla de log				
5	INV_V	-1	Valor inválido (para marcar huecos)				
6	COLOR_POINTS_VINV	black	Color de los punto con valores inválidos				
7	INC_T_SEC_ANIM	1	Segundos entre imágenes en la animación				
8	N_FRAMES_ANIM	24	Número de imágenes en la animación				
9	N_PNG_HTML	24	Número de imágenes por escenario que se preparan para html				
10	MASC	S	Si usa la máscara de contorno (S/N)				
11	LEGEND_LOC	best	'best', 'upper right', 'upper left', 'lower left', 'lower right', 'right', 'center left', 'center right', 'lower center', 'upper center', 'center'				
12	PREP_HTML	S	Preparar archivos para publicación web (S/N)				
13	N_ARCH_CSS	../cmn/edaphi.css					
14	DPI_SAVE_PNG	300	Puntos por pulgada (72, 96, 160, 300, ...)				
15	DIR_GIS_GEN	S	Si usa la carpeta SIG general o la específica				
16	X_MIN	520000	Coordenadas mínimas del cuadro de la matriz a generar				
17	Y_MIN	4115000	Y_MAX	4319000	X_MAX	710000	
18	X_CEL_Y_CEL	1000	Tamaño de celda				
19	X_CELS	190	Número de celdas en horizontal (E-O)				
20	Y_CELS	204	Número de celdas en vertical (N-S)				
21	POL_CONT	%EDAPHI_DIR_AREA%\SIG\cuenca_redu.shp	Polígono con el contorno				
22	VEC_AREAS	%EDAPHI_DIR_AREA%\SIG\subcuencas_prec.shp	Polígonos para medias areales. Puede especificarse para cada escenario. Debe incluir los campos ID y AREA_KM2. Opcionalmente el campo DESC				
23	VEC_AREA_KM2	area_km2	Campo de superficie en km2 (AREA_KM2)				
24	TH_1_STATS	-1	Hora inicial para el cálculo de estadísticas				
25	TH_2_STATS	-24	Hora final para el cálculo de estadísticas				
26	SAVE_XLSX	N	Si guarda resultado XLSX, además del CSV				

Figura 10-7.- Contenido de la hoja *Conf* del archivo de configuración XLSX

La configuración de un escenario normal en el que se calculan matrices, por interpolación, y valores areales se hace de un modo sencillo como ilustra la siguiente figura:

	A	B	C	D
1	SERIES_DAT	Series dato %EDAPHI_DIR_C% \ST\st_gen_05min.csv Series		
2	ID	5min		
3	DESC	Precipitaciones con intervalos de 5 minutos		
4	T_SCN	PAS	Tipo de escenario	
5	COLOR	orange	Ver comando Gen\color_nombres_list	
6	LINEWIDTH	1	>= 1	
7	LINESTYLE	solid	solid, dashed, dashdot, dotted, -, --, ., , None, ,	
8	CONF_CALC	INV_DIST InvDist	Método de cálculo	
9	GRF	S 24	S para que genere los gráficos por intervalo	
10	CONF_MAP_I	conf_mapa_int_5min.xlsx	Configuración de mapa por intervalo	
11	CONF_MAP_A	conf_mapa_acum_5min.xlsx	Configuración de mapa de acumulados	
12	CONF_MAP_X	conf_mapa_max_5min.xlsx	Configuración de mapa de máximos	

Figura 10-8.- Ejemplo de hoja de un escenario de cálculo

Los parámetros de configuración del interpolador (INV_DIST) se almacenan en la hoja *InvDist*, nombre configurable (ver la línea de la sección CONF_CALC).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Interpolador	PO	MAX_P	MAX_DIST					
2	INV_DIST	2.00	5	100000.00					
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									

Figura 10-9. – Configuración del interpolador

10.5.2 Máscara de áreas

Este módulo, como otros de EDAPHI, usa una máscara de las áreas en las que se va a realizar los cálculos de valores areales. Deben contener dos archivos:

- masc_areas.asc.- malla con valores enteros asociadas a cada área, en formato ASC de GIS-Grass o ASC de ESRI.
- masc_areas.csv.- un archivo tipo CSV (texto con campos separados por comas) que debe incluir cabecera y, al menos, los campos id y desc. El número de la fila se asociará al valor numérico del archivo ASC.

Se muestra a continuación un ejemplo de las primeras filas de un archivo CSV de máscara

```
desc,id,rio,id_nod,id_geo,area_km2
Marco de Control Rbla de Minateda,Rbla. de Minateda - 03M01A1,Rambla
de Minateda,03M01A1,S-001,69.92
Arroyo de Morote,A. de Morote,Arroyo de Morote,Arroyo de Morote,S-
006,380.85
Aforo río Segura (El Gallego),R. Segura - 04A04A1,Río
Segura,04A04A1,S-105,305.96
Aforo río Mundo (Azaraque),R. Mundo - 03A04A1,Río Mundo,03A04A1,S-
013,269.32
Embalse del Judío,Rbla. del Judío - 02E05E1,Rambla del
Judío,02E05E1,S-014,517.9
```

La máscara debe tener las mismas características geográficas que las definidas para el interpolador (para las mallas resultado).

Cada escenario tendrá su máscara, que se almacenará en una carpeta *Prec\Sig\masc\id_escenario*.

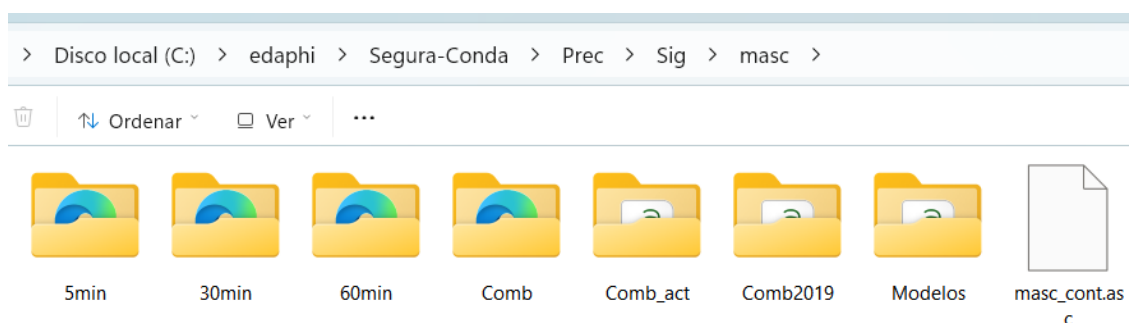


Figura 10-10.- Ejemplo de carpeta de máscaras de áreas con una subcarpeta por escenario

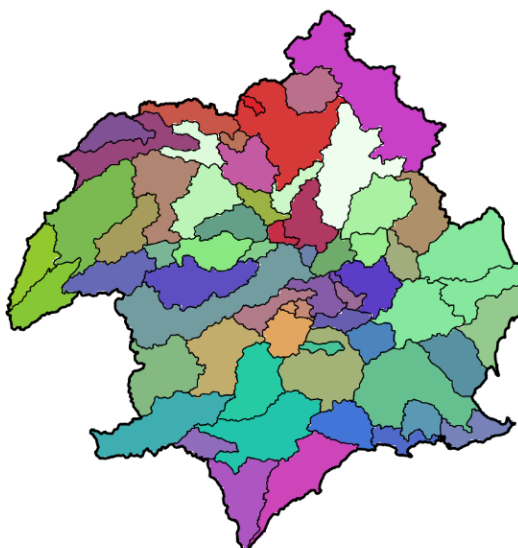


Figura 10-11.-Representación de una de las capas masc_areas.asc

Prec incorpora un comando para la generación de estos archivos de máscara, pero pueden generarse externamente.

Además, relacionado con esto, cabe destacar que puede definirse un escenario especial para el cálculo de valores areales a partir de resultados de otros escenarios o de otra aplicación.

	A	B	C	D
1	SERIES_DAT			
2	ID	Modelos		
3	DESC	Precipitaciones con intervalos de 5 minutos		
4	T_SCN	PAS	Tipo de escenario	
5	COLOR	grey	Ver comando Gen\color_nombres_list	
6	LINEWIDTH	1	>= 1	
7	LINESTYLE	solid	solid, dashed, dashdot, dotted, -, --, -., ;, None, ,	
8	CONF_CALC	R_EXT Rext	Método de cálculo	
9	GRF_I	N	S para que genere los gráficos por intervalo	
10	CONF_MAP_I		Configuración de mapa por intervalo	
11	CONF_MAP_A		Configuración de mapa de acumulados	
12	CONF_MAP_X		Configuración de mapa de máximos	
13	VEC_AREAS	%EDAPHI_DIR_AREA%\Sig\nod_S_Area_redu.shp	Polígonos para medias areales. Debe incluir los campos ID y AREAKM2. Opcionalmente el campo DESC	
14	VEC_AREA_KM2	area_km2	Campo de superficie en km2 (AREA_KM2)	
15				
16				

Figura 10-12.- Definición de un escenario para cálculo de valores areales en una capa de polígonos específica

	A	B	C
1	Malla / raster	DIR_R	FMT
2	R_EXT	%EDAPHI_DIR_C%\Res\5min\ASC	%Y%m%d-%H%M.asc
3			

Figura 10-13.- Detalle de la hoja Rext referida en la hoja anterior

10.5.3 Máscara del contorno

La máscara de contorno es una malla en la que se define con valores mayor que cero las celdas que se calcularán. Será común a todos los escenarios.

Fuera del polígono que define el contorno, las mallas resultantes tendrán valor inválido, pues no se realizarán cálculos en esas celdas. Esta máscara se almacena en el archivo *masc_cont.asc* en *Prec\Sig\masc*.

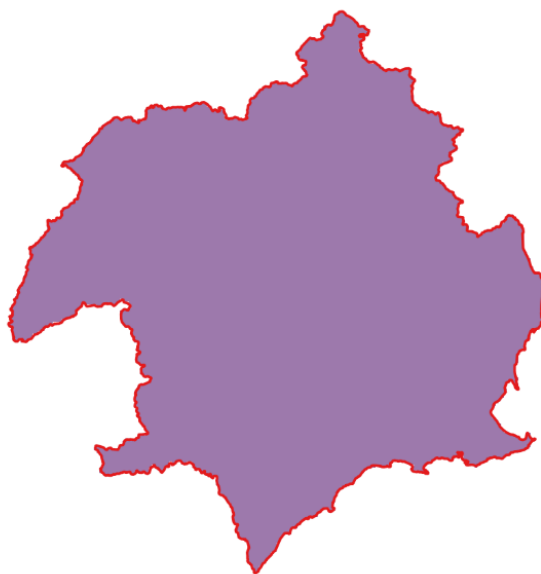


Figura 10-14.- Ejemplo de máscara del contorno

Prec cuenta con un comando para generar una máscara para el contorno.

10.5.4 Configuración de la combinación de mallas

La configuración de la aplicación para el cálculo de la combinación de mallas necesita dos hojas: una en la que se define el escenario correspondiente y otra con los detalles.

Aunque la orden de cálculo es *prec_comb*, puede usarse el mismo archivo de configuración que para el comando *prec*.

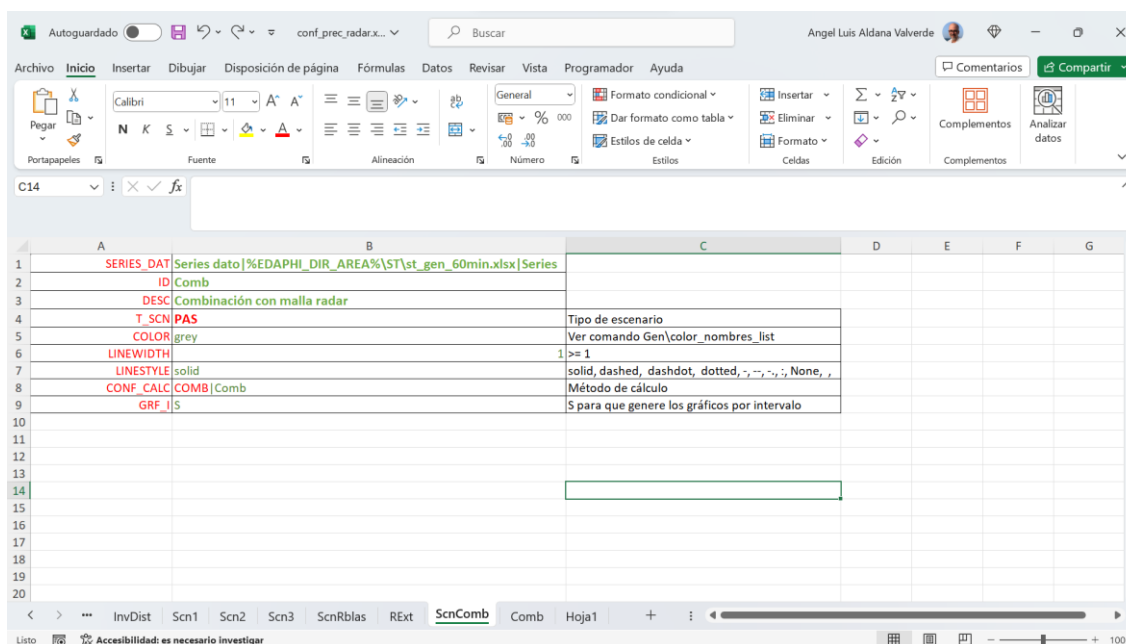


Figura 10-15.- Hoja del escenario de cálculo de combinación de mallas

Entre los detalles estarán las de transformación geográfica de las mallas secundarias, se generarán mallas con características geográficas de las primarias, y del ajuste horario (hora UTC a hora local, por ejemplo).

	A	B	C	D
1	PARÁMETRO	VALOR	EXPLICACIÓN	
2	MET	COMB_CD	Método de combinación	
3	FMT_S	MCIDAS_AREA	Formato de mallas secundarias (radar)	
4	DIR_RAST_P	%EDAPHI_DIR_C%\Res\60min\asc	Carpeta con mallas basadas en pluviómetros (principales, interpoladas)	
5	DIR_RAST_S	C:\EDAPHI\Segura\SH\Res\AcumRad	Carpeta de mallas secundarias (radar)	
6	DIR_P_P	%EDAPHI_DIR_C%\Res\60min\shp	Carpeta con puntos (pluviómetros)	
7	T_REF_S	UTC00>LOCAL	Cambio de referencia horaria de mallas secundarias	
8	CP_MAX	0.9	Valor máximo de confianza	
9	CP_MIN	0.4	Valor mínimo de confianza	
10	ED_MAX	0.5	Valor máximo de exponente de discrepancia	
11	ED_MIN	0.2	Valor mínimo de exponente de discrepancia	
12	CP_D01_KM	15	Distancia para que se alcance el 1 % del rango en la exponencial ($v_{min} + 0.01 (v_{max} - v_{min})$)	
13	ED_D01_KM	5	Distancia para que se alcance el 1 % del rango en la exponencial ($v_{min} + 0.01 (v_{max} - v_{min})$)	
14	TRANSF_DAT	AEMET	Método de transformación de archivo Area.	
15	COEF_A_S	1	Coefficiente a de transformación de valores de S ($ax+b$) si se aplica método LIN	
16	COEF_B_S	0	Coefficiente b de transformación de valores de S ($ax+b$) si se aplica método LIN	
17	X_MIN_S_ORIG	-12	Coordenadas del archivo Area Mcidas de mallas S	
18	X_MAX_S_ORIG	6		
19	Y_MIN_S_ORIG	33		
20	Y_MAX_S_ORIG	47		
21	CRS_F CRS_T	4326 25830	Indicador de sistema de proyección original y transformado (EPGS/CRS) para la extracción de las mallas S	

Figura 10-16.- Detalles de la configuración del cálculo de combinación de mallas

10.5.5 Configuración de mapas por intervalo

Los mapas son configurables a través de archivos XLSX que incluye las explicaciones para cada parámetro de cálculo o funcionamiento.

Así, para los gráficos de mallas por intervalo, se cuenta con el archivo *conf_mapa_int.xlsx*.

	A	B	C
2	DPI_SAVE.PNG	300	Períodos por pulgada (72, 96, 160, 300, ...)
3	RASI_ARCH		El archivo será establecido por la aplicación
4	RASI_NAME	PREC_INT	
5	RASI_VMAX_COLOR_T		Será establecido por la aplicación
6	RASI_VMIN_COLOR_T	0	
7	RASI_COLOR_MAP	jet	ver comando color_mapas
8	VECT_1_NAME	VEC_AREAS	valor indicado en la configuración (conf_prec.xlsx)
9	VECT_1_ARCH		Será establecido por la aplicación
10	VECT_1_TYPE	line	
11	VECT_1_COLOR	gray	ver comando color_nombres
12	VECT_1_SIZE	1	
13	VECT_2_NAME	Rios	
14	VECT_2_ARCH	%EDAPHI_DIR%\SIG\tramos_prec.shp	
15	VECT_2_TYPE	line	
16	VECT_2_SIZE	1	
17	VECT_2_COLOR	black	ver comando color_nombres
18	VECT_3_NAME	NOD_P	
19	VECT_3_ARCH		Será establecido por la aplicación
20	VECT_3_TYPE	point	
21	VECT_3_SIZE	4	
22	VECT_3_COLOR	black	ver comando color_nombres
23	VECT_4_NAME	POL_CONT	valor indicado en la configuración (conf_prec.xlsx)
24	VECT_4_ARCH		Será establecido por la aplicación
25	VECT_4_TYPE	line	
26	VECT_4_SIZE	2	
27	VECT_4_COLOR	black	ver comando color_nombres

Figura 10-17.- Configuración de mapas por intervalo

10.5.6 Configuración de mapas de agregaciones

Para la configuración de los mapas de valores agregados se cuenta con otro archivo: *conf_mapa_ag.xlsx*

	A	B	C
2	DPI_SAVE.PNG	300	Períodos por pulgada (72, 96, 160, 300, ...)
3	RAST_ARCH		El archivo será establecido por la aplicación
4	RAST_NAME	PREC_AG	
5	RAST_VMAX_COLOR_T		Será establecido por la aplicación
6	RAST_VMIN_COLOR_T	0	
7	RAST_COLOR_MAP	jet	ver comando color_tablas
8	VECT_1_NAME	VEC_AREAS	Valor indicado en la configuración (conf_prec.xlsx)
9	VECT_1_ARCH		Será establecido por la aplicación
10	VECT_1_TYPE	line	
11	VECT_1_COLOR	gray	
12	VECT_1_SIZE	1	ver comando color_nombres
13	VECT_2_NAME	Tramos	
14	VECT_2_ARCH	%EDAPHI_DIR%\SIG\tramos_prec.shp	
15	VECT_2_TYPE	line	
16	VECT_2_SIZE	1	
17	VECT_2_COLOR	black	ver comando color_nombres
18	VECT_3_NAME	Pluviómetros	
19	VECT_3_ARCH	%EDAPHI_DIR%\SIG\nod_P.shp	
20	VECT_3_TYPE	point	
21	VECT_3_SIZE	1	
22	VECT_3_COLOR	black	ver comando color_nombres
23	VECT_4_NAME	POL_CONT	Valor indicado en la configuración (conf_prec.xlsx)
24	VECT_4_ARCH		Será establecido por la aplicación
25	VECT_4_TYPE	line	
26	VECT_4_SIZE	1	
27	VECT_4_COLOR	black	ver comando color_nombres

Figura 10-18.- Configuración de mapas de agregaciones

10.5.7 Cálculos de un intervalo a partir de un archivo de puntos

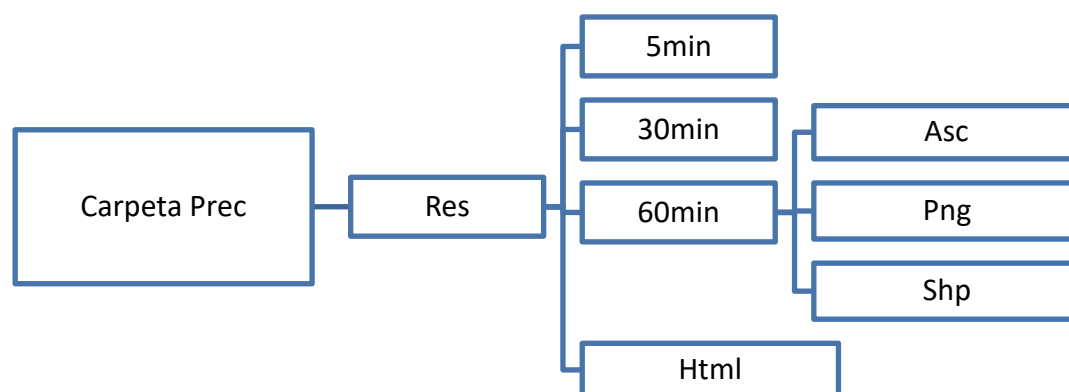
Se cuenta con la posibilidad de realizar cálculos a partir de un archivo de puntos. Esto puede resultar útil cuando se desea hacer pruebas con los parámetros de interpolación, por ejemplo. El archivo se situará en la carpeta *Prec* y será denominado *de_xlsx.xlsx*. Su formato es simple: una sola hoja con una tabla, que incluya encabezados, cuyas columnas serán identificador, nombre, coordenadas y valor de cada punto (una fila por punto). El comando de ejecución es *de_xlsx* y generará archivos de resultados en la raíz de la carpeta *Res* con nombres *de_xlsx.** (como *de_xlsx.asc*).

ID	DESC	XETRS89	YETRS89	Val
01A01P1	Pluviómetro en Río Segura - Contrapada	656783.2	4208373	63
01A02P1	Pluviómetro en Boniscornia	661061.2	4205696	64
01A03P1	Pluviómetro en Murcia (Autovía)	663673.2	4205209	62
01A04P1	Pluviómetro en Murcia (La Fica)	665826	4205610	63
01E01P1	Pluviómetro en Embalse de La Cierva	632705.2	4213674	66
01E02P1	Pluviómetro en Embalse de Santomera	667631.3	4218027	63
01E03P1	Pluviómetro en Embalse de Pliego	629539.2	4205189	67
01E04P1	Pluviómetro en Embalse de Doña Ana	626888.2	4209221	62
01E06P1	Pluviómetro en Embalse de José Bautista	648049	4193328	63
01E07P1	Pluviómetro en Embalse de Los Rodeos	649676.2	4211952	66
01L01P1	Pluviómetro en Canal de Crevillente - Cabecera	669095.4	4223703	68
01M01P1	Pluviómetro Ametse Majal Blanco	657456	4193867	65
01O02P1	Pluviómetro en Río Pliego	631855.2	4208901	65
01O03P1	Pluviómetro en Río Mula	643545.2	4210430	68
01O04P1	Pluviómetro en Rbla Salada	652289.2	4206265	65
01O05P1	Pluviómetro en Río Guadalentín - El Palmar	661741.1	4201246	61
01O06P1	Pluviómetro en Río Guadalentín - Paredón de Tolana	635832.8	4176387	62
01P02P1	Pluviómetro en Caserio Gebas	636188	4195655	62
01P03P1	Pluviómetro en Pinar Hermoso	617879.2	4206508	66
01P04P1	Pluviómetro en Baños de Fortuna	665719.4	4232280	64
01U01P1	Pluviómetro en Impulsión de Alhama	641444	4193238	66
02A01P1	Pluviómetro en Río Segura - Almadenes	626351.4	4233214	66
02A02P1	Pluviómetro en Río Segura - Qüé	645423.2	4225680	63

Figura 10-19.- Archivo de_xlsx.xlsx con datos de puntos

10.6 Resultados

Prec puede generar un gran número de resultados, según cómo se especifiquen los escenarios de cálculos. Así, por ejemplo, cabe diferenciar escenarios según discretizaciones temporales o fuentes distintas de datos de pluviómetros, con lo que la estructura de resultados se ajustaría al siguiente esquema



Las carpetas 5min, 30min y 60min (a modo de ejemplo) se corresponden a escenarios (configurable) de diferentes discretizaciones temporales y comparten estructura. Esto es configurable según el caso. Dependerá de la discretización temporal de las series asociadas a los pluviómetros, parámetros de cálculo u otras alternativas (escenarios, ver 8.2.6).

En la raíz de la carpeta *Res* se almacenan los archivos GIF con animaciones, las máscaras para cálculos (ver 10.5.2 y 10.5.3) y resultados de cálculo cuando se emplea el comando *de_x/sx*.

En cada subcarpeta de resultados pueden encontrarse los archivos *areaes.xlsx*, *areaes.csv* y las mallas de agregaciones.

Las carpetas *asc* almacenan las mallas resultantes en formato texto, las *png* en formato gráfico y las *shp* almacenan los puntos de dato de cada intervalo.

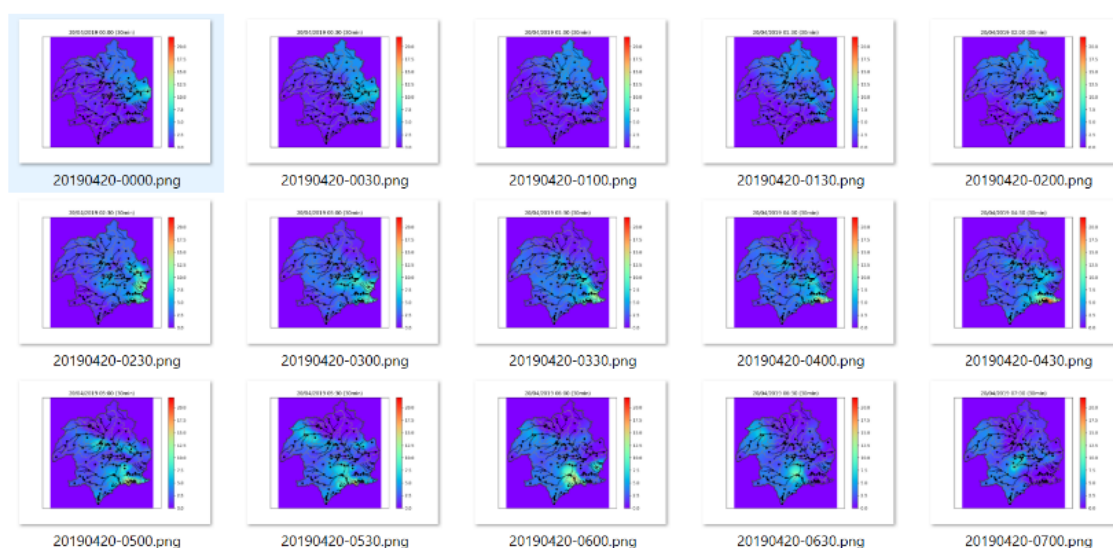
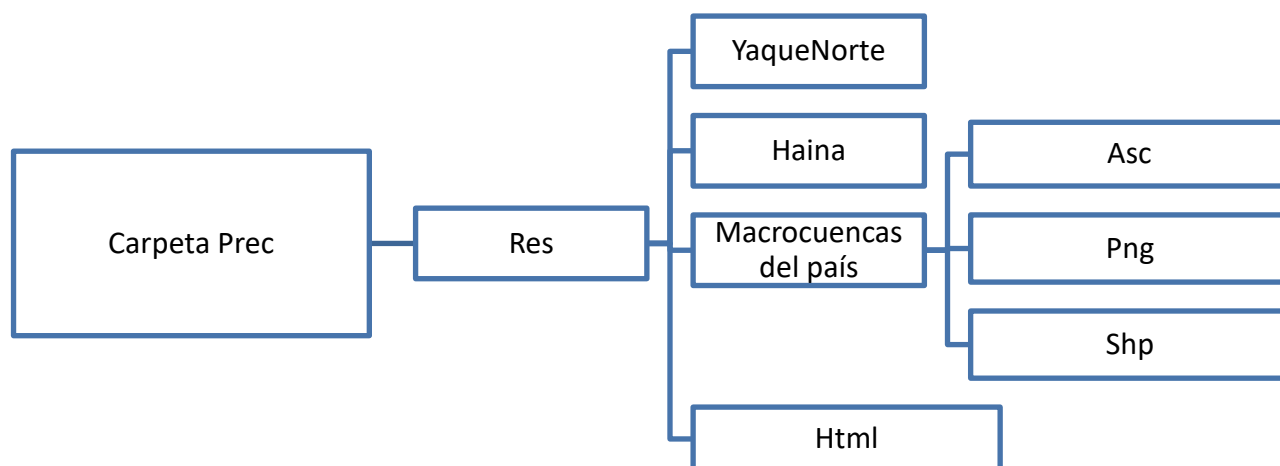


Figura 10-20.- Colección de gráficos PNG de resultado de los cálculos

Por citar otro ejemplo, cabe distinguir escenarios según diferentes capas de áreas:



En este caso, el único escenario en el que se calculan las mallas, por interpolación, es el de *Macrocuencas*. Los escenarios *YaqueNorte* y *Haina*, que se corresponden con cuencas divididas a su vez en subcuencas, usarán las mallas como "externas" (ver detalles de configuración), y sus cálculos asociados serán sólo de valores areales.

En el caso de que se recurra al cálculo de combinación de mallas, de añadirá una subcarpeta más a la Res, con contenido similar al de un escenario de interpolación, pero con la salvedad de que las mallas resultado (carpetas *asc* y *png*) incluirán, para cada intervalo de tiempo, tanto las mallas secundarias (radar) transformadas como las resultado (combinación).

10.6.1 Resultados agregados

El módulo calcula los valores acumulados y los máximos en cada celda para todo el tiempo (todos los intervalos) comprendido en todo el periodo de cálculos (el de los archivos de la carpeta *ST* general de EDAPHI).

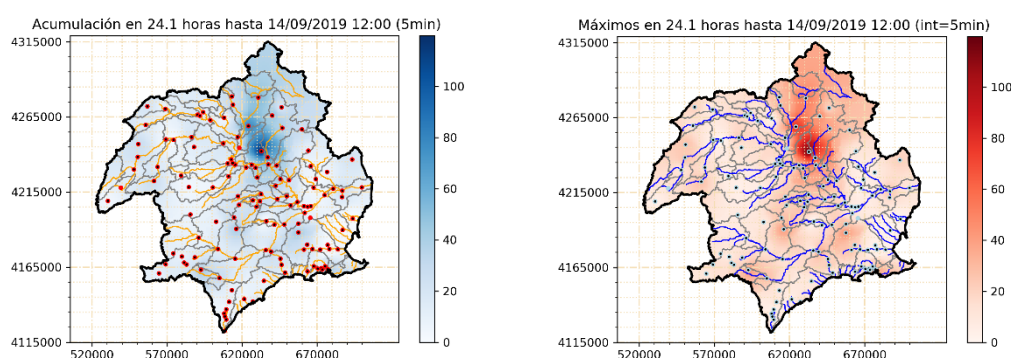


Figura 10-21.- Mapas de resultados de valores agregados en formato matricial / raster

Los mismos resultados, con el uso de comandos generales, pueden obtenerse los resultados agregados en subcuencas (valores areales):

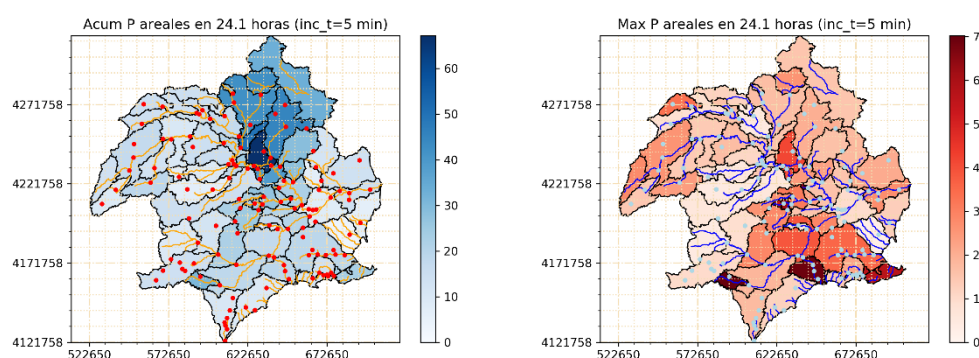


Figura 10-22.- Mapas de resultados de valores agregados en subcuencas (formato vectorial)

10.7 Carpeta SIG

La carpeta *Prec\Sig* puede usarse también, por ejemplo, para almacenar algunos proyectos QGIS que sirven para ilustrar datos SIG de entrada o algunos resultados, tales como el siguiente, derivado del uso del comando *de_xlsx*:

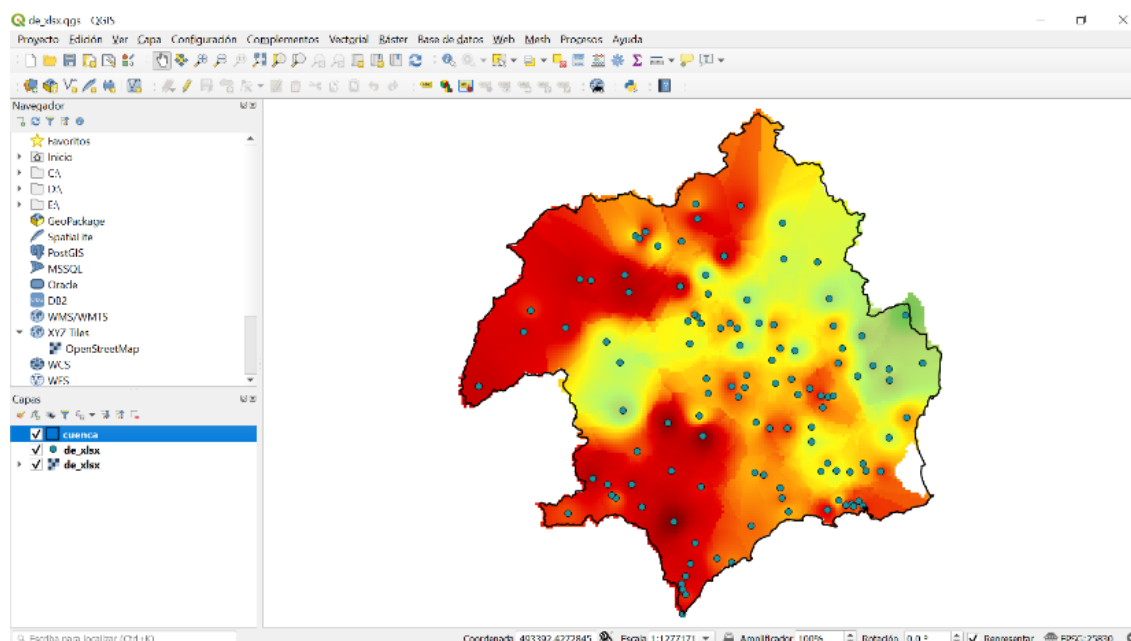


Figura 10-23.- Ejemplo de proyecto QGIS para visualizar resultados

Se recomienda usar esta carpeta como recurso adicional de documentación de los trabajos de implementación de la solución.

10.8 Comandos

Las opciones de uso interactivo del módulo *Prec* son:

```
Argumentos:
Obligado:
  xlsx_conf=Nombre del archivo de configuración completo
Acciones:
  -list_s: Muestra un listado de áreas
  -list_p: Muestra un listado de pluviómetros
  -crea_masc_areas: Crea la máscara de áreas
  -scn_all: Realiza todas las operaciones para un escenario
             iscn=: Índice de escenario
  -all: Realiza todas las operaciones para todos los escenarios
  -plot_s: Muestra una ventana con resultado de cálculo
             inod=Número de nodo areal (usar comando -list_s)
  -calc_r_i: Calcula la malla de un intervalo
             iscn=: Índice de escenario
             it=: Índice del intervalo
  -calc_r_a: Calcula las mallas de todos los intervalos
             iscn=: Índice de escenario
  -calc_a_i: Calcula valores areales de un intervalo
             iscn=: Índice de escenario
             it=: Índice del intervalo
```

```

-calc_a_a: Calcula valores areales de todos los intervalos
    iscn=: Índice de escenario
-calc_acum: Calcula malla de acumulaciones de todos los intervalos
    iscn=: Índice de escenario
-calc_max: Calcula malla de máximos de todos los intervalos
    iscn=: Índice de escenario
-grf_r_i: Genera el gráfico de mapa de la malla de un intervalo
    iscn=: Índice de escenario
    it=: Índice del intervalo
-plot_r_i: Muestra una ventana de mapa de la malla de un intervalo
    iscn=: Índice de escenario
    it=: Índice del intervalo
-plot_r_a: Muestra una ventana con animaciones de mapa de la mallas
en intervalo
    iscn=: Índice de escenario
    inter_s=: Intervalo de tiempo de pausa
-grf_r_a: Genera los gráficos de mapa de todas las mallas
interpoladas
    iscn=: Índice de escenario
-grf_acum: Genera el gráfico de la malla de acumulaciones
    iscn=: Índice de escenario
-plot_acum: Muestra una ventana de mapa de la malla de acumulaciones
    iscn=: Índice de escenario
-grf_max: Genera el gráfico de la malla de máximos
    iscn=: Índice de escenario
-plot_max: Muestra una ventana de mapa con la malla de máximos
    iscn=: Índice de escenario
-grf_stats_a: Genera el gráfico de estadísticas de areales
    iscn=: Índice de escenario
-plot_stats_a: Muestra una ventana con el gráfico de estadísticas de
areales
    iscn=: Índice de escenario
-prep_html: Prepara los archivos para publicación HTML
-test_call_extern
    * Añadir -recalc si se desea recalculer intervalos (-calc_r_a, -
scn_all, -all)
-----
Ejemplos:
-calc_r_i it=0 iscn=0 xlsx_conf=conf_prec.xlsx
-calc_acum iscn=0 xlsx_conf=conf_prec.xlsx
-calc_max iscn=0 xlsx_conf=conf_prec.xlsx
-calc_a_a iscn=2 xlsx_conf=conf_prec.xlsx
-all -recalc xlsx_conf=conf_prec.xlsx
-plot_r_i iscn=0 it=0 xlsx_conf=conf_prec.xlsx
-plot_r_a iscn=0 xlsx_conf=conf_prec.xlsx inter_s=0.5
-plot_max iscn=1 xlsx_conf=conf_prec.xlsx
-grf_stats_a iscn=0 xlsx_conf=conf_prec.xlsx
-plot_s inod=130 xlsx_conf=conf_prec.xlsx

```

Prec se apoya en un módulo Python denominado *interp_rast*, al cual también se da acceso de forma interactiva para dar opción a algunas de sus funcionalidades:

```

Argumentos:
-test: Realiza un test de funcionamiento con datos aleatorios
-crea_masc: Crea la máscara para el contorno. La interpolación se
realizará en el interiorde los polígonos de la capa. (ver también comando
rast_vect)

```

```

n_xlsx_conf=: Nombre del archivo XLSX de configuración (de
donde se lee la definición geométrica del raster)
n_asc_masc=: Nombre de la máscara resultante. (Por defecto
será masc_cont.asc situado en la subcarpeta Res de la carpeta del archivo
de configuración
-xlsx_dat: Calcula un intervalo obteniendo los datos de un archivo
n_xlsx_conf=: Nombre del archivo XLSX de configuración
xlsx_dat=: Nombre del archivo XLSX con los datos (por defecto
será de_xlsx.xlsx)
dir_res=: Directorio de resultados (archivos de_xlsx.asc, png,
...). Por defectos será la subcarpeta Res de la carpeta del archivo de
configuración
n_asc_masc=: Nombre de la máscara a emplear (Por defecto será
masc_cont.asc situado en la subcarpeta dir_res
Ejemplos
-xlsx_dat xlsx_conf=conf_de_xlsx.xlsx xlsx_dat=de_xlsx.xlsx
-crea_masc xlsx_conf=conf_de_xlsx.xlsx

```

El módulo *prec_comb* admite las mismas opciones que el módulo *prec*. Si se desea calcular las interpolaciones y después la combinación de mallas hay que usar dos órdenes, que pueden ser algo como lo siguiente:

```

ed_cmd prec -all xlsx_conf=conf_prec_radar.xlsx
ed_cmd prec_comb -all xlsx_conf=conf_prec_radar.xlsx

```

10.9 Uso de comandos comunes

Este módulo realiza el cálculo de precipitaciones areales pero genera como resultado solo un archivo XLSX para este tipo de cálculo. Si se desean otros resultados, pueden emplearse archivos de comandos como el siguiente:

```

@echo OFF
REM @A Genera resultados areales (5min, 30min, 60min) en la carpeta
%EDAPHI_DIR%\Html\Prec y %EDAPHI_DIR%\Prec\Res con ts_util
Echo ^<^|^>
Echo ^<^|^> * Comando de caso %0 en el entorno de la aplicación
%EDAPHI_Ap%
Echo ^<^|^>
for %d in (5min, 30min, 60min) do (
    Rem Generación de gráficos matriciales de resultados areales
    echo ^<^|^> * Llamada a ts_util desde %0
    call ed_cmd ts_util -w_grd_s cmap=aemet_p_mod_%d
    csv=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\%d\areales.csv attrib=P
    dir_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\Prec\Grf\%d title="Lluvias areales
    calculadas"
    Rem Cálculo de series de estadísticas a lo largo del tiempo de
    los valores areales
    echo ^<^|^> * Llamada a ts_stats desde %0
    call ed_cmd ts_stats -stats_t /c
    csv=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\%d\areales.csv
    dir_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\%d attrib=P
    Rem Generación de gráfico de las estadísticas
    echo ^<^|^> * Llamada a ts_util desde %0

```

```

    call ed_cmd ts_util -w_tv_s
csv=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\%d\areales.Stats_t-P.csv title="Valores
representativos" dir_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\Prec\Grf\%d
    Rem Cálculo de valores representativos
    echo ^<^|^> * Llamada a ts_stats desde %0
    call ed_cmd ts_stats -stats /h
csv=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\%d\areales.csv
arch_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\Prec\areales.Stats-%d.html attrib=P
arch_css=" ../cmn/edaphi.css"
)

```

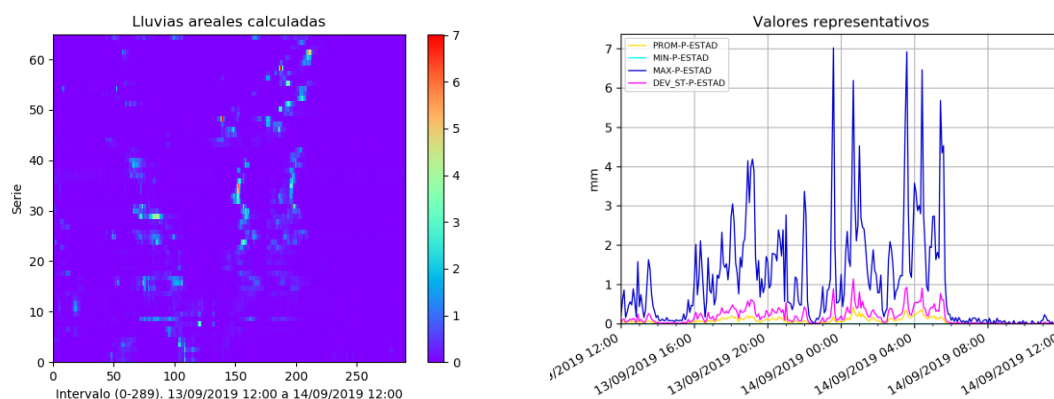


Figura 10-24.- Ejemplos de resultados gráficos obtenidos con archivos de comandos comunes para Prec

En el caso concreto de que se deseen mapas de precipitaciones areales:

```

@echo OFF
REM @A Genera resultados areales en %EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res con
map_cts
Echo ^<^|^>
Echo ^<^|^> * Comando de caso %0 en el entorno de la aplicaciøn
%EDAPHI_Ap%
Echo ^<^|^>
for %d in (5min, 30min, 60min) do (
    echo ^<^|^> * Llamada a ctm desde %0
    Rem El siguiente comando genera el mapa de precipitaciones
    areales máximas en subcuencas.
    call ed_cmd map_cts -g_max title="M ximos en 24 horas. IncT=%d.
T0=@t_0@"
arch_conf=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Conf Mapas\conf_mapa_s_max_%d.xlsx
dir_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\%d
arch_ct=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\%d\areales.csv n_sheet=Series
    Rem Las siguientes líneas son para generar todos los mapas de
    areales, intervalo por intervalo
    rem del /Q %EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\%d\png_s\*.png
    rem call ed_cmd map_cts -g_it_a
arch_conf=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Conf Mapas\conf_mapa_s_int.xlsx
dir_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\%d\png_s
arch_ct=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\%d\areales.xlsx n_sheet=Series
)
for %d in (60min) do (
    echo ^<^|^> * Llamada a map_cts desde %0
    Rem El siguiente comando genera el mapa de precipitaciones
    areales acumuladas en subcuencas.
    call ed_cmd map_cts -g_acum title="Acumulaciones en 24 horas.
IncT=%d. T0=@t_0@"

```

```
arch_conf=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Conf_Mapas\conf_mapa_s_acum_%%d.xlsx
dir_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\%%d
arch_ct=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\%%d\areales.csv n_sheet=Series
```

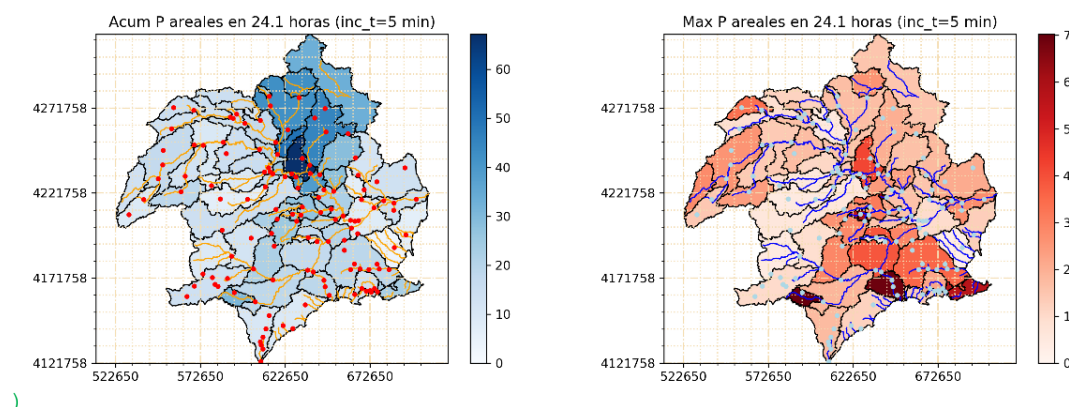


Figura 10-25.- Ejemplos de gráficos de mapas obtenidos con archivos de comandos para Prec

También, de forma análoga a lo indicado en el capítulo de Gen, con los resultados de la aplicación Prec pueden generarse mapas HTML de entidades vectoriales con gráficos de series temporales asociadas. En este caso con entidades tipo polígono (las subcuencas) como puede verse en la siguiente figura:

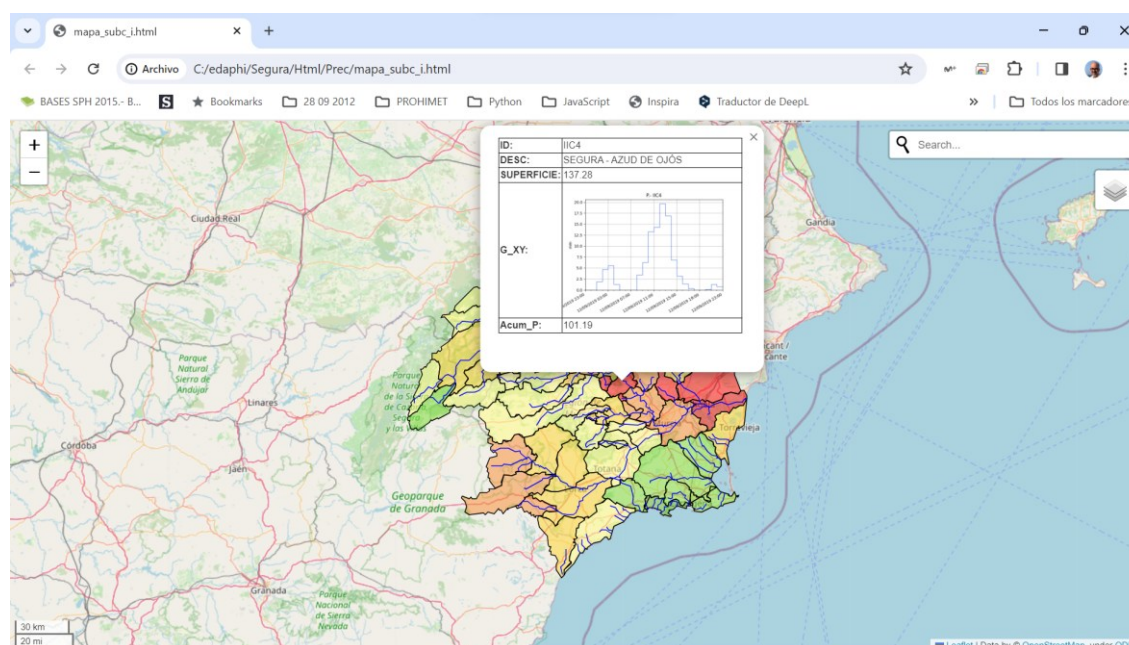


Figura 10-26.- Mapa HTML con gráficos de series temporales asociadas a polígonos. Caso de lluvias areales en subcuencas en la cuenca del Segura.

Pero también se pueden representar en mapas HTML mallas, como la de acumulaciones de lluvia de la siguiente figura:

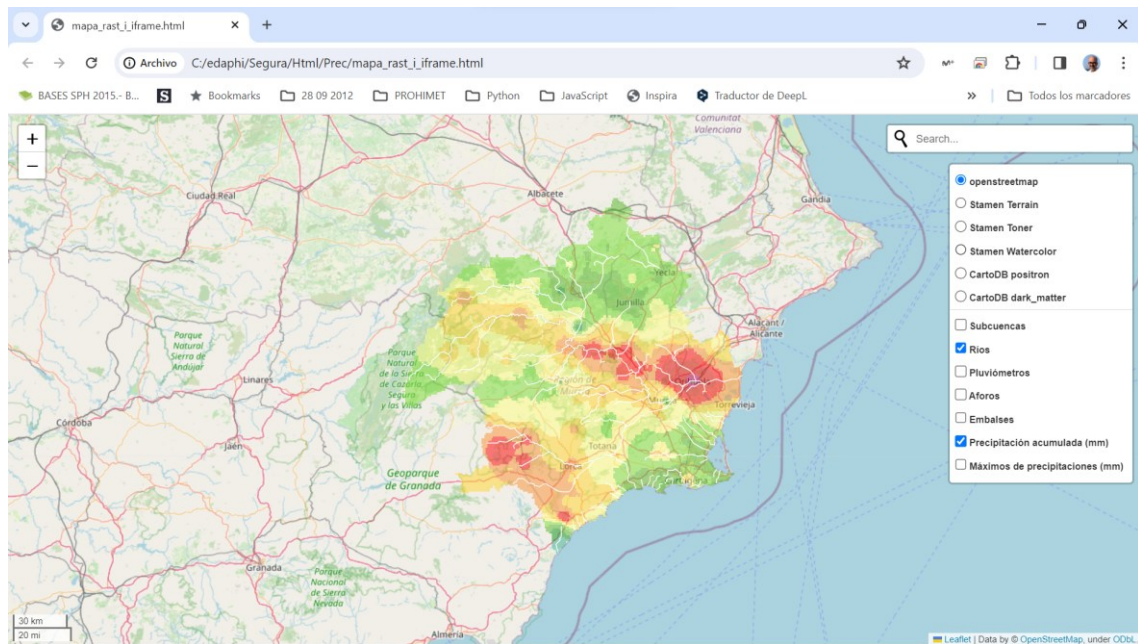


Figura 10-27.- Ejemplo de mapa HTML con la representación de una malla de lluvias

10.10 Instalación

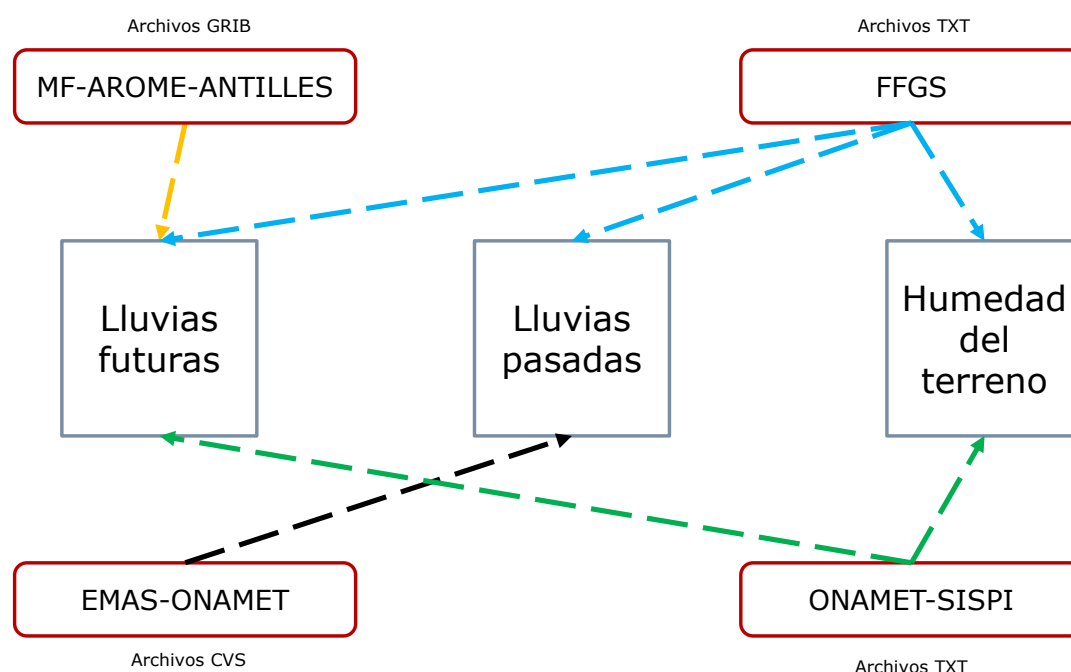
Prec no tiene necesidades especiales de instalación.

11 Familia CHM. Conectores hidrometeorológicos

CHM engloba un conjunto de módulos destinados, fundamentalmente, a enlazar modelos hidrológicos con meteorológicos, obteniendo los resultados de los últimos como entrada para los pronósticos hidrológicos:

- *GMeteo*.- Fue el primer conector desarrollado con la versión V1.0 de EDAPHI. Obtiene información de los modelos Harmoni-Arome de AEMET (España)
- *CMHA*.- Ha sustituido a GMeteo en la actualidad
- *CFFGS*.- Obtiene información de un servidor del Sistema Guía de Crecidas repentinas (Flood Forecasting Guide System)
- *CMF*.- Emplea resultados del modelo Arome de Meteo France
- *CSispi*.- Módulo especialmente diseñado para usar resultados del modelo numérico de predicción del tiempo Sispi que opera en ONAMET (<http://onamet.gob.do/index.php>), la Oficina Nacional de Meteorología de República Dominicana

Estos módulos comparten que pueden acceder a información en varios formatos e incluyen utilidades de descarga vía FTP o HTTP.



Módulos CHM: *CSispi*, *CMF*, *CFFGS*

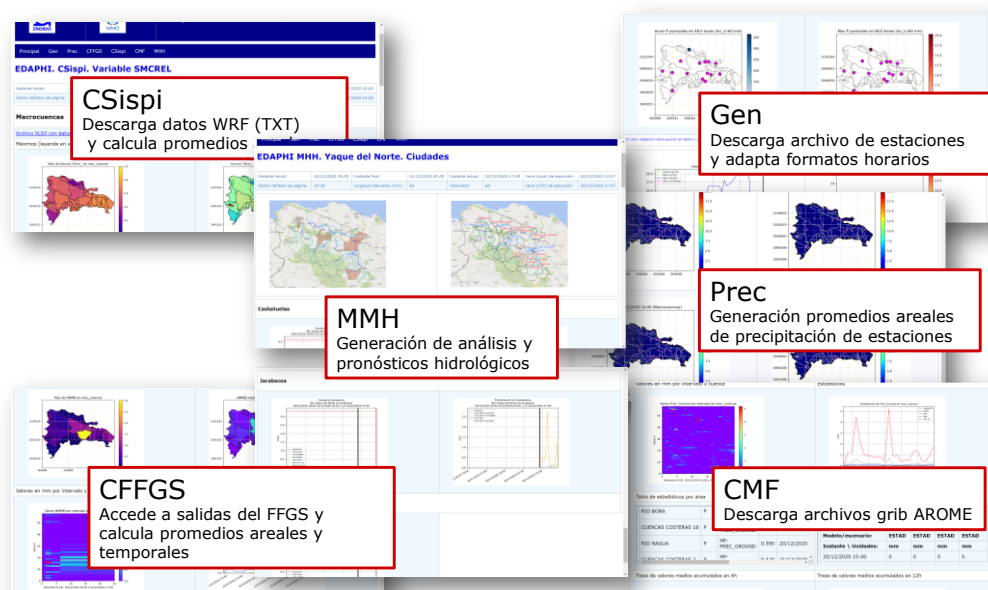


Figura 11-1.- Ejemplos de flujos de datos hacia modelos hidrológicos MHH, gracias a conectores tipo CHM. Caso República Dominicana

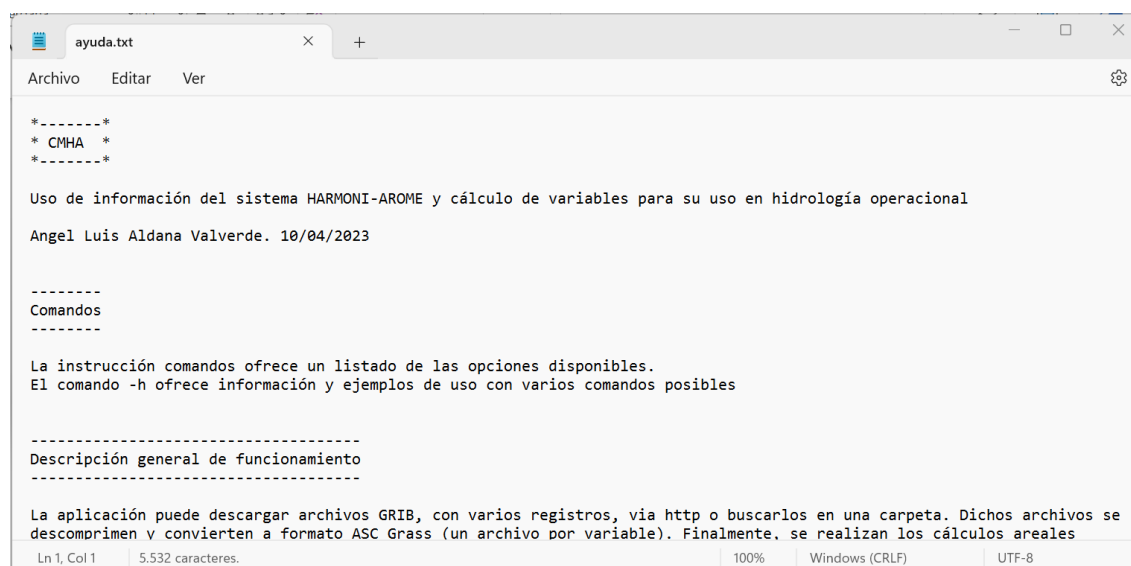
Estos conectores se clasifican en dos grandes grupos:

- Conectores por relación entre entidades vectoriales: Relacionan resultados de un sistema expresados en valores medios areales, los cuales hay que transformar a otra subdivisión del espacio en áreas (otra subdivisión en subcuencas, por ejemplo). Este es el caso del conector CFFGS.
- Conectores por relación raster – vectorial.- En este caso, el origen de la información que se quiere usar está expresado en forma matricial, por lo que el proceso consiste en calcular los valores medios areales en las áreas de interés en función de valores en celda. Es el caso del resto de conectores, distintos del CFFGS, que se describen aquí.

El modo en que se soluciona el último caso es similar al empleado en la aplicación Prec. En el apartado dedicado a CFFGS se explica cómo se soluciona el caso anterior.

Generar conectores para otros casos es sencillo, pues ya se cuenta con desarrollos generales. Los archivos de código de CMHA, CFFGS, CSispi y CMF son casos singulares, con pocas líneas, pues se basan en una clase de programación genérica.

Dado que la configuración de estos módulos es algo singular, el comando `ayuda` ofrece instrucciones paso a paso sobre cómo proceder desde cero en un caso de aplicación.



```

ayuda.txt
Archivo  Editar  Ver

*-----*
* CMHA *
*-----*

Uso de información del sistema HARMONI-AROME y cálculo de variables para su uso en hidrología operacional

Angel Luis Aldana Valverde. 10/04/2023

-----
Comandos
-----

La instrucción comandos ofrece un listado de las opciones disponibles.
El comando -h ofrece información y ejemplos de uso con varios comandos posibles

-----
Descripción general de funcionamiento
-----

La aplicación puede descargar archivos GRIB, con varios registros, via http o buscarlos en una carpeta. Dichos archivos se
descomprimen y convierten a formato ASC Grass (un archivo por variable). Finalmente, se realizan los cálculos areales

Ln 1, Col 1  5.532 caracteres.  100%  Windows (CRLF)  UTF-8

```

Figura 11-2.- Ejemplo de archivo que ofrecen los módulos CHM al usar el comando ayuda

11.1 CMHA. Empleo de mallas GRIB con varias capas. Caso de resultados Harmoni-Arome (AEMET)

El módulo CMHA sustituyó a GMeteo. Hereda su funcionalidad, pero se basa en el conjunto de conectores denominado CHM. Una de las ventajas de este nuevo módulo es que no depende de Gis-Grass, todas las operaciones se realizan con código Python.

11.1.1 Datos

11.1.1.1 Datos temporales

Ha sido diseñado para los casos de pronóstico hidrológico en España, con el escenario futuro principal que se basa en los pronósticos proporcionados por AEMET en formato GRIB del modelo Harmony-Harome.

Cada archivo GRIB almacena un conjunto de capas (16), entre las que se encuentran las de mayor interés hidrológico: lluvia y humedad del terreno. No obstante, la programación está preparada para operar con todas las variables.

11.1.1.2 Capas SIG

La aplicación necesita unos archivos ráster para determinar, geográficamente, las relaciones entre las mallas dato y las áreas (subcuencas, generalmente) en las que calcular valores medios areales.

Cada área debe tener una categoría única (un valor entero). El valor de cada celda del ráster recoge esa categoría indicando así qué área pertenece. El valor -1 (adoptado como valor NULL) indica que la celda no pertenece a ningún área

El sistema de proyección de estos archivos tiene que ser la misma que la del GRIB (WGS 84).

Estos archivos deben ir acompañados de los archivos de relaciones ID-Cats (dato), Los archivos *ID_Cats_*.xls/x*, donde * será el nombre de la capa de áreas en las que calcular resultados, contiene la relación entre categorías (números enteros) y nombres de cada área.

Estos archivos pueden ser generados con aplicaciones como Grass. La ayuda en línea (comando *ayuda*) ofrece detalles de cómo realizar esto.

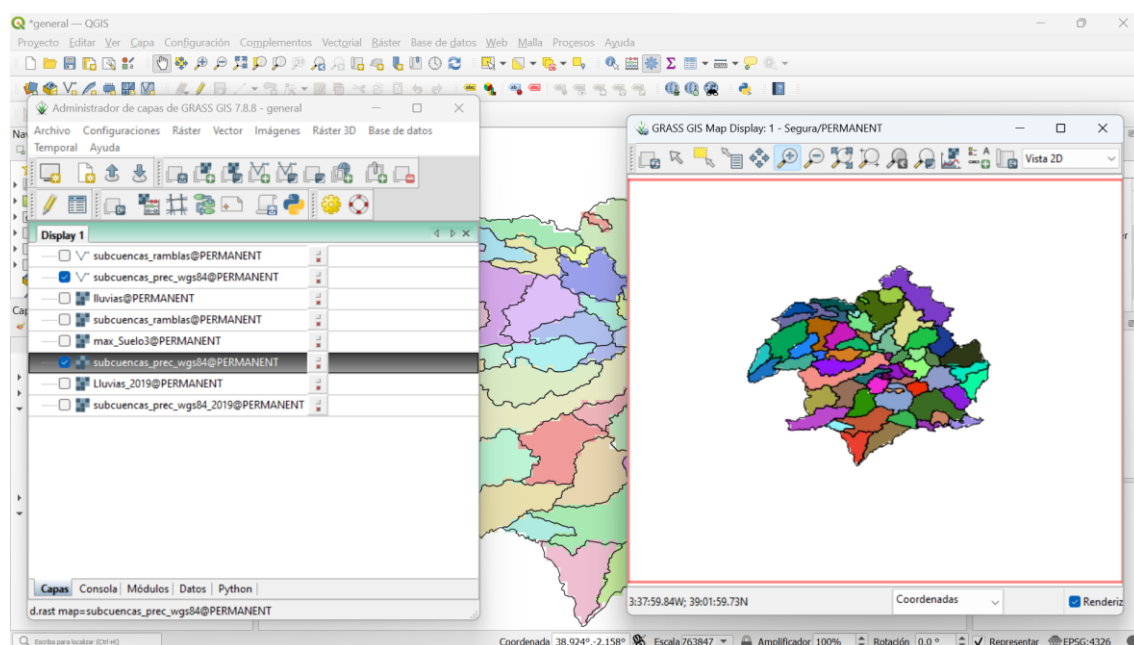


Figura 11-3.- Capas SIG para cálculos de valores areales

11.1.2 Comandos

La orden *ed_cmd cmha* produce el siguiente resultado:

```
Acceso a información del sistema HARMONIE-AROME
Argumento común (excepto para -w_r_grib, s_r_grib y desc_grib):
  ax_conf=: Archivo de configuración
Argumento opcional (sustituye al valor de configuración):
  dir_o=: Carpeta en el que se encuentran los archivos dato
Comandos
Los valores de algunos argumentos como n_hours o n_hours_max
sustituyen a los almacenados en el archivo de configuración
  -info_arch: Devuelve un texto con información sobre archivos
  -list_vars: Muestra las variables
  -desc_grib: Descripción básica de un archivo GRIB. No usa ax_conf
    n_arch=: Nombre del archivo
    n_csv=: (Opcional) Nombre del archivo CSV donde almacenar los
resultados
    n_xlsx=: (Opcional) Nombre del archivo XLSX donde almacenar los
resultados
```

```

/campos: Para que incluya la descripción de los campos por
secciones
-w_r_grib: Muestra un archivo GRIB en una ventana
  n_arch=: Nombre del archivo
  i_rec=: Número de registro (>=1)
  transf=: Texto de transformación (N por defecto, ej:L:3600:0)
-s_r_grib: Busca la malla de una variable en un archivo GRIB y lo
escribe en formato ASC Grass
  n_arch=: Nombre del archivo
  i_rec=: Número de registro (>=1)
  transf=: Texto de transformación (N por defecto, ej:L:3600:0)
  n_asc=: Nombre del archivo resultado
-calc: Descarga los datos más recientes y genera los archivos de
variables de futuro
  hours_b=: Horas a restar al instante más próximo (0 por
defecto)
-calc_t: Descarga los datos correspondientes a t_utc y genera los
archivos de variables de futuro
  t_utc=: Hora UTC como instante actual. Formato aaaammdd-hhmm
(Ej: 20191217-0100
Comandos para operaciones de detalle:
-down_lastnh: Descarga los archivos más reciente
-down_t: Descarga los archivos de una variable correspondientes a un
instante
  t_utc=: Hora UTC como instante actual. Formato aaaammdd-hhmm
(Ej: 20191217-0100
-areal: Genera series en áreas a partir de las mallas descargadas
  id_var=: Nombre de la variable
  i_areas=: Índice de la capa de áreas resultado

Ejemplos:
-list_vars ax_conf=conf_cmha.xlsx
-desc_grib n_arch=C:\EDAPHI\Segura\Histo\2019-09-
12\FicherosHarmoni\fc2019091300+001h00m n_xlsx=desc_grb.xlsx
-w_r_grib n_arch=C:\EDAPHI\Segura\Histo\2019-09-
12\FicherosHarmoni\fc2019091300+001h00m i_rec=13 transf=L:3600:0
-calc ax_conf=conf_cmha.xlsx
-calc_t t_utc=20191121-2100 ax_conf=conf_cmha.xlsx
dir_o=%EDAPHI_DIR AREA%\Histo\2019-09-12
Ejemplos de comandos de detalle
-down_lastnh ax_conf=conf_cmha.xlsx
-down_t t_utc=20191121-2100 ax_conf=conf_cmha.xlsx
-areal id_var=Lluv ax_conf=conf_cmha.xlsx

```

11.1.3 Configuración

Se configura, como el resto de las aplicaciones EDAPHI, con un archivo XLSX autoexplicativo.

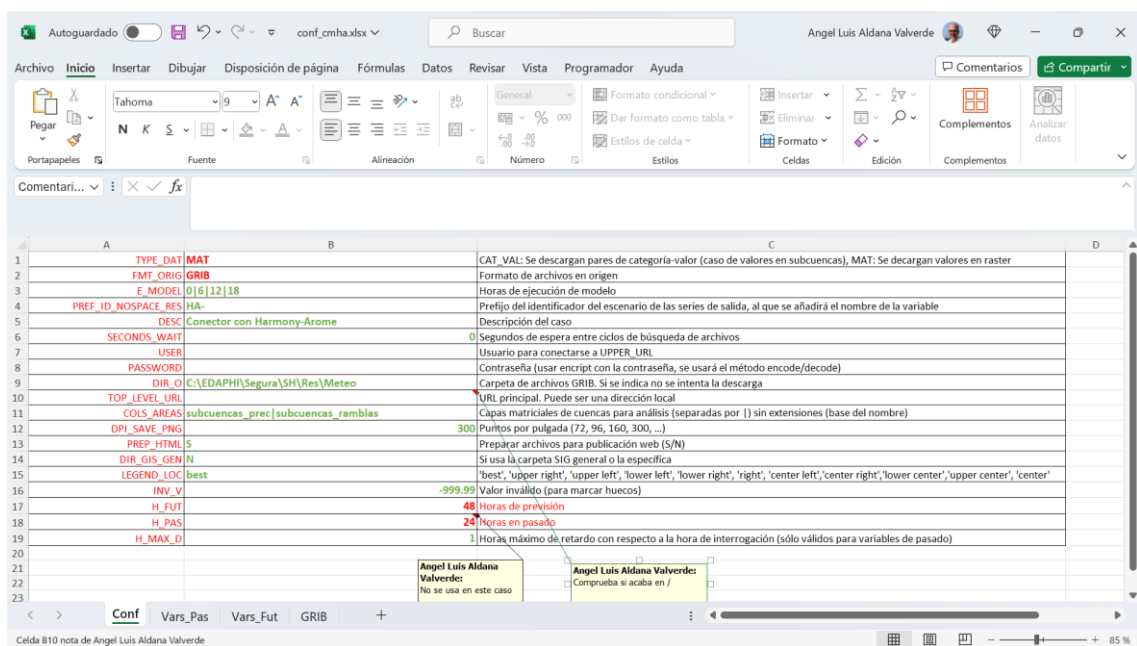


Figura 11-4.- Hoja principal de configuración de CMHA

11.1.4 Manejo de archivos Grib

Usando una instrucción como la siguiente:

```
ed_cmd cmha -desc_grib n_arch= 20190913-0400_01hr.bf.grib
n_xlsx=desc_grib.xlsx
```

Se genera un archivo con una descripción básica del archivo.

i	fmt_version	fmt_id	longitud	Parámetro	Nivel	Año	Mes	Día	hora	Nx	Ny	Lon inf-izq	Lat inf-izq	cel_x	cel_y	X0	XNx	Y0	YNy	Vmin	VMax	VMed
1	1	GRIB	18848	11	2	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	280.331	297.922	288.36
2	1	GRIB	27966	61	0	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	0	259.155	65.161
3	1	GRIB	27966	185	0	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	0	0	0
4	1	GRIB	27966	32	10	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	0.429	14.079	5.559
5	1	GRIB	27966	31	10	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	0.008	359.996	148.136
6	1	GRIB	18848	52	2	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	0.451	1	0.892
7	1	GRIB	18848	245	0	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	-9.547	3.818	-2.25
8	1	GRIB	26196	86	800	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	0.074	0.458	0.36
9	1	GRIB	26196	86	801	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	0.073	0.452	0.233
10	1	GRIB	26196	86	802	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	0.113	0.328	0.203
11	1	GRIB	27966	207	0	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	0	0.062	0.007
12	1	GRIB	18848	181	0	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	0	259.156	65.161
13	1	GRIB	18848	181	0	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	0	0.022	0.001
14	1	GRIB	18848	11	0	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	280.116	299.605	288.086
15	1	GRIB	18848	33	10	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	-13.671	10.44	-1.805
16	1	GRIB	18848	34	10	19	9	12	0	97	94	-2840	37210	25	25	-2.84	-0.44	39.535	37.21	-13.898	7.603	-2.958

Figura 11-5.- Archivo con la descripción de un archivo GRIB usando la opción cmha -desc_grib

Pero, dada la naturaleza del formato GRIB, ya sea 1 o 2, como por el modo en que es usado, es probable que sea necesaria una documentación adicional acerca de las mallas que almacena.

Esa información se incluirá en el archivo de configuración, junto a las especificaciones de las acciones que se desee realizar con cada registro.

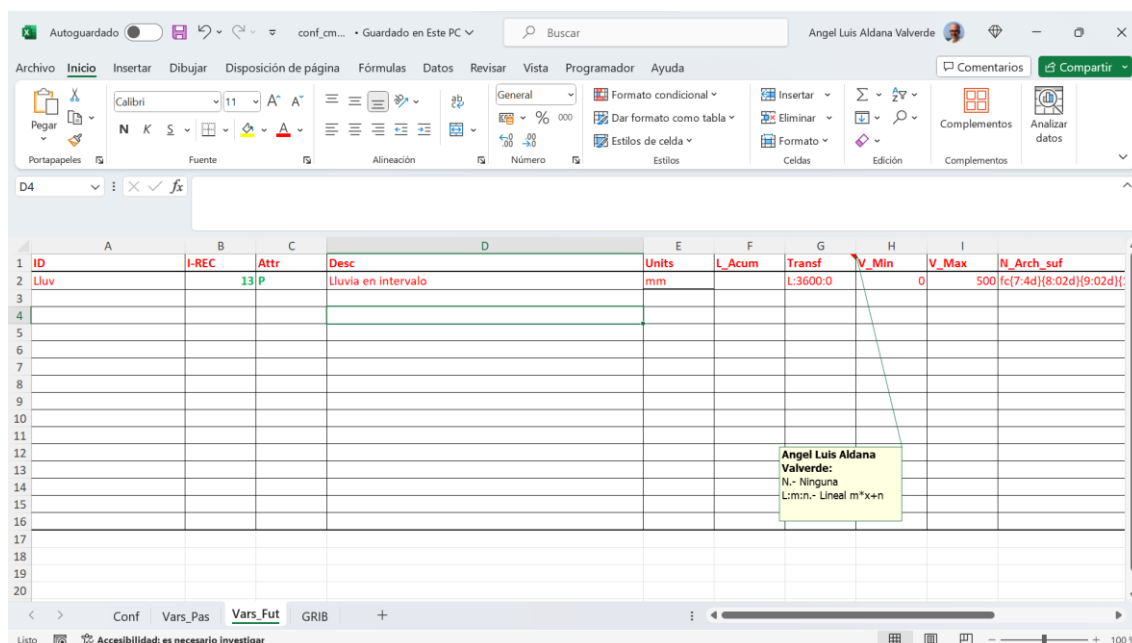


Figura 11-6.- Selección de las capas del archivo GRB con que se desea trabajar con CMHA

I-REC	ID-VAR	DESC	UNIT_O	UNIT_R	Transf	V_Min	V_Max
1	Temp2m	Temperatura 2m	K	o C	L:1-273.15	-60	60
2	PrecTot	Precipitación total	kg m-2	mm	DACUM	0	500
3	PrecSol	Precipitación sólida	kg m-2	mm	DACUM	0	500
4	VVel	10 m Velocidad viento (módulo)	m s-1	m/s	N	0	322
5	VDir	10 m Viento dirección	0-360	grados	N	0	360
6	HRel	2 m Humedad Relativa	%	%	N	0	100
7	Evap	Evaporación	kg m-2	mm	L:1-0 D.ACUM	0	500
8	Suelo1	Humedad del suelo a 0.01 m	kg m-2	mm	N	0	500
9	Suelo2	Humedad del suelo a 1.0 m	kg m-2	mm	N	0	500
10	Suelo3	Humedad del suelo a 1.5 m	kg m-2	mm	N	0	500
11	DElect	Descargas eléctricas(nube-tierra)	km-2-hr-1	km-2/hr-1	N	0	500
12	LluevAcum	Lluvia acumulada	kg m-2	mm	N	0	500
13	Lluev	Lluvia en intervalo	kg m-2 s-1	mm	L:3600:0	0	500
14	Temp	Temperatura de la superficie	K	o C	L:1-273.15	-60	60
15	VVelU	10 m Velocidad viento componente u	m s-1	m/s	N	-322	322
16	VVelV	10 m Velocidad viento componente v	m s-1	m/s	N	-322	322

Figura 11-7.- Hoja de descripción del listado de variables de los archivos GRIB

Para el manejo de archivos GRIB puede ser útil emplear alguna utilidad adicional, como el software WGRIB de NPC-NWS-NOAA (National Prediction Center-National Weather Center - National Oceanic and Atmospheric Administration, <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/wgrib.html>), aunque aporta poco a lo incluido en CMHA.

11.1.5 Resultados

El comando básico genera archivos en formatos CSV, XLSX, ASC (mallas) y un XML para exportar al sitio de publicación web, pero no salidas gráficas. Estas funcionalidades quedan delegadas en las utilidades comunes.

11.1.5.1 Algunos ejemplos de comando comunes

Se muestran varios ejemplos de contenido de archivos CMD que pueden ser usados para generar archivos gráficos u otros para la consulta o publicación de resultados.

Así, por ejemplo, en el caso del SAIH Segura se usa el siguiente archivo de comandos para generar resultados:

```
@echo off
rem @A Genera resultados para Html en carpeta
%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\CMHA. Llama a map_html_res
Rem Generación de gráficos y tablas

for %%a in (nod_S_Area,subcuencas_prec) do (
    for %%v in (Lluv,Suelo3) do (
        rem Genera un gráfico XY de estadísticas por instante
        call ed_cmd ts_stats -stats_t_s
        csv=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.csv
        dir_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\CMHA\grf title="Estadísticas de %%v en %%a"
        rem Guarda una matriz de datos en un archivo PNG
        if "%%v"=="Lluv" (
            call ed_cmd ts_util -w_grd_s
            csv=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.csv
            dir_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\CMHA\grf title="Series %%v por intervalo en
            %%a" cmap=aemet_p_mod
        ) else (
            rem Colores según rainbow
            call ed_cmd ts_util -w_grd_s
            csv=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.csv
            dir_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\CMHA\grf title="Series %%v por intervalo en
            %%a" cmap=gist_rainbow
        )
        rem Estadísticas de series temporales
        call ed_cmd ts_stats -stats /h
        csv=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.csv dir_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\CMHA
        arch_css=" ../cmn/edaphi.css"
        call ed_cmd ts_stats -stats /x
        csv=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.csv
        dir_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\CMHA\arch
        rem Estadísticas de series temporales por instante
```

```

        call ed_cmd ts_stats -stats_t /h
csv=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.csv dir_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\CMHA
arch_css="../../cmn/edaphi.css"
        call ed_cmd ts_stats -stats_t /x
csv=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.csv
dir_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\CMHA\arch
    )
)

Rem Res\Html
xcopy /Y /s %EDAPHI_DIR_C%\Res\Html %EDAPHI_DIR_AREA%\Html\CMHA\

Rem Copia de archivos XLSX y CSV
for %%e in (xlsx,csv) do (
    for %%a in (nod_S_Area,subcuencas_prec) do (
        for %%v in (Lluv,Suelo3) do (
            echo Copiando %EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.%%e en
%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\CMHA\arch
            copy /Y %EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.%%e
%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\CMHA\arch
        )
    )
)

Rem GXY y mallas agregadas (48 horas)
for %%c in (nod_S_Area,subcuencas_prec) do (
    for %%v in (Lluv,Suelo3) do (
        call ed_cmd ts_util -w_tv_a_s /rep_sp
xlsx=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%c_%%v.xlsx nsheet=Series
dir_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\CMHA\Grf\%%v_gxy\%%c
    )
)

    call ed_cmd raster -sum dir_asc=%EDAPHI_DIR_AREA%\CMHA\Res\Lluv\D
pattern=*.asc n_asc=%EDAPHI_DIR_AREA%\CMHA\Res\Lluv\acum_Lluv.asc
    call ed_cmd raster -max dir_asc=%EDAPHI_DIR_AREA%\CMHA\Res\Lluv\D
pattern=*.asc n_asc=%EDAPHI_DIR_AREA%\CMHA\Res\Lluv\max_Lluv.asc
    call ed_cmd raster -max dir_asc=%EDAPHI_DIR_AREA%\CMHA\Res\Suelo3\D
pattern=*.asc n_asc=%EDAPHI_DIR_AREA%\CMHA\Res\Suelo3\max_Suelo3.asc

    rem El mapa se crea desde Gen\Cmd\cmha_html_subint.cmd
    call map_html_res

```

Puede apreciarse que se generan todo tipo de resultados. Además, se apoya en el siguiente archivo (*map_html_res.cmd*) para la generación de mapas HTML interactivos, previo cálculo de mallas agregadas y generación de gráficos:

```

@echo OFF
REM @A Genera mapas HTML de mallas y de subcuencas con graficos GXY en
%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\CMHA\
Echo ^<^|^>
Echo ^<^|^> * Comando de caso %0 en el entorno de la aplicaci3n
%EDAPHI_Ap%
Echo ^<^|^>
call ed_cmd map_cts -h_conf
arch_conf=%EDAPHI_DIR_AREA%\CMHA\Conf_Mapas\conf_mapa_html_cmha.xlsx
arch_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\CMHA\mapa_cmha_i.html %1

```

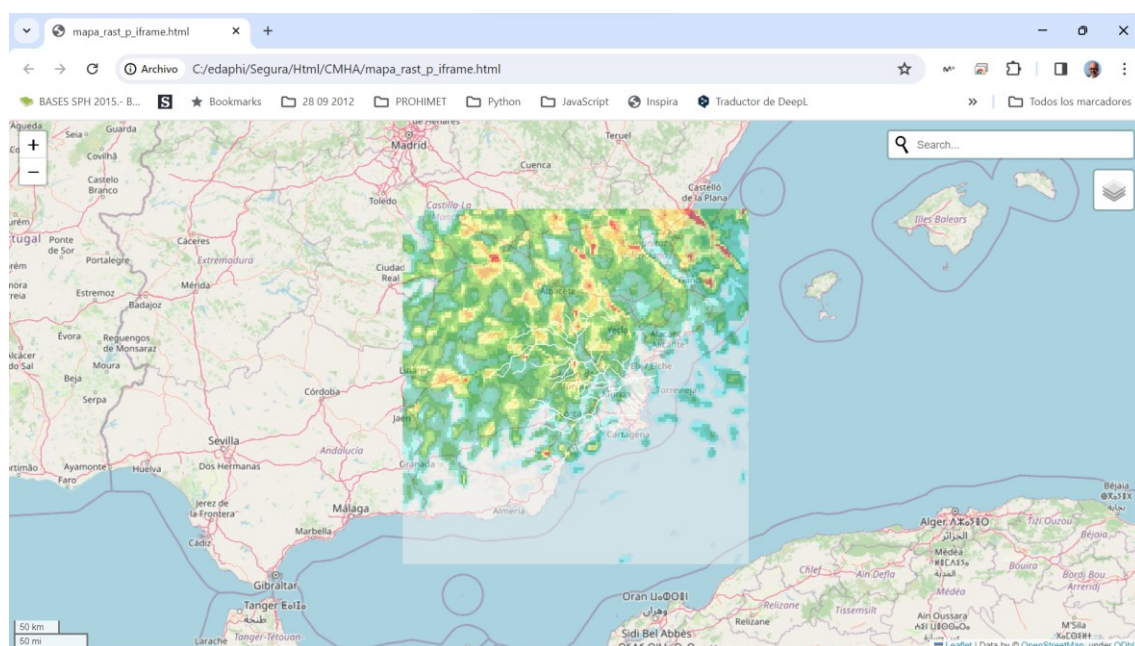



Figura 11-8.- Mapa HTML interactivo generado a partir de los resultados básicos de CMHA.

11.1.6 Listado de archivos

La orden `ed_cmd cmha ax_conf=conf_cmha.xlsx -info_arch` ofrece lo siguiente, que facilita al usuario encontrar información:

* Información de los archivos y carpetas

Dirección base de Internet para descargas:

Ejemplos de nombres de archivos para descarga

Desde C:\EDAPHI\Segura\FicherosHarmoni\fc2020092512+000h00m se
descarga C:\edaphi\Segura-Conda\CMHA\Res\SUELO3\D\20200925-
1200_01hr_SUELO3.asc

Desde C:\EDAPHI\Segura\FicherosHarmoni\fc2020092512+000h00m se
descarga C:\edaphi\Segura-Conda\CMHA\Res\LLUV\D\20200925-
1200_01hr_LLUV.asc

Con los archivos anteriores se generan los de series temporales
similares a:

C:\edaphi\Segura-Conda\CMHA\Res\SUELO3\areas_orig_SUELO3.xlsx

C:\edaphi\Segura-Conda\CMHA\Res\LLUV\areas_orig_LLUV.xlsx

Archivos ráster de áreas de resultados (dato):

C:\edaphi\Segura-Conda\CMHA\Sig\nod_S_Area.grass.asc

C:\edaphi\Segura-Conda\CMHA\Sig\subcuencas_prec.grass.asc

Archivos de relaciones ID-Cats (dato)

C:\edaphi\Segura-Conda\CMHA\Sig\ID_Cats_nod_S_Area.xlsx

C:\edaphi\Segura-Conda\CMHA\Sig\ID_Cats_subcuencas_prec.xlsx

Los resultados de series temporales en áreas:

C:\edaphi\Segura-Conda\CMHA\Res\SUELO3\nod_S_Area_SUELO3.xlsx

C:\edaphi\Segura-Conda\CMHA\Res\LLUV\nod_S_Area_LLUV.xlsx

C:\edaphi\Segura-Conda\CMHA\Res\SUELO3\subcuencas_prec_SUELO3.xlsx

C:\edaphi\Segura-Conda\CMHA\Res\LLUV\subcuencas_prec_LLUV.xlsx


```
Carpeta con archivos GRIB que usa: C:\edaphi\Segura-Conda\CMHA\Grib
Ejemplo de archivo:
C:\edaphi\Segura-Conda\CMHA\Grib\20220417-1200_01hr.bf.grib
```

11.1.7 Instalación

Se instala como un módulo normal.

11.2 Módulo *ec_grib*

Se ha incluido un módulo denominado *ec_grib* que emplea los desarrollos del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (CEMPM / ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. (<https://sites.ecmwf.int/docs/eccodes/>, <https://github.com/ecmwf/eccodes-python>)).

Proporciona un modo más completo y avanzado de manejar archivos GRIB.

La orden `ed_cmd ec_grib` produce la salida con la información de uso:

```
Utilidad para lectura de archivos GRIB basados en eccodes
Comandos
  -desc_grib: Descripción básica de un archivo GRIB. No usa ax_conf
              n_arch=: Nombre del archivo
              n_csv=: (Opcional) Nombre del archivo CSV donde almacenar los
resultados
              n_xlsx=: (Opcional) Nombre del archivo XLSX donde almacenar los
resultados
              /extra: Para que incluya la descripción completa
  -claves: Busca claves GRIB
              n_arch=: Nombre del archivo
```

Así, la instrucción

```
ed_cmd ec_grib -claves n_arch=20190913-0400_01hr.bf.grib
```

genera:

```
espacio de nombres: ls
  edition
  centre
  typeOfLevel
  level
  dataDate
  stepRange
  shortName
  packingType
  gridType
Espacio de nombres: parameter
  centre
  paramId
  units
  name
  shortName
Espacio de nombres: time
```

```

dataDate
dataTime
stepUnits
stepType
stepRange
startStep
endStep
validityDate
validityTime
Espacio de nombres: geography
Ni
Nj
latitudeOfFirstGridPointInDegrees
longitudeOfFirstGridPointInDegrees
latitudeOfLastGridPointInDegrees
longitudeOfLastGridPointInDegrees
iScansNegatively
jScansPositively
jPointsAreConsecutive
jDirectionIncrementInDegrees
iDirectionIncrementInDegrees
gridType
Espacio de nombres: vertical
typeOfLevel
level
pv
Espacio de nombres: mars
levtype
date
time
step
param
Espacio de nombres: statistics
max
min
avg
sd
skew
kurt
const
Espacio de nombres: data
packedValues
Espacio de nombres: grib1
Espacio de nombres: grib2

```

Aunque la información completa se obtiene con una instrucción como

```

ed_cmd ec_grib -desc_grib n_arch=20190913-0400_01hr.bf.grib
n_xlsx=desc_grib_e.xlsx /extra

```

Guardar

Apptos Narrow

11

A

A

Figura 11-9.- Ejemplo de la salida completa del módulo ec_grib

11.3 Otras utilidades generadas sobre la base CMH

Las utilidades que se exponen en este apartado fueron desarrolladas con las versión EDAPHI 2023, aunque siguen pudiéndose usar en la versión actual (2026).

11.3.1 CFFGS. Descarga de información del sistema FFGS y cálculo de variables para su uso en hidrología operacional

La aplicación descarga información del sistema FFGS a través de Internet, vía http, accediendo a archivos de texto de valores en subcuencas.

A partir de esos valores, se construyen series temporales en las mismas subcuencas definiendo colecciones de series temporales de longitud configurable.

A partir de las series anteriores, se calculan las equivalentes en otras áreas (subcuencas).

Las áreas se definen en capas SIG matriciales o ráster y son acompañadas por tablas (almacenadas en archivos XLSX) que relacionan los valores enteros de los ráster con nombres de cada una de las áreas.

Puede realizar transformación de variables, como pasar de valores acumulados a valores por intervalo.

11.3.1.1 Datos

Datos temporales

Los datos de valores por áreas en origen estarán almacenados en archivos de texto en los que en cada fila se indica el identificador de área seguido por el valor de la variable en dicha área.

BASIN	03FMAP12021120711
2004700003	0.00
2004700004	0.00
2004700005	0.00
2004700006	0.00

Estos archivos estarán en una dirección accesible por HTTP, con o sin usuario y contraseña.

Capas SIG

En principio, se parte de dos capas de subcuencas en formato vectorial, una del sistema FGGS y otra de las subcuencas en las que se desea hacer los cálculos.

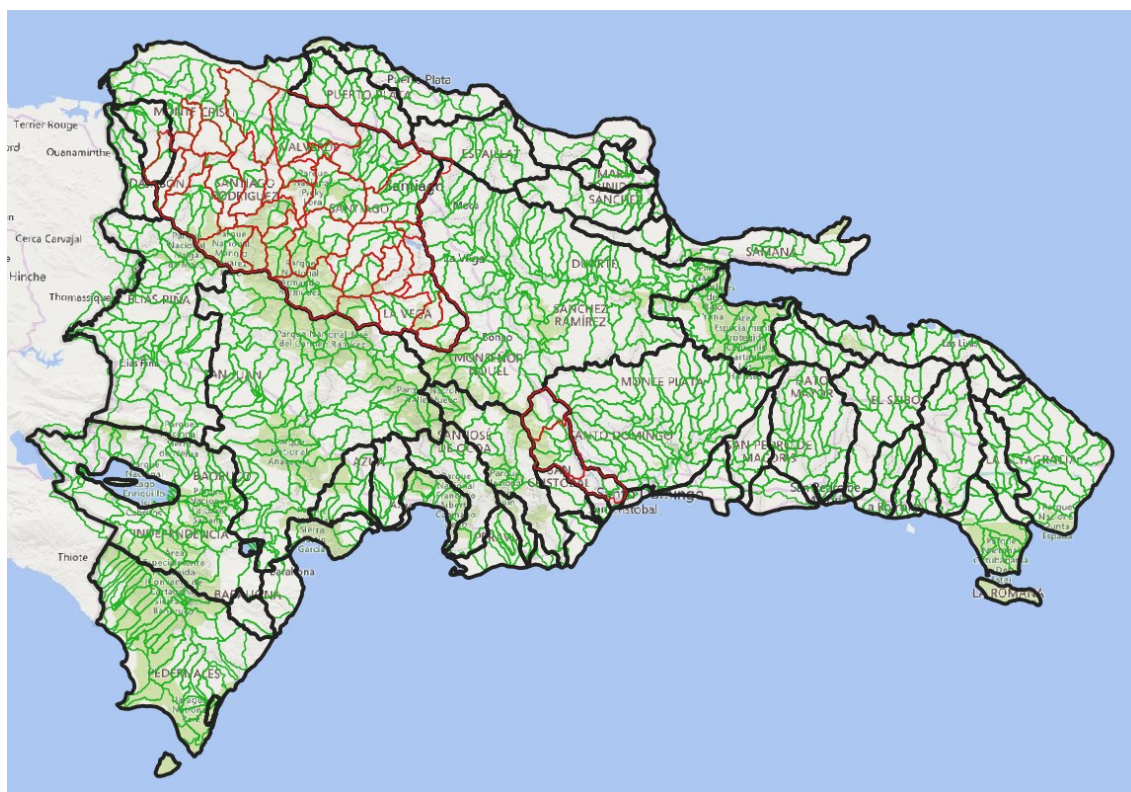


Figura 11-10.- Base SIG de configuración del módulo CFFGS

Siguiendo un proceso como el que se detalla en la ayuda de la aplicación (ver "Comandos"), para el cual será útil una aplicación como Grass, se transformarán en formatos raster, que son los que realmente constituyen los datos de entrada del módulo.

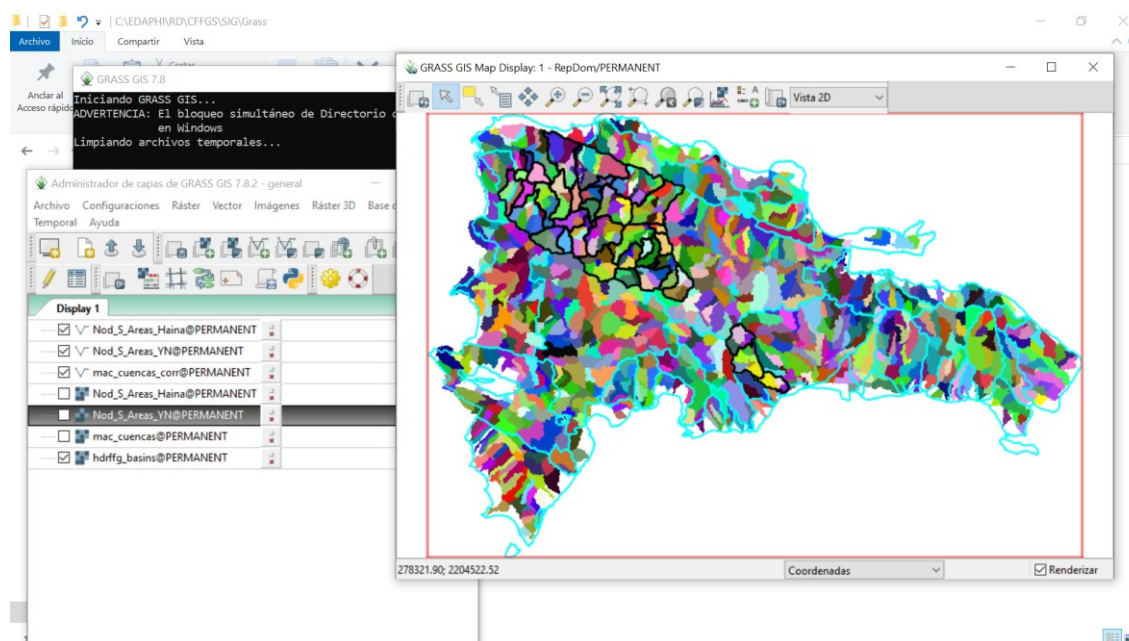


Figura 11-11.- Uso de GIS-Grass como herramienta auxiliar en la configuración

Lo anterior podría solucionarse con los mismos algoritmos que usa la aplicación Prec, pero en este caso se ofrece un modo de realizarlo con GIS-Grass. Según indica la ayuda, en la que `C:\EDAPHI\RD` es la carpeta de área (5.2):

```
1) Importar la capa vectorial a la base de datos Grass
   v.import input=E:\EDAPHI\RD\CFGGS\SIG\mac_cuencas.shp
   layer=mac_cuencas output=mac_cuencas
2) Convertir a raster, usando cat (campo clave numérico entero) como
   valor de celda:
   v.to.rast --overwrite input=mac_cuencas@PERMANENT
   output=mac_cuencas use=cat
3) Exportar los valores clave que se usarán en la hoja ID_Cats del
   archivo de configuración, lo que puede hacerse con un archivo CSV (o
   copiando resultados del comando grass y pegando)
   v.db.select map=mac_cuencas@PERMANENT columns=ID,cat
   separator=comma file=C:\EDAPHI\RD\CMF\SIG\ID_Cats_mac_cuencas.csv --
   overwrite
4) Exportar la capa raster, para lo que puede usarse un comando del
   tipo:
   r.out.ascii -i input=Nod_S_Areas_Haina@PERMANENT
   output=C:\EDAPHI\RD\CFGGS\SIG\Nod_S_Areas_Haina.grass.asc null_value=-1

ATENCIÓN: antes de ejecutar la instrucción v.to.rast hay que asegurar
la definición correcta de la región de Grass. Para ello puede usarse el
comando:
   g.region raster=prec_ground@PERMANENT
En la que prec_ground es una malla importada con las características
deseadas para los ráster
Si se desea cambiar la resolución, puede aplicarse una instrucción tal
como:
   g.region nsres=0.0125 ewres=0.0125
A partir de ahí, cualquier importación de raster o conversión de
raster a vectorial generará archivos conforme a esa resolución
```

Después hay que usar la opción `-tab_cross` que se recoge en el siguiente apartado.

11.3.1.2 Comandos

La instrucción `cffgs -h`, en la ventana de comandos, muestra lo siguiente:

```
Argumento común:
  ax_conf=: Archivo de configuración
Comandos
  Los valores de algunos argumentos como n_hours o n_hours_max
  sustituyen a los almacenados en el archivo de configuración
  -info_arch: Devuelve un texto con información sobre archivos
  -list_vars
  -calc: Descarga los datos más recientes y genera los archivos de
  variables de pasado y futuro
    hours_b=: Horas a restar al instante más próximo (0 por
    defecto)
  -calc_t: Descarga los datos correspondientes a t_utc y genera los
  archivos de variables de pasado y futuro
    t_utc=: Hora UTC como instante actual. Formato aaaammdd-hhmm
  (Ej: 20191217-0100
  -calc_pas: Descarga los datos más recientes y genera los archivos de
  variables de pasado
  -calc_pas_t: Descarga los datos correspondientes a t_utc y genera
  los archivos de variables de pasado
    t_utc=: Hora UTC como instante actual. Formato aaaammdd-hhmm
  (Ej: 20191217-0100
  -calc_fut: Descarga los datos más recientes y genera los archivos de
  variables de futuro
  -calc_fut_t: Descarga los datos correspondientes a t_utc y genera
  los archivos de variables de futuro
    t_utc=: Hora UTC como instante actual. Formato aaaammdd-hhmm
  (Ej: 20191217-0100
  Comandos para operaciones de detalle:
  -down_lastnh: Descarga los archivos más reciente con datos de una
  variable
    id_var=: Nombre de la variable
  -down_t: Descarga los archivos de una variable correspondientes a un
  instante
    id_var=: Nombre de la variable
    t_utc=: Hora UTC como instante actual. Formato aaaammdd-hhmm
  (Ej: 20191217-0100
  -tab_cross: Cruce de capas raster para análisis posteriores
    i_areas=: Índice de la capa de áreas resultado
  -plot_cross: Muestra ventana con mapa raster de un área concreta
    id_area=: Identificador del área (Ejemplo:
    i_areas=: Índice de la capa de áreas resultado
  -cross : Genera series en áreas a partir de las de FFGS
    id_var=: Nombre de la variable
    i_areas=: Índice de la capa de áreas resultado

Ejemplos:
  -list_vars ax_conf=conf_ffgs.xlsx
  -calc_pas ax_conf=conf_ffgs.xlsx
  -calc_fut ax_conf=conf_ffgs.xlsx
  -calc ax_conf=conf_ffgs.xlsx
  -calc_t t_utc=20191121-2100 ax_conf=conf_ffgs.xlsx
Ejemplos de comandos de detalle
  -tab_cross ax_conf=conf_ffgs.xlsx i_areas=0
  -down_lastnh id_var=asm ax_conf=conf_ffgs.xlsx
  -down_t id_var=asm t_utc=20191121-2100 ax_conf=conf_ffgs.xlsx
  -cross id_var=ARW ax_conf=conf_ffgs.xlsx i_areas=1
```


Adicionalmente, cuenta con un comando de ayuda en el que se explica el uso de la aplicación, con especial atención a la configuración.

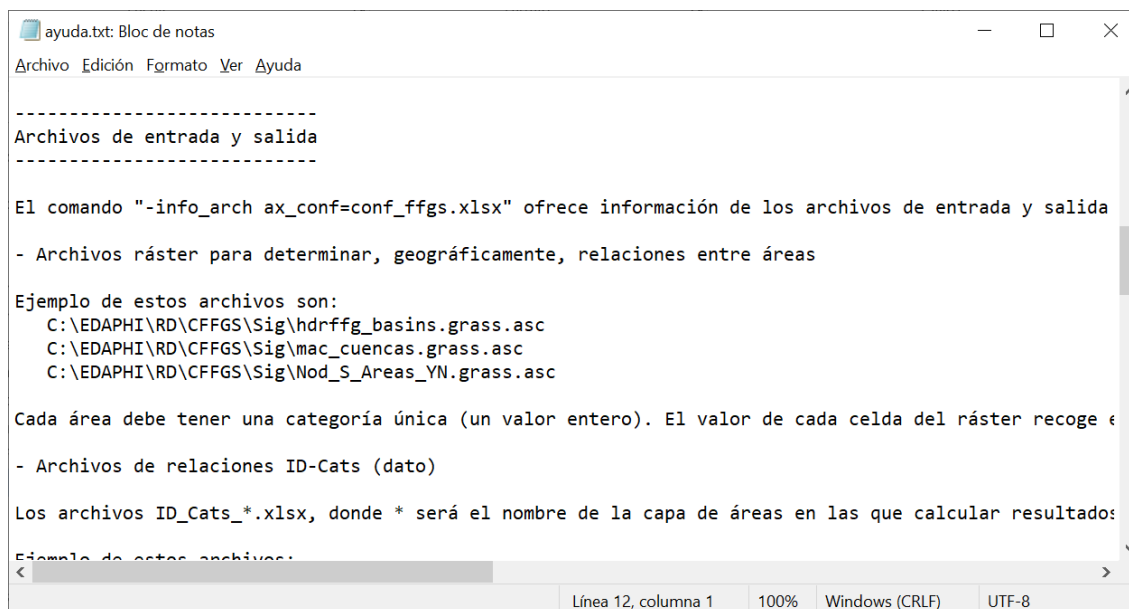


Figura 11-12.- Archivo de ayuda de CFFGS

11.3.1.3 Configuración

El archivo de configuración XLSX cuenta, como el del resto de módulos, con una hoja principal *Conf*. En ella se especifican los valores generales de la aplicación:

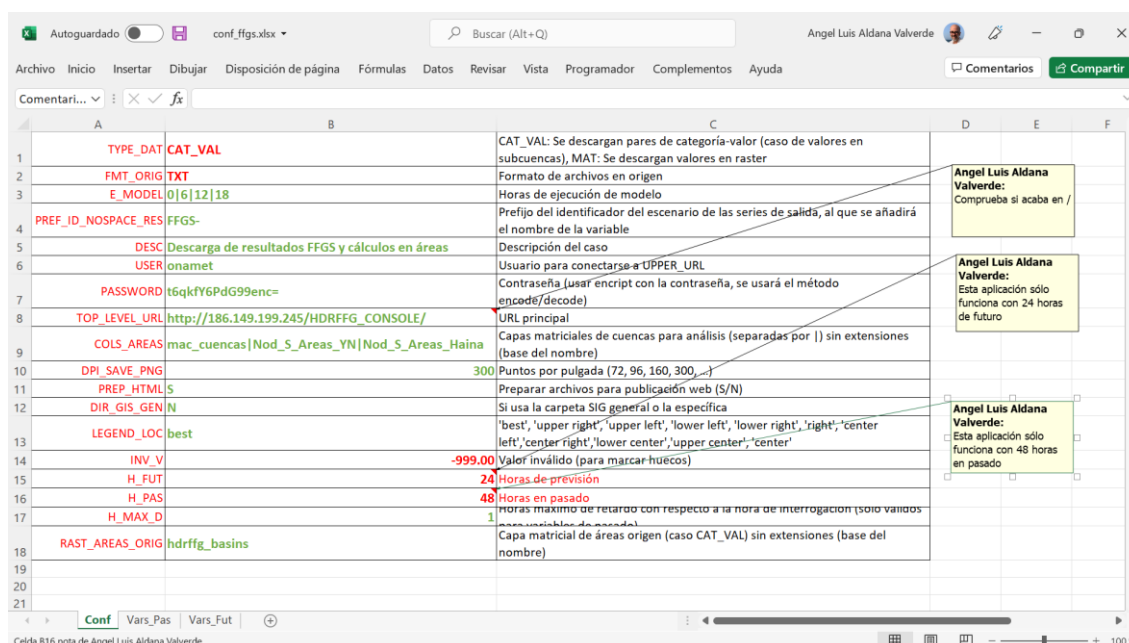


Figura 11-13.- Ventana de configuración general de CFFGS

Para este módulo se distingue entre variables de pasado y de futuro. Cada grupo de variables se describe en una hoja.

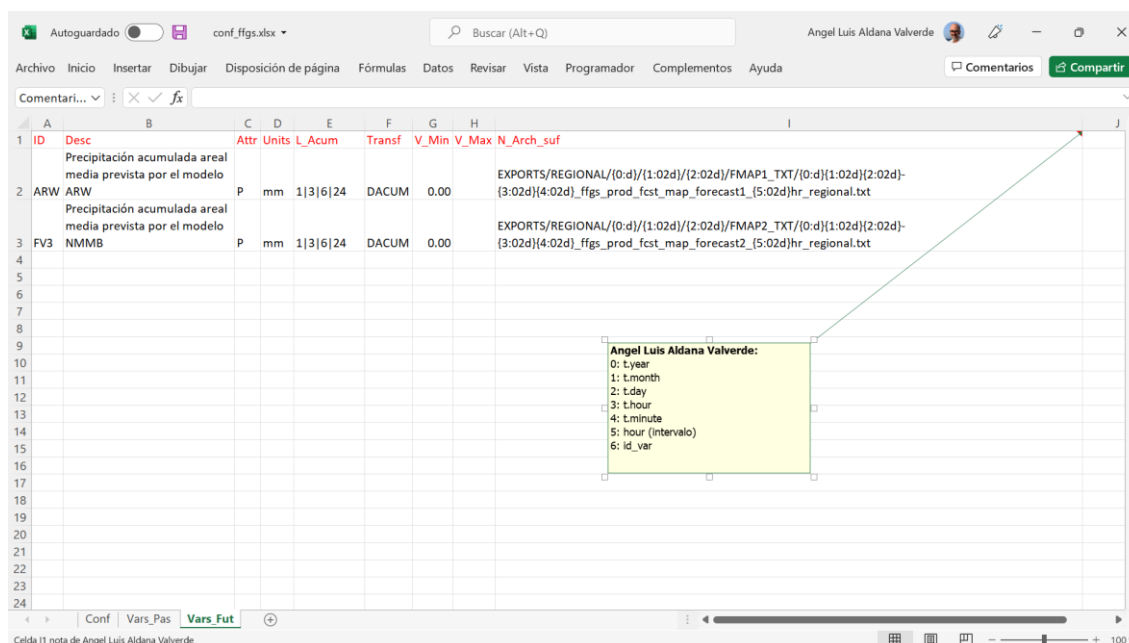


Figura 11-14.- Configuración de variables de futuro

En este caso, las variables de futuro en origen se acumulan en 1, 3, 6 y 24 horas. Por lo que se aplica una transformación (*Transf*) para deshacer las acumulaciones (*DACUM*) y obtener valores por intervalo.

Obsérvese que la aplicación está preparada para que los nombres de los archivos pueden dependan del tiempo. Para ello, se usa la sintaxis de definición de formatos de Python entendiendo que los argumentos serán:

- 0: t.year
- 1: t.month
- 2: t.day
- 3: t.hour
- 4: t.minute
- 5: hour (intervalo)
- 6: id_var

Así, por ejemplo, el formato:

```
EXPORTS/REGIONAL/{0:d}/{1:02d}/{2:02d}/FMAP1_TXT/{0:d}{1:02d}{2:02d}-{3:02d}{4:02d}_ffgs_prod_fcst_map_forecast1_{5:02d}hr_regional.txt
```

Se traduce en el siguiente nombre de un archivo asociado al instante 07/12/2021 11:00 y predicción a 1 hora:


```
EXPORTS/REGIONAL/2021/12/07/FMAP1_TXT/20211207-
1100_ffgs_prod_fcst_map_forecast1_01hr_regional.txt
```

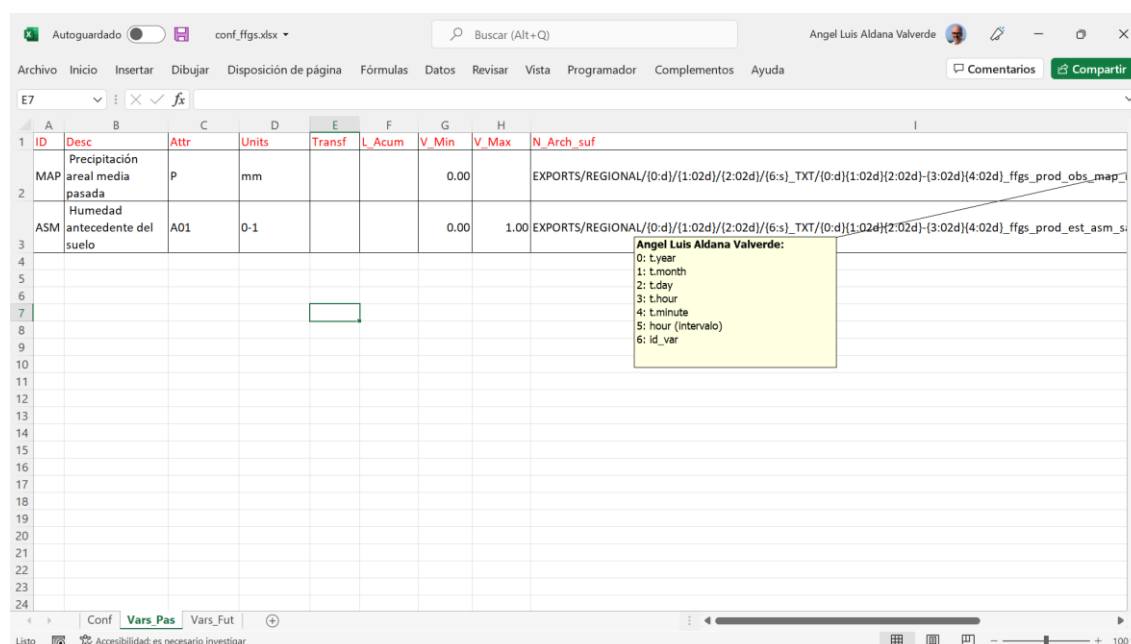


Figura 11-15.- Configuración de variables de pasado

Puede observarse que se indica valores 0 y 1 para V_Min y V_Max , respectivamente. Esto sirve como forma de validación de la información. La aplicación forzará a que los datos estén en ese rango. En caso de que no se cumpla, los valores leídos se considerarán inválidos.

11.3.1.4 Resultados

Los resultados son archivos XLSX con las series temporales calculadas de cada variable. Aparte, por supuesto, de los resultados que proporcionan algunos comandos como `tab_cross`, que se emplea en la fase de configuración conforme a lo que explica el archivo de ayuda.

Ejemplo de uso de comandos comunes

En los casos de aplicación, pueden emplearse comandos que hacen uso de utilidades comunes de EDAPHI (capítulo 7), como por ejemplo el que contiene las siguientes instrucciones:

```
@echo off
rem @A Genera resultados para Html en carpeta Res. Indique -c si desea
copiarlos a HTML del área
Rem Generación de gráficos y tablas
for %%a in (mac_cuencas,Nod_S_Areas_YN,Nod_S_Areas_Haina) do (
```

```

        for %%v in (ASM,ARW,MAP,FV3) do (
            rem Genera un gráfico XY de estadísticas por instante
            call ts_stats -stats_t_s
            xlsx=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.xlsx
            dir_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\Html\grf title="Estadísticas de %%v en %%a"
            rem Guarda una matriz de datos en un archivo PNG
            call ts_util -w_grd_s
            xlsx=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.xlsx
            dir_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\Html\grf title="Series %%v por intervalo en
            %%a"

            rem Estadísticas de series temporales
            call ts_stats -stats_h
            xlsx=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.xlsx dir_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\Html
            arch_css="/hidro/cmn/edaphi.css"
            rem Estadísticas de series temporales por instante
            call ts_stats -stats_t_h
            xlsx=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.xlsx dir_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\Html
            arch_css="/hidro/cmn/edaphi.css"
            Rem Genera un PNG con la representación en un mapa los
            máximos de las series temporales
            call map_cts -g_max arch_vec=%EDAPHI_DIR_C%\Sig\%%a.shp
            arch_ct=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.xlsx title="Max de %%v en %%a"
            n_tcolor=plasma dir_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\Html\grf pref=%%a-%%v-
            Rem Genera un PNG con la representación en un mapa los
            medios de las series temporales
            call map_cts -g_med arch_vec=%EDAPHI_DIR_C%\Sig\%%a.shp
            arch_ct=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.xlsx title="%%v medio en %%a"
            n_tcolor=rainbow dir_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\Html\grf pref=%%a-%%v-
        )
    )
    Rem Copia de archivos XLSX y CSV
    for %%e in (xlsx,csv) do (
        for %%a in
        (mac_cuencas,Nod_S_Areas_YN,areas_orig,Nod_S_Areas_Haina) do (
            for %%v in (ASM,ARW,MAP,FV3) do (
                echo Copiando %EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.%%e en
                %EDAPHI_DIR_C%\Res\Html\arch
                copy /Y %EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.%%e
                %EDAPHI_DIR_C%\Res\Html\arch
            )
        )
    )

    if "%1"=="-c" (
        xcopy /S /Y %EDAPHI_DIR_C%\Res\Html
        %EDAPHI_DIR_AREA%\Html\Hidro\CFFGS
    )

```

Así, se generan resultados como los siguientes, ya incluidos en una página web:

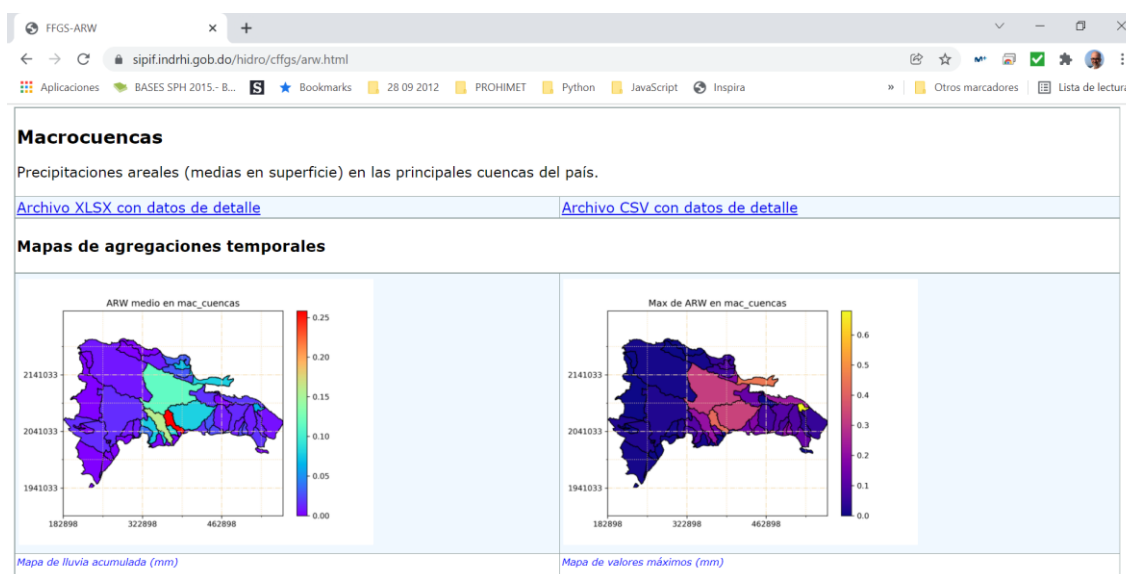


Figura 11-16.- Mapas de valores agregados para un caso de aplicación de CFFGS



Figura 11-17.- Gráficas y tablas con estadísticas de la variable ARW para un caso de aplicación de CFFGS

11.3.1.5 Listado de archivos

Los conectores CHM, al igual que otros módulos EDAPHI, incluyen un comando para informar al usuario de los archivos de entrada y salida. Así, al usar `cffghs -info_arch` el sistema responde con:

```
* Información de los archivos y carpetas

Dirección base de Internet para descargas:
http://186.149.199.245/HDRFFG_CONSOLE/
Ejemplos de nombres de archivos para descarga
```

```

    Desde
http://186.149.199.245/HDRFFG_CONSOLE/EXPORTS/REGIONAL/2020/09/25/FMAP1_TXT/20200925-1200_ffgs_prod_fcst_map_forecast1_03hr_regional.txt se descarga
C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\ARW\D\20200925-1200_03hr_ARW.txt

    Desde
http://186.149.199.245/HDRFFG_CONSOLE/EXPORTS/REGIONAL/2020/09/25/FMAP2_TXT/20200925-1200_ffgs_prod_fcst_map_forecast2_03hr_regional.txt se descarga
C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\FV3\D\20200925-1200_03hr_FV3.txt

    Desde
http://186.149.199.245/HDRFFG_CONSOLE/EXPORTS/REGIONAL/2020/09/25/MAP_TXT/20200925-1200_ffgs_prod_obs_map_merged_03hr_regional.txt se descarga
C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\MAP\D\20200925-1200_03hr_MAP.txt

    Desde
http://186.149.199.245/HDRFFG_CONSOLE/EXPORTS/REGIONAL/2020/09/25/ASM_TXT/20200925-1200_ffgs_prod_est_asm_sacsma_03hr_regional.txt se descarga
C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\ASM\D\20200925-1200_03hr_ASM.txt

Con los archivos anteriores se generan los de series temporales similares a:
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\ARW\areas_orig_ARW.xlsx
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\FV3\areas_orig_FV3.xlsx
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\MAP\areas_orig_MAP.xlsx
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\ASM\areas_orig_ASM.xlsx

Archivo ráster de áreas del sistema origen de datos (dato):
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Sig\hdrffg_basins.grass.asc

Archivos ráster de áreas de resultados (dato):
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Sig\mac_cuencas.grass.asc
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Sig\Nod_S_Areas_YN.grass.asc
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Sig\Nod_S_Areas_Haina.grass.asc

Archivos de relaciones ID-Cats (dato)
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Sig\ID_Cats_mac_cuencas.xlsx
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Sig\ID_Cats_Nod_S_Areas_YN.xlsx
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Sig\ID_Cats_Nod_S_Areas_Haina.xlsx

Archivos de cruces de áreas (resultado de comando cross)
    Tantos por uno:
        C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\cross_01_hdrffg_basins_mac_cuencas.xlsx
    Número de celdas:
        C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\cross_ncel_hdrffg_basins_mac_cuencas.xlsx
    Tantos por uno:
        C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\cross_01_hdrffg_basins_Nod_S_Areas_YN.xlsx
    Número de celdas:

C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\cross_ncel_hdrffg_basins_Nod_S_Areas_YN.xlsx
    Tantos por uno:

C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\cross_01_hdrffg_basins_Nod_S_Areas_Haina.xlsx
    Número de celdas:

C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\cross_ncel_hdrffg_basins_Nod_S_Areas_Haina.xlsx

Los resultados de series temporales en áreas:
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\MAP\mac_cuencas_MAP.xlsx
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\ASM\mac_cuencas_ASM.xlsx
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\ARW\mac_cuencas_ARW.xlsx
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\FV3\mac_cuencas_FV3.xlsx
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\MAP\Nod_S_Areas_YN_MAP.xlsx
    C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\ASM\Nod_S_Areas_YN_ASM.xlsx

```

```

C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\ARW\Nod_S_Areas_YN_ARW.xlsx
C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\FV3\Nod_S_Areas_YN_FV3.xlsx
C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\MAP\Nod_S_Areas_Haina_MAP.xlsx
C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\ASM\Nod_S_Areas_Haina_ASM.xlsx
C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\ARW\Nod_S_Areas_Haina_ARW.xlsx
C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\FV3\Nod_S_Areas_Haina_FV3.xlsx

```

11.3.1.6 Instalación

Se instala como un módulo normal.

11.3.2 CMF. Manejo de pronósticos del modelo Arome de Météo-France en formato Grib2

CMF es un conector creado para el acceso y descarga de archivos de resultados del modelo numérico Arome de Météo-France, y cálculo de valores areales. Los datos estarán almacenados en archivos Grib2 que son accesibles desde GIS-Grass, por lo que CMF recurre al empleo EGrassPy3 (ver el capítulo 18 para requerimientos especiales de configuración).

11.3.2.1 Datos

Datos temporales

Los archivos Grib2 serán accesibles a través de HTTP y pueden estar comprimidos en archivos GZ.

Capas SIG

De modo análogo que en el caso CFFGS, se sugiere el uso de GIS-Grass para definir las capas de máscaras para el cálculo de precipitaciones areales (que podrían haberse creado con los algoritmos de Prec).

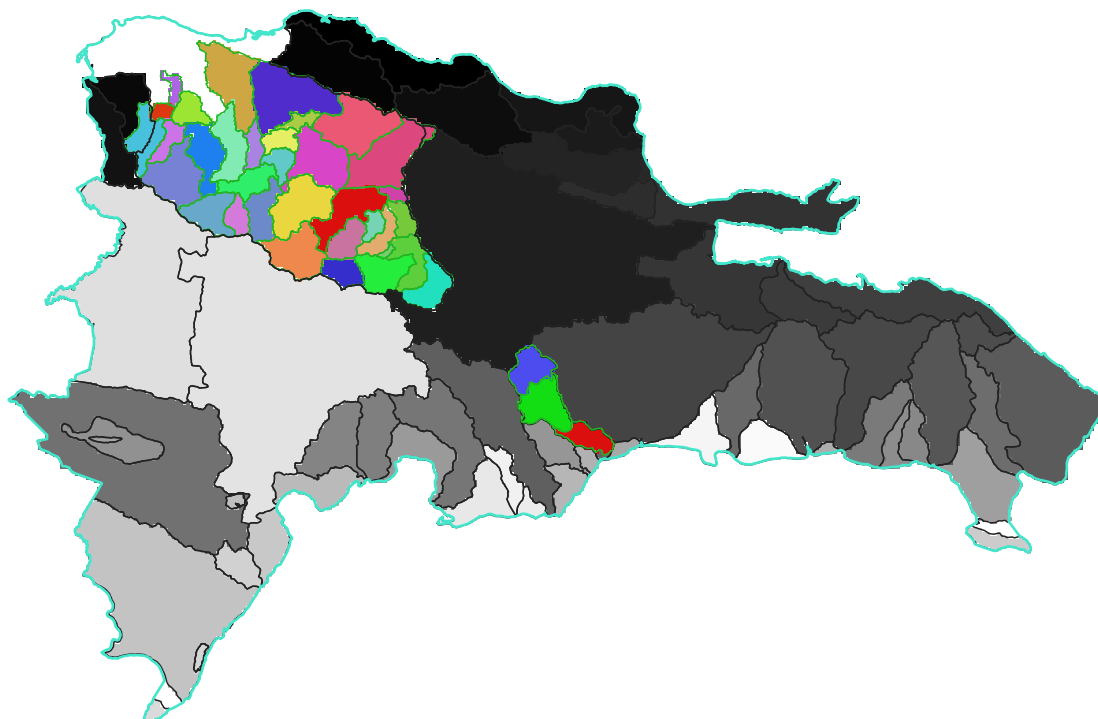


Figura 11-18.- Capas SIG de máscaras para configurar CMF

Para obtener estas máscaras, la ayuda de la aplicación incluye lo siguiente:

Las capas raster anteriores se generarán a partir de los correspondientes vectoriales, aunque lo que CMF considera dato son las matriciales.

Pueden usarse comandos Grass como los siguientes:

```

1) Importar la capa vectorial a la base de datos Grass
   v.import input=C:\EDAPHI\CMF\SIG\mac_cuencas.shp
   layer=mac_cuencas output=mac_cuencas
2) Convertir a raster, usando cat (campo clave numérico entero) como
   valor de celda:
   v.to.rast --overwrite input=mac_cuencas@PERMANENT
   output=mac_cuencas use=cat
3) Exportar los valores clave que se usarán en la hoja ID_Cats del
   archivo de configuración, lo que puede hacerse con un archivo CSV (o
   copiando resultados del comando grass y pegando)
   v.db.select map=mac_cuencas@PERMANENT columns=ID,cat
   separator=comma file=C:\EDAPHI\RD\CMF\SIG\ID_Cats_mac_cuencas.csv --
   overwrite
3-2) Este archivo debe convertirse en ID_Cats_mac_cuencas.XLSX con los
   datos en una hoja denominada ID_Cats
4) Exportar las mallas (ráster):
   r.out.ascii -i --overwrite input=mac_cuencas@PERMANENT
   output=C:\EDAPHI\RD\CMF\SIG\mac_cuencas.grass.asc null_value=-1

NOTA:
Grass puede generar archivos de texto con indicaciones en cabecera del
tipo
    north: 19:55:55.599487N
    south: 17:32:21.009204N
  
```

```

    east: 68:19:22.677331W
    west: 72:00:41.300633W
    QGIS requiere del tipo:
    north: 22.1108
    south: 16.3978
    east: -67.6158
    west: -76.6689
    Para solucionar esto puede emplearse un comando del tipo:
    raster -s_grass n_asc=SIG\Nod_S_Areas_YN.grass.asc
    n_asc_res=SIG\Nod_S_Areas_YN.grass-qgis.asc

```

ATENCIÓN: antes de ejecutar la instrucción `v.to.rast` hay que asegurar la definición correcta de la región de Grass. Para ello puede usarse el comando:

```

    g.region raster=prec_ground@PERMANENT

```

En la que `prec_ground` es una malla importada con las características deseadas para los ráster

Si se desea cambiar la resolución, puede aplicarse una instrucción tal como:

```

    g.region nsres=0.0125 ewres=0.0125

```

A partir de ahí, cualquier importación de raster o conversión de raster a vectorial generará archivos conforme a esa resolución

11.3.2.2 Comandos

Al escribir en la ventana de comandos `cmf`, el sistema devuelve el siguiente texto:

```

Argumento común:
  ax_conf=: Archivo de configuración
Comandos
  Los valores de algunos argumentos como n_hours o n_hours_max
  sustituyen a los almacenados en el archivo de configuración
  -info_arch: Devuelve un texto con información sobre archivos
  -list_vars
  -calc: Descarga los datos más recientes y genera los archivos de
  variables de pasado y futuro
    hours_b=: Horas a restar al instante más próximo (0 por
  defecto)
  -calc_t: Descarga los datos correspondientes a t_utc y genera los
  archivos de variables de pasado y futuro
    t_utc=: Hora UTC como instante actual. Formato aaaammdd-hhmm
  (Ej: 20191217-0100
  Comandos para operaciones de detalle:
  -down_lastnh: Descarga los archivos más reciente con datos de una
  variable
    id_var=: Nombre de la variable
  -down_t: Descarga los archivos de una variable correspondientes a un
  instante
    id_var=: Nombre de la variable
    t_utc=: Hora UTC como instante actual. Formato aaaammdd-hhmm
  (Ej: 20191217-0100
  -areal : Genera series en áreas a partir de las mallas descargadas
    id_var=: Nombre de la variable
    i_areas=: Índice de la capa de áreas resultado

Ejemplos:
  -list_vars ax_conf=conf_cmf.xlsx

```

```

-calc ax_conf=conf_cmf.xlsx
-calc_t t_utc=20191121-2100 ax_conf=conf_cmf.xlsx
Ejemplos de comandos de detalle
-down_lastnh id_var=RAIN ax_conf=conf_cmf.xlsx
-down_t id_var=RAIN t_utc=20191121-2100 ax_conf=conf_cmf.xlsx
-areal id_var=RAIN ax_conf=conf_cmf.xlsx

```

Este módulo también cuenta con el comando `ayuda`

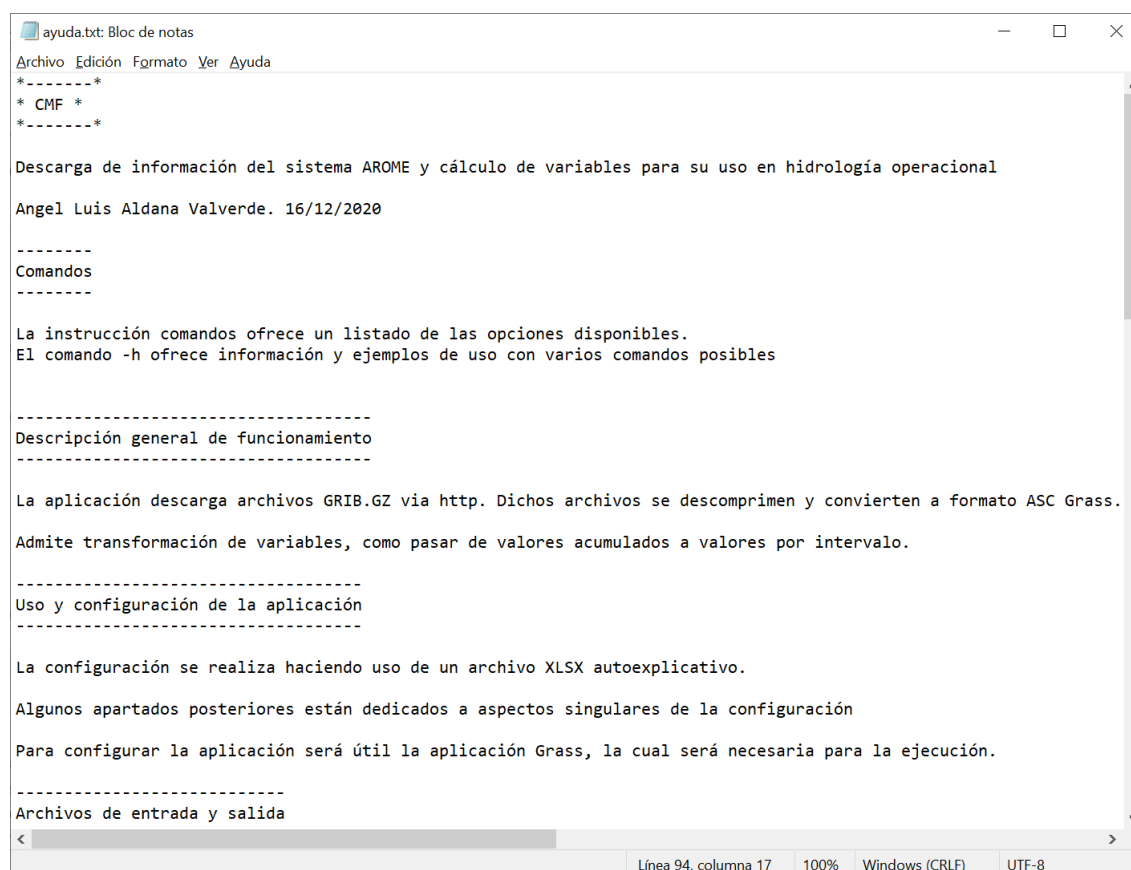


Figura 11-19.- Archivo de ayuda de CMF

11.3.2.3 Configuración

Esta aplicación se configura como CFFGS, salvo que en este caso se indica MAT y GRIB.GZ para los campos de configuración TYPE_DAT y FMT_ORIG, respectivamente.

Autoguardado  conf_cmf.xlsx  Buscar (Alt+Q)  Angel Luis Aldana Valverde  Comentarios  Compartir

Archivo Inicio Insertar Dibujar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programador Complementos Ayuda

C2  Formato de archivos de origen

	A	B	C
1	TYPE DAT	MAT	CAT VAL: Se descargan pares de categoria-valor (caso de valores en subcuentas), MAT: Se decargan valores
2	FMT_ORIG	GRIB.GZ	Formato de archivos en origen
3	E_MODEL	0[6 12 18	Horas de ejecución de modelo
4	PREF_ID_NOSPACE_RES	MF-	Prefijo del identificador del escenario de las series de salida, al que se añadirá el nombre de la variable
5	DESC	Descarga de resultados MF-AROME y cálculos en áreas	Descripción del caso
6	USER		Usuario para conectarse a UPPER URL
7	PASSWORD		Contraseña (usar encrypt con la contraseña, se usará el método encode/decode)
8	TOP_LEVEL_URL	http://186.149.199.244/data/AROME/	URL principal
9	COLS AREAS	mac_cuentas\Nod_5_Areas_YN\Nod_5_Areas_Haina	Capas matriciales de cuentas para análisis (separadas por) sin extensiones (base del nombre)
10	DPI_SAVE_PNG		Puntos por pulgada (72, 96, 160, 300, ...)
11	PREP_HTML	S	Preparar archivos para publicación web (S/N)
12	DIR_GIS_GEN	N	Si usa la carpeta SIG general o la especifica
13	LEGEND_LOC	best	'best', 'upper right', 'upper left', 'lower left', 'lower right', 'right', 'center left', 'center right', 'lower center', 'upper center'
14	INV_V	-999.99	Valor inválido (para marcar huecos)
15	H_FUT	24	Horas de previsión
16	H_PAS	24	Horas en pasado
17	H_MAX_D	1	Horas máximo de retardo con respecto a la hora de interrogación (sólo válidos para variables de pasado)
18	GRASSBAT	C:\Program Files\GRASS GIS 7.8\grass78.bat	Estos parámetros sirven para generar el archivo de configuración de Egrass (egress.conf). Por tanto no es necesario este archivo
19	GISDBASE	%EDAPHI_DIR_C%\Grass	
20	MAPSET	PERMANENT	
21	LOCATION	RD	
22			
23			
24			
25			
26			

Angel Luis Aldana Valverde: Comprueba si acaba en /

Angel Luis Aldana Valverde: No se use en este caso

Angel Luis Aldana Valverde: Esta aplicación sólo funciona con 24 horas de futuro

Conf Vars_Pas Vars_Fut

Figura 11-20

A lo anterior hay que añadir lo relativo a la dependencia de este módulo de *EGrassPy3*, por lo que necesitará un archivo *egrass.conf* en la carpeta de caso de aplicación con contenido como el siguiente:

```
grassbat,C:\Program Files\GRASS GIS 7.8\grass78.bat
gisdbase,C:\EDAPHI\RD\CMF\Grass
mapset,PERMANENT
location,RD
```

11.3.2.4 Resultados

Al igual que ocurre con CFFGS, CMF genera sólo archivos XLSX de resultados, pero, a partir de ellos y con los comandos generales de EDAPHI, se puede, del mismo modo, generar otros resultados.

A modo de ejemplo, a continuación, se muestra un archivo CMD con instrucciones para difundir resultados a través de una web:

```
@echo off
rem @A Genera resultados para Html en carpeta Res. Indique -c si desea
copiarlos a HTML del área
Rem Generación de gráficos y tablas

for %%a in (mac_cuencas,Nod_S_Areas_YN,Nod_S_Areas_Haina) do (
    for %%v in (Prec_Ground) do (
        rem Genera un gráfico XY de estadísticas por instante
        call ts_stats -stats_t_s
        xlsx=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.xlsx
        dir_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\Html\grf title="Estadísticas de %%v en %%a"
        rem Guarda una matriz de datos en un archivo PNG
```

```

        call ts_util -w_grd_s
xlsx=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.xlsx
dir_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\Html\grf title="Series %%v por intervalo en
%%a"

        rem Estadísticas de series temporales
        call ts_stats -stats_h
xlsx=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.xlsx dir_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\Html
arch_css="/hidro/cmn/edaphi.css"
        rem Estadísticas de series temporales por instante
        call ts_stats -stats_t_h
xlsx=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.xlsx dir_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\Html
arch_css="/hidro/cmn/edaphi.css"
        Rem Genera un PNG con la representación en un mapa los
máximos de las series temporales
        call map_cts -g_max arch_vec=%EDAPHI_DIR_C%\Sig\%%a.shp
arch_ct=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.xlsx title="Max de %%v en %%a"
n_tcolor=plasma dir_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\Html\grf pref=%%a-%%v-
        Rem Genera un PNG con la representación en un mapa los
medios de las series temporales
        call map_cts -g_med arch_vec=%EDAPHI_DIR_C%\Sig\%%a.shp
arch_ct=%EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.xlsx title="%%v medio en %%a"
n_tcolor=rainbow dir_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\Html\grf pref=%%a-%%v-
    )
)
)

Rem Copia de archivos XLSX y CSV
for %%e in (xlsx,csv) do (
    for %%a in (mac_cuencas,Nod_S_Areas_YN,Nod_S_Areas_Haina) do (
        for %%v in (Prec_Ground) do (
            echo Copiando %EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.%%e en
%EDAPHI_DIR_C%\Res\Html\arch
            copy /Y %EDAPHI_DIR_C%\Res\%%v\%%a_%%v.%%e
%EDAPHI_DIR_C%\Res\Html\arch
        )
    )
)
)

```

Y así se generarían resultados gráficos y otros para generar y actualizar una web de resultados como la de la figura siguiente:

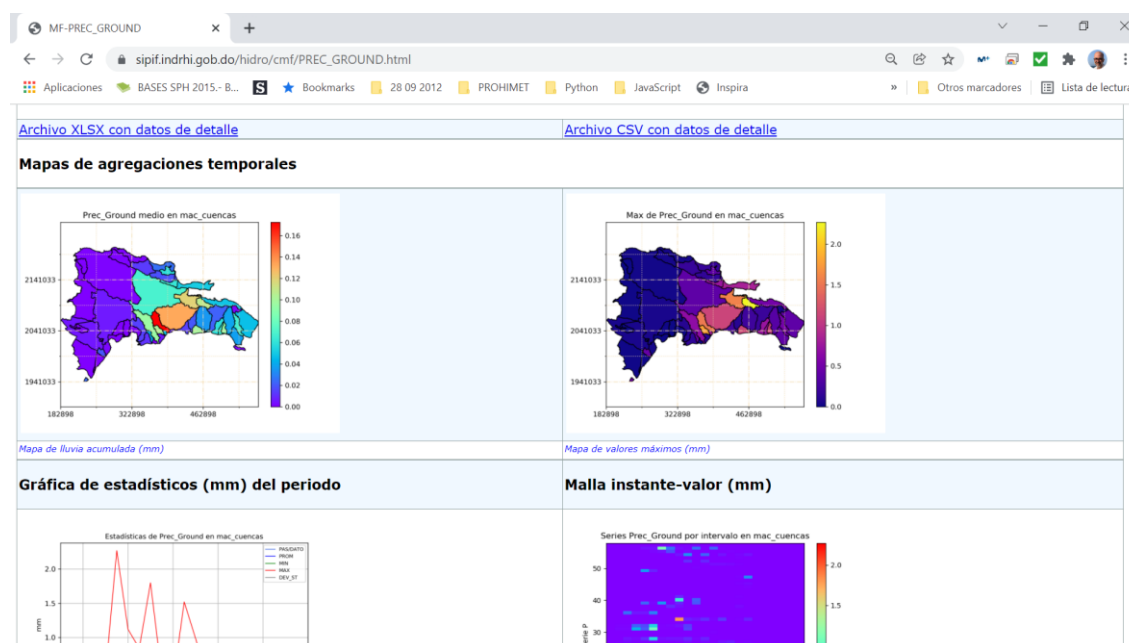


Figura 11-21.- Página web de resultados de CMF basada en el uso de comandos EDAPHI generales

11.3.2.5 Lista de archivos

El uso de la orden `-info_arch` dará un resultado como el siguiente:

```
* Información de los archivos y carpetas

Dirección base de Internet para descargas:
http://186.149.199.244/data/AROME/
Ejemplos de nombres de archivos para descarga
Desde http://186.149.199.244/data/AROME/2020/09/25/MF-NWP-HIGHRES-
AROME-OM-0025-ANTIL-WCS_PREC_GROUND_2020-09-25T12:00:00Z_PT1H_2020-09-
25T12:00:00Z.antillas_fullws.grib2.gz se descarga
C:\EDAPHI\RD\CMF\Res\PREC_GROUND\D\20200925-1200_03hr_PREC_GROUND.asc

Con los archivos anteriores se generan los de series temporales
similares a:
C:\EDAPHI\RD\CMF\Res\PREC_GROUND\areas_orig_PREC_GROUND.xlsx

Archivos ráster de áreas de resultados (dato):
C:\EDAPHI\RD\CMF\Sig\mac_cuencas.grass.asc
C:\EDAPHI\RD\CMF\Sig\Nod_S_Areas_YN.grass.asc
C:\EDAPHI\RD\CMF\Sig\Nod_S_Areas_Haina.grass.asc

Archivos de relaciones ID-Cats (dato)
C:\EDAPHI\RD\CMF\Sig\ID_Cats_mac_cuencas.xlsx
C:\EDAPHI\RD\CMF\Sig\ID_Cats_Nod_S_Areas_YN.xlsx
C:\EDAPHI\RD\CMF\Sig\ID_Cats_Nod_S_Areas_Haina.xlsx

Los resultados de series temporales en áreas:
C:\EDAPHI\RD\CMF\Res\PREC_GROUND\mac_cuencas_PREC_GROUND.xlsx
C:\EDAPHI\RD\CMF\Res\PREC_GROUND\Nod_S_Areas_YN_PREC_GROUND.xlsx
C:\EDAPHI\RD\CMF\Res\PREC_GROUND\Nod_S_Areas_Haina_PREC_GROUND.xlsx

Archivo GRIB temporal antes de transformación a ASC
C:\EDAPHI\RD\CMF\Tmp\PREC_GROUND.grib
```

11.3.2.6 Instalación

Depende de *EGrassPy3*, por lo que el primer paso será instalar la versión apropiada de GIS-Grass e instalar y configurar el módulo *EGrassPy3* (ver capítulo 18).

Por lo demás, se instala como un módulo normal.

11.3.3 CSispi. Acceso a datos del sistema Sispi

Este módulo fue desarrollado para el acceso a resultados de SisPi instalado en ONAMET (Oficina Nacional de Meteorología de República Dominicana). Se trata de un sistema computarizado de pronósticos meteorológicos que brindan información de varias variables meteorológicas (precipitación, viento, temperatura entre otras variables) hasta 72 horas y una resolución espacial de 3 kilómetros.

CSispi es prácticamente idéntico a CMF. La diferencia principal, aparte de lo relacionado con la organización de carpetas en origen, está en el formato de archivos, que, en el caso de *CSispi*, busca archivos de texto. Esto queda reflejado en el archivo de configuración con los valores *MAT* y *TXT*:

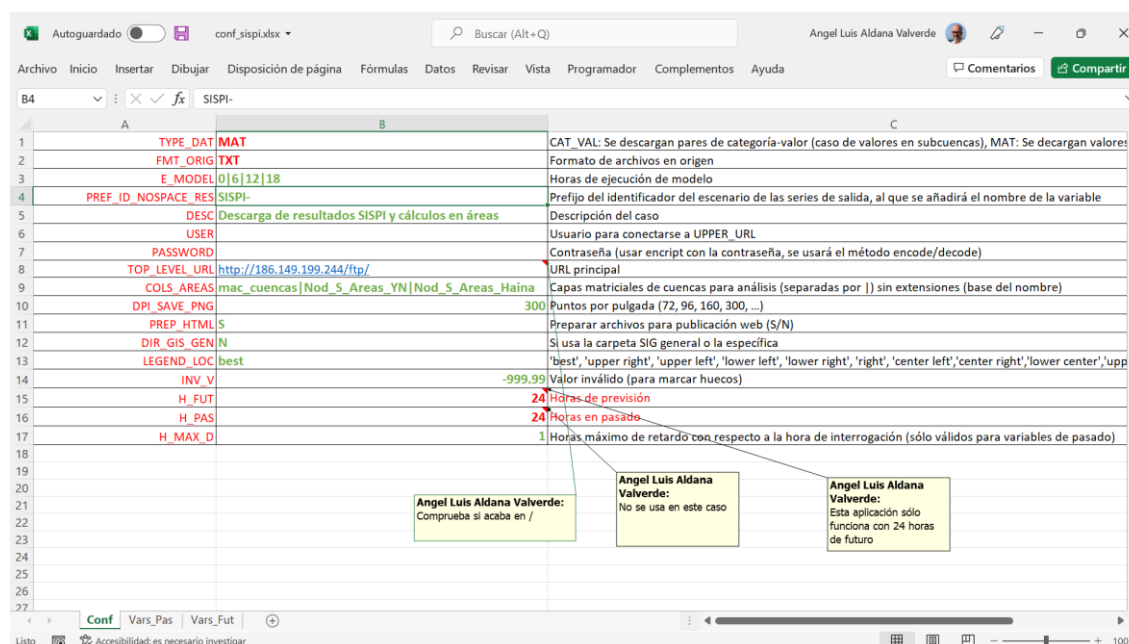


Figura 11-22.- Hoja principal de configuración de *CSispi*

Por el gran parecido no se considera necesario extender este apartado dedicado a *CSispi* pues sería casi idéntico a lo indicado para CMF.

En cuanto a la instalación y configuración, es más sencillo que CMF, pues no requiere interactuar con GIS-Grass.

11.4 EDAPHI-GMeteo. Generación de productos de hidrología basados en los resultados de modelos numéricos de predicción del tiempo

Este módulo no se usa en la actualidad, pues se corresponde con versiones antiguas de EDAPHI. Ya fue sustituida en EDAPHI 2023 por los conectores CHM.

11.4.1 Introducción

EDAPHI-GMeteo transforma los resultados de un modelo numérico del tiempo (datos de entrada para la aplicación) en información útil para la hidrología operacional. Los datos pueden ir almacenados en archivos GRIB. Se apoya en el software GIS-Grass.

La aplicación realiza cambios de proyección geográfica, de resolución y realiza otras transformaciones y cálculos sobre las variables de entrada, generando resultados en varios formatos. También realiza algunas tareas de validación de los datos.

Entre los resultados se cuenta con valores areales en los polígonos de capas vectoriales SIG.

En el caso español, AEMET (<http://www.aemet.es>) proporciona a las confederaciones (los ejemplos de las ilustraciones son de la Confederación Hidrográfica del Segura (<http://www.chsegura.es>), concretamente al Servicio SAIH (SAIH-Segura)), resultados de modelos numéricos del tiempo en formato GRIB. El modelo es el denominado HARMONIE-AROME. El Servicio SAIH se interesa por la utilización de las precipitaciones previstas, contenidas en los archivos GRIB, para aplicaciones hidrológicas.

En la actualidad, esta aplicación se ha sustituido por CMHA (siguiente apartado).

11.4.2 Funcionalidad de la aplicación

La aplicación realiza las siguientes acciones:

1. Lectura de los archivos GRIB más recientes contenidos en una determinada carpeta/directorio, cuya dirección en uno de los datos del archivo de configuración
2. Generación de archivos de texto con los datos de las mallas (capas ráster) de precipitación previstas
3. Inclusión de las mallas en GIS-Grass
4. Transformación geográfica de las mallas. En el caso español, se realiza desde el sistema de referencia original, geográficas en proyección Lambert (WGS 84, EPSG 4326, <http://spatialreference.org/ref/epsg/4326>), al sistema ETRS89, en proyección UTM huso 30 (ETRS89 / UTM zone 30N, EPSG:25830,

<http://spatialreference.org/ref/epsg/25830>). Esta transformación es configurable para cada caso de aplicación.

5. Transformaciones de mallas: acumulaciones, diferencias, operaciones lineales
6. Cálculos de mallas con acumulaciones en diferentes intervalos de tiempo (4, 24 y 48 horas, por ejemplo)
7. Generación de archivos gráficos PNG con representación de las mallas, sobre las que se superponen un gráfico vectorial y un título
8. Generación de archivos de mallas en formato GeoTiff
9. Cálculo de precipitaciones areales medias, intervalo por intervalo horarios, en varias capas de polígonos, y almacenamiento de resultados en un archivo CSV con las series temporales.

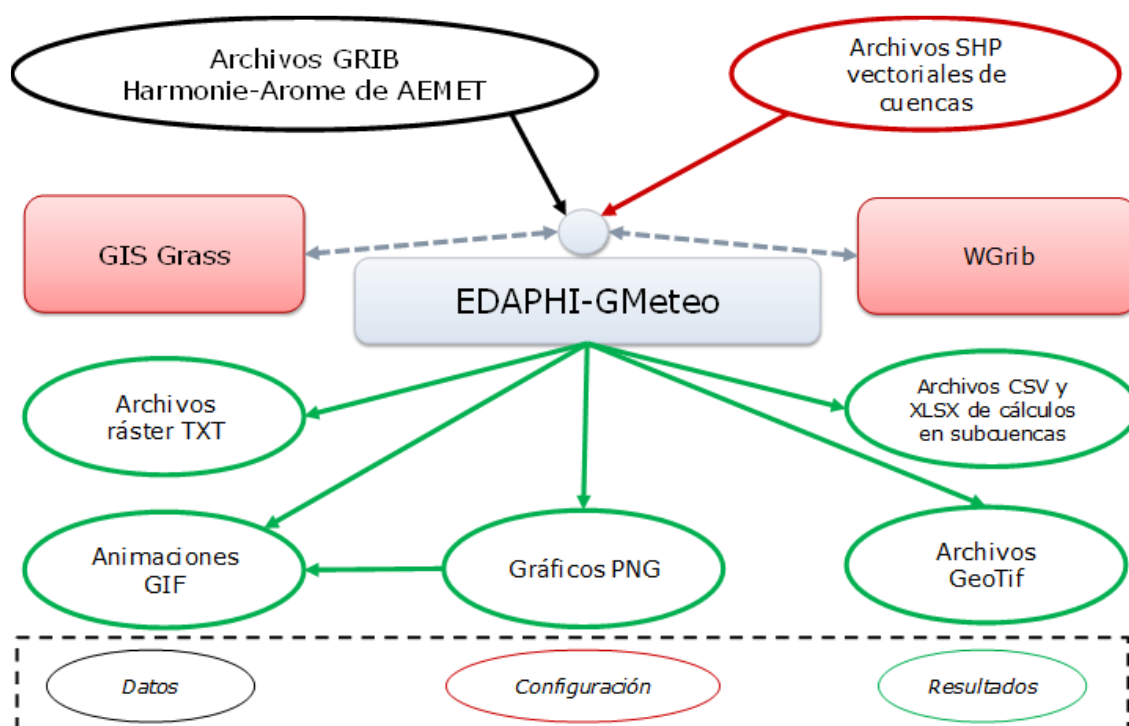


Figura 11-23: Esquema general de la solución

11.4.3 Datos de entrada

Los datos de entrada serán archivos con actualizaciones periódicas, correspondientes a previsiones horarias. En el caso español serán los archivos GRIB que recibe el SAIH. De ellos se extraerán las mallas (ráster) de precipitación prevista por horas.

Otro de los datos de entrada, a modo de configuración de la aplicación, serán unas capas de información geográfica, en formato SHP, que contengan los recintos (polígonos) en los que calcular valores medios areales de precipitación de cada malla.

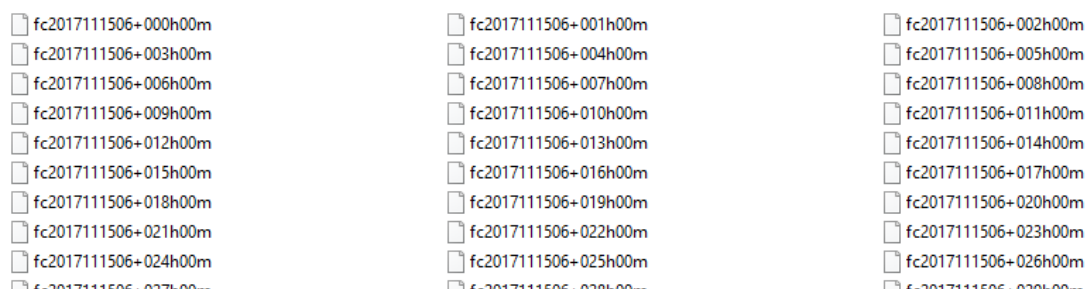


Figura 11-24: Ejemplo de contenido de carpeta con archivos GRIB proporcionados por AEMET

11.4.4 Resultados

Los resultados serán (ver detalles en 11.4.5.1):

1. Archivos ráster que contengan la información de los GRIB relacionada con precipitación en formato texto (TXT), para facilitar cualquier posible uso futuro no previsto.
2. Gráficos en formato PNG con las representaciones de las mallas de precipitación.
3. Mallas de precipitación en formato GeoTif, lo que facilitará el uso en plataformas SIG.
4. Archivos CSV y XLSX con tablas de resultados de precipitaciones areales en polígonos.
5. Base de datos de Grass actualizada con las mallas originales y todas las calculadas en función de éstas.

Algunos de estos resultados estarán referidos tanto a las mallas de precipitación originales como a agregaciones temporales (opcionalmente).

Las tareas anteriores se realizarán con un solo comando. Pero, la aplicación ofrece varias opciones de uso interactivo

11.4.5 Organización de archivos

GMeteo sigue la estructura general de archivos general de EDAPHI. Los apartados siguientes recogen lo específico de este módulo.

- Grass. - La base de datos de Grass
- Pal. - Archivos de texto con la definición de las tablas de colores que relacionan precipitación con cada color en su representación
- Pol. - Incluye las capas vectoriales en cuyos polígonos se desean calcular las precipitaciones areales medias para cada intervalo horario.

- **WGrib.** - Almacena archivos temporales relacionados con la utilidad empleada para leer archivos GRIB

11.4.5.1 Carpeta de resultado (Res)

Los resultados se almacenan organizados según las siguientes subcarpetas

- *Grf.*- Archivos gráficos en formato PNG de los resultados matriciales
- *Grf_areal.*- Archivos gráficos en formato PNG de los resultados areales
- *Csv.*- Archivos de series temporales de resultados de los cálculos areales en formato CSV
- *XLSX.*- Archivos de series temporales de resultados de los cálculos areales en formato XLSX
- *Anim.*- Archivos GIF con las animaciones generadas a partir de los archivos PNG
- *Tif.*- Mallas en formato GeoTiff
- *Txt.*- Mallas en formato texto
- *Html.*- Resultados en formatos apropiados para la publicación Web, en formatos HTML, XMLS y PNG

11.4.6 Comandos

La instrucción *comandos* ofrece una lista de las utilidades disponibles. La tabla siguiente recoge la salida de esta instrucción:

Comando	Descripción
ayuda	Ayuda
color_nombres	Lista los nombres de colores para gráficos
compila	Compila los módulos py en pyc, y prepara la carpeta de distribución
compila_aux	Se inicia una ventana de comandos con el entorno configurado
crea_caso	Crea las subcarpetas de caso a partir de la carpeta principal e incluye algunos archivos
crea_def_regiones	Define las regiones a partir de la información del GRIB name y la resolución del archivo de configuración
crea_import_areas	Importa áreas
crea_loc	Crea la base de datos Grass a partir de un SHP
doc	Muestra los documentos útiles y facilita su apertura
ejecuta_grass	Facilita la ejecución de un comando de grass sobre location GEO (EDAPHI_GRASS_LOCATION)
ejecuta_grass_utm	Facilita la ejecución de un comando de grass sobre location UTM (%EDAPHI_GRASS_LOCATION%UTM)
ejecuta_py	Ejecuta el módulo py que se indique como argumento
ejecuta_py_cmn	Ejecuta el módulo py de la librería general común que se indique como argumento
grib_desc	Extrae información de un archivo GRIB y la almacena en archivos wgrib_rec

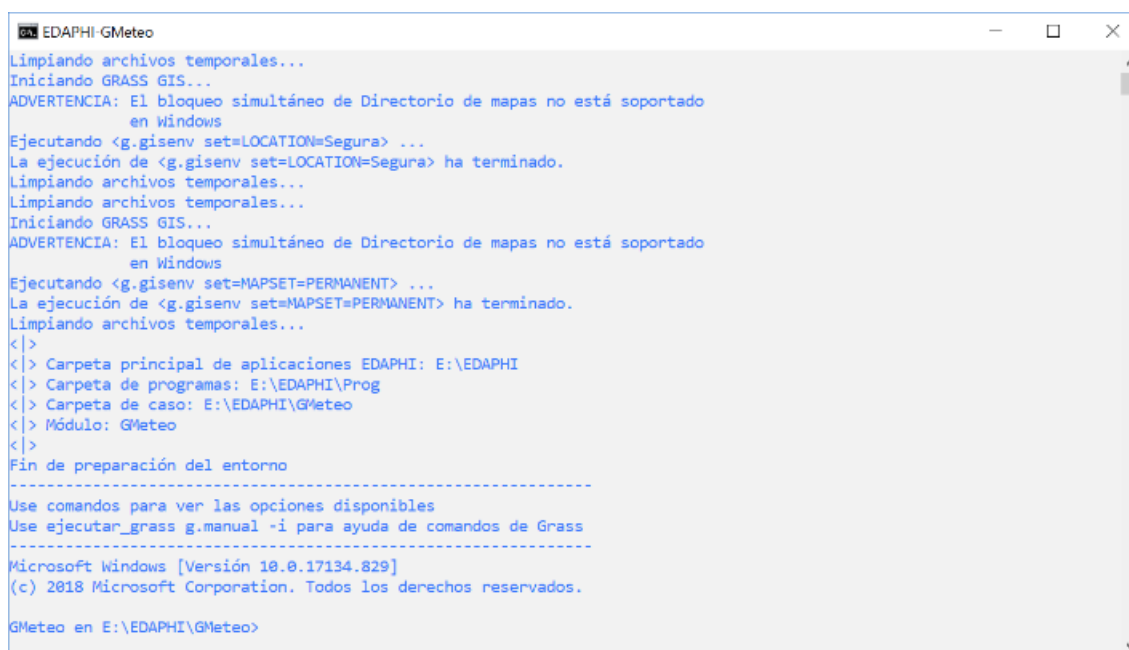
<code>grib_dir</code>	Extrae los datos de todos los archivos del directorio %EDAPHI_DIR_AP%\grib
<code>grib_mat</code>	Extrae la malla de un archivo GRIB y los almacena en un archivo <code>wgrib_mat</code>
<code>importa_grib</code>	Extrae toda la información de un archivo GRIB y genera archivos asociados, incluyendo la BD de Grass
<code>limpia_res</code>	Borra todos los resultados de operaciones anteriores
<code>lista_reg</code>	Listado de registros
<code>op_acum</code>	Genera las agregaciones a partir de las mallas básicas
<code>op_areales</code>	Calcula valores areales medios en cuencas del directorio Pol
<code>op_dif</code>	Deshace acumulaciones en el tiempo
<code>op_lineal</code>	Realiza las transformaciones lineales
<code>op_valid</code>	Realiza las validaciones
<code>res_aplica_pal</code>	Aplica las tablas / paletas de colores
<code>res_areal_tmp</code>	Genera un gráfico areal en tmp y lo muestra
<code>res_gif_anim</code>	Utiliza el módulo Anim para generar los GIF
<code>res_gif_areal_anim</code>	Utiliza el módulo Anim para generar los GIF
<code>res_html</code>	Genera los resultados para la web
<code>res_png</code>	Genera los archivos PNG
<code>res_raster_tmp</code>	Genera un gráfico en tmp de un raster y lo muestra
<code>res_tif</code>	Genera archivos Tif
<code>res_txt</code>	Genera archivos Txt en coordenadas UTM
<code>test_call_extern</code>	Permite probar la llamada a <code>call_extern</code>
<code>todo_dir</code>	Realiza todas las operaciones sobre todos los archivos GRIB

Tabla 5.- Comandos del módulo GMeteo

11.4.7 Archivos de comandos principales de ejecución

El uso de la aplicación en modo interactivo se hace a través de un archivo de comandos *ventana.cmd* con un contenido como el siguiente:

```
@Echo off
set EDAPHI_AP=GMeteo
SET EDAPHI_GRASS_LOCATION=Segura
SET EDAPHI_GRASS_MAPSET=PERMANENT
Rem Directorio de caso
Set EDAPHI_DIR_C=%cd%
pushd ..
Rem Directorio General
SET EDAPHI_DIR=%cd%
popd
Rem Entorno general
Call %EDAPHI_DIR%\Cmd\edaphi_e_py2.cmd
echo -----
echo Use comandos para ver las opciones disponibles
echo Use ejecutar_grass g.manual -i para ayuda de comandos de Grass
echo -----
cmd /V:ON /E:ON /T:F9
```



```

EDAPHI-GMeteo
Limpiando archivos temporales...
Iniciando GRASS GIS...
ADVERTENCIA: El bloqueo simultáneo de Directorio de mapas no está soportado
en Windows
Ejecutando <g.gisenv set=LOCATION=Segura> ...
La ejecución de <g.gisenv set=LOCATION=Segura> ha terminado.
Limpiando archivos temporales...
Limpiando archivos temporales...
Iniciando GRASS GIS...
ADVERTENCIA: El bloqueo simultáneo de Directorio de mapas no está soportado
en Windows
Ejecutando <g.gisenv set=MAPSET=PERMANENT> ...
La ejecución de <g.gisenv set=MAPSET=PERMANENT> ha terminado.
Limpiando archivos temporales...
<|>
<|> Carpeta principal de aplicaciones EDAPHI: E:\EDAPHI
<|> Carpeta de programas: E:\EDAPHI\Prog
<|> Carpeta de caso: E:\EDAPHI\GMeteo
<|> Módulo: GMeteo
<|>
Fin de preparación del entorno
-----
Use comandos para ver las opciones disponibles
Use ejecutar_grass g.manual -i para ayuda de comandos de Grass
-----
Microsoft Windows [Versión 10.0.17134.829]
(c) 2018 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.
GMeteo en E:\EDAPHI\GMeteo>

```

Figura 11-25.- Ventana de comandos

11.4.7.1 Archivo de comandos ciclo.cmd

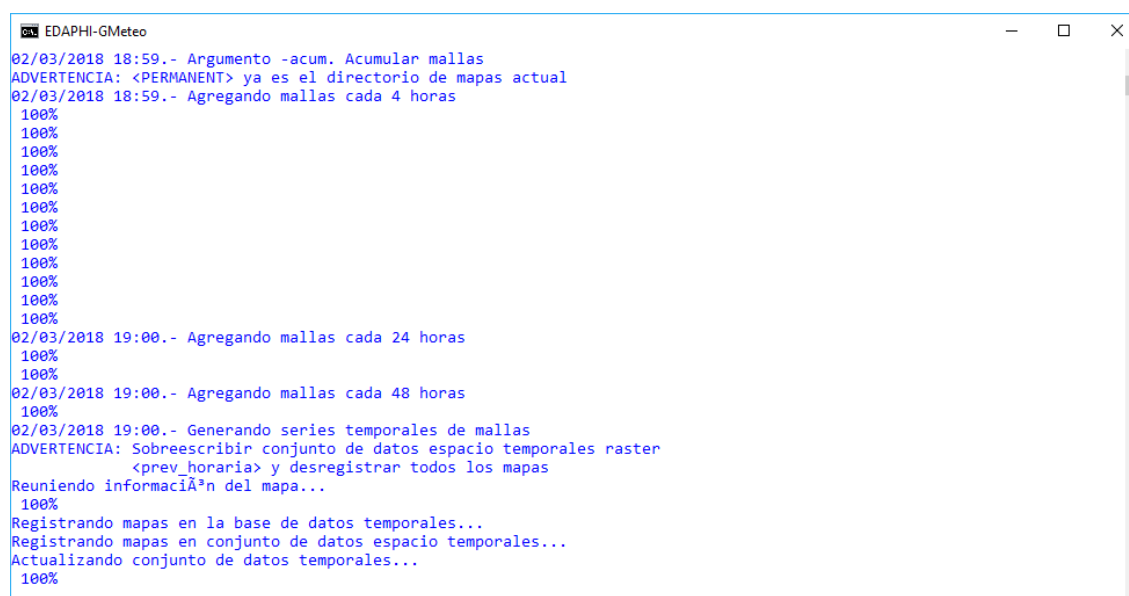
Para el uso operacional cíclico (archivo de comandos *ciclo.cmd*):

```

@Echo off
Set EDAPHI_AP=GMeteo
Set EDAPHI_GRASS_LOCATION=Segura
Set EDAPHI_GRASS_MAPSET=PERMANENT
Color F9
Mode con COLS=90 LINES=15
Rem Directorio de caso
Set EDAPHI_DIR_C=%cd%
Pushd ..
Rem Directorio General
Set EDAPHI_DIR=%cd%
Popd
Rem Entorno general
Call %EDAPHI_DIR%\Cmd\edaphi_e_py3.cmd
Rem Atención, el título puede emplearse para controlar las esperas
Title EDAPHI#OP-%EDAPHI_AP%-%EDAPHI_DIR_C%
Rem Lo siguiente sirve para las dimensiones de los gráficos PNG
Set GRASS_RENDER_WIDTH=1000
Set GRASS_RENDER_HEIGHT=1000
Call limpia_res -no_interact eq_grib=False
Echo Terminado limpia_res
Call todo_dir
If %ERRORLEVEL% GEQ 1 (
    Echo    ATENCIÓN, se ha producido un ERROR
    Pause
)

```

Al ejecutar este comando, aparecerá una ventana que muestra el registro de actividad.



```

EDAPHI-GMeteo
02/03/2018 18:59.- Argumento -acum. Acumular mallas
ADVERTENCIA: <PERMANENT> ya es el directorio de mapas actual
02/03/2018 18:59.- Agregando mallas cada 4 horas
100%
100%
100%
100%
100%
100%
100%
100%
100%
100%
100%
100%
02/03/2018 19:00.- Agregando mallas cada 24 horas
100%
100%
02/03/2018 19:00.- Agregando mallas cada 48 horas
100%
02/03/2018 19:00.- Generando series temporales de mallas
ADVERTENCIA: Sobrecribir conjunto de datos espacio temporales raster
<prev_horaria> y desregistrar todos los mapas
Reuniendo informaci3n del mapa...
100%
Registrando mapas en la base de datos temporales...
Registrando mapas en conjunto de datos espacio temporales...
Actualizando conjunto de datos temporales...
100%

```

Figura 11-26.- Ventana de registro de actividad de GMeteo cuando se emplea el comando `ciclo.cmd`

Este comando es útil para ser usado desde otro programa o el programador de tareas del sistema operativo.

11.4.8 Recálculo de resultados

En general, los diferentes procedimientos están diseñados para que no sobrescriban resultados, y se aprovechen los anteriores, si se encuentran. Para realizar un recálculo, hay que borrar los resultados anteriores, para lo que se puede usar el comando `limpia_res eq_grib=True`.

11.4.9 Condiciones de espera en ejecución

El módulo quedará a la espera de que en el directorio donde busca los archivos GRIB se encuentre una serie completa de 48 (configurable) horas de previsión (empezando por un archivo del tipo `*+000h00m`). También comprueba que no se haya calculado esa serie con anterioridad

11.4.10 Configuración

La configuración de la aplicación se realiza a través de archivos *Conf_GMeteo.xlsx*, *Conf_Map_Raster.xlsx* y *Conf_Map_Areal.xlsx*.

11.4.10.1 Configuración general

Se realiza con el archivo *Conf_GMeteo.x/sx*. Permite la modificación de algunos parámetros generales de la aplicación. Tal y como puede comprobarse en la figura, cuenta con descripción de los campos y notas aclaratorias

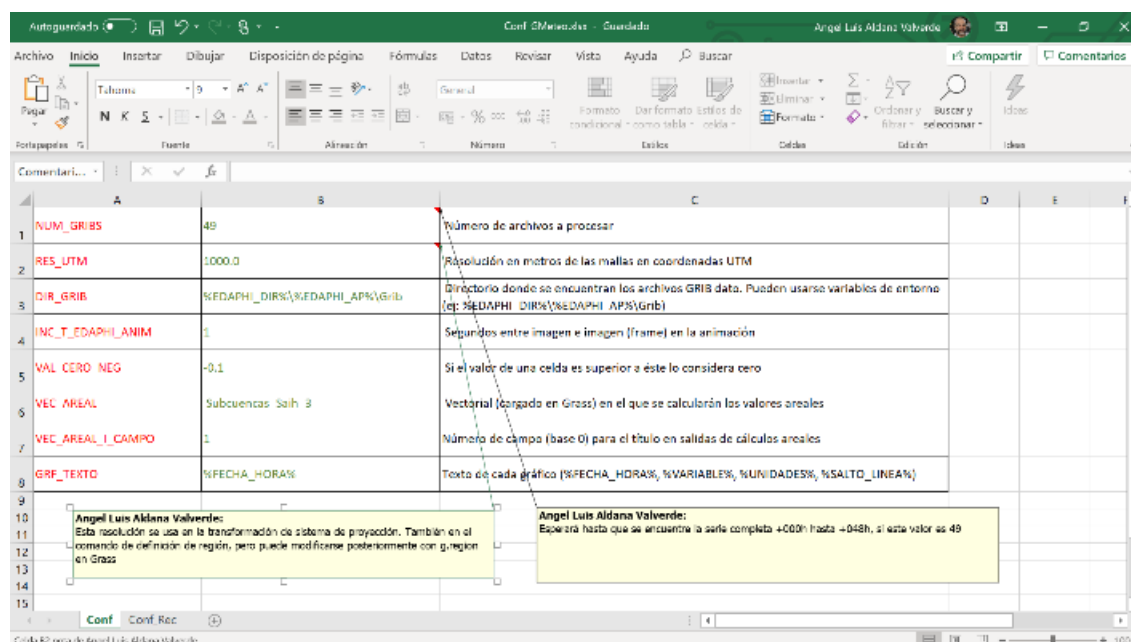


Figura 11-27.- Archivo de configuración *Conf_GMeteo.x/sx*

11.4.10.2 Configuración de resultados gráficos en formato matricial (ráster)

Entre los resultados que ofrece la aplicación están los mapas por intervalo de mallas. Hay un alto grado de libertad para personalizar estos mapas.

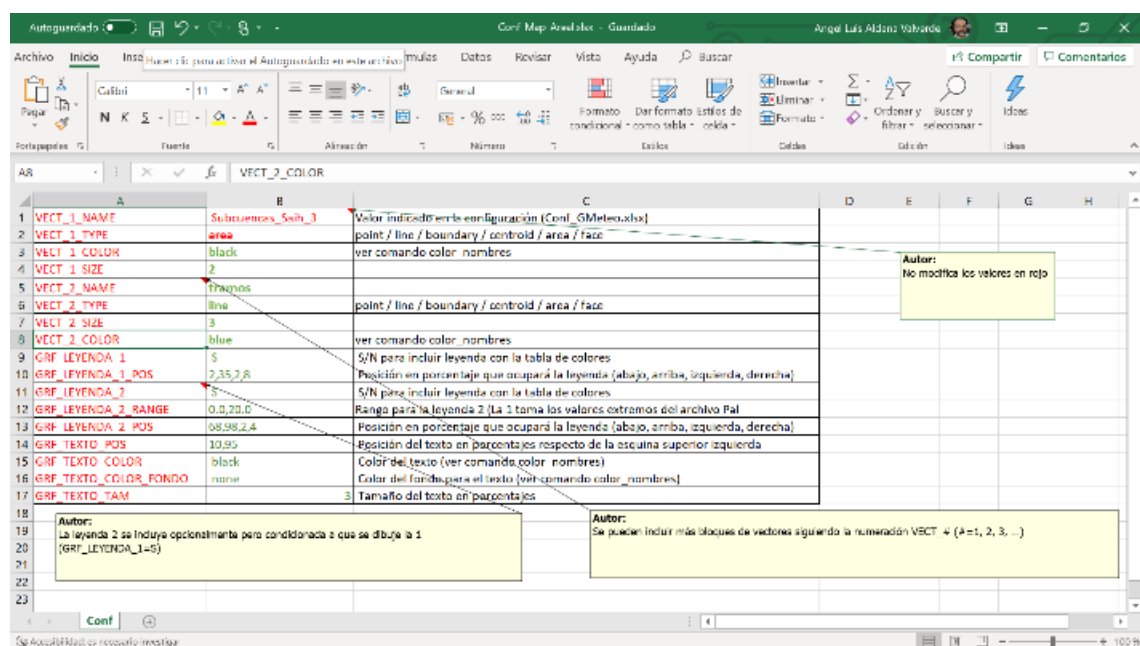


Figura 11-30.- Archivo Conf_Map_Areales.xlsx para configuración de mapas de resultados de cálculos areales

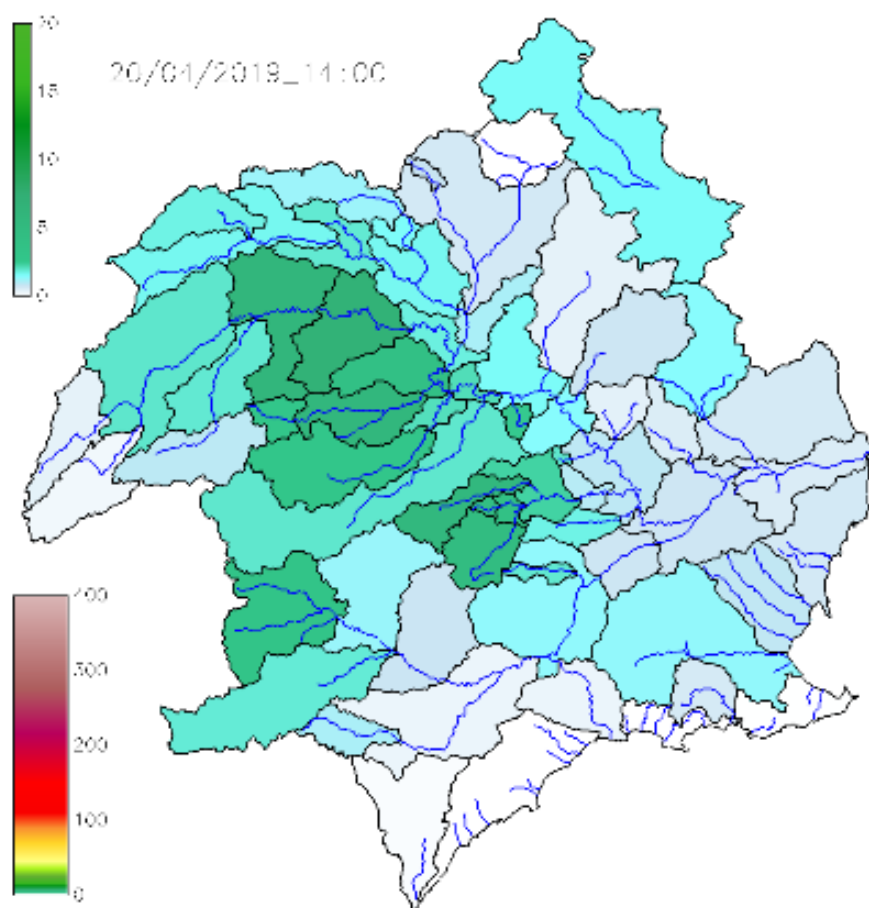


Figura 11-31.- Ejemplo de resultado en formato vectorial

11.4.10.4 Polígonos para precipitaciones areales

El módulo GMeteo podrá leer capas SIG de polígonos (si están en formato SHP) con el comando `importa_areas` para que sean importadas por Grass, aunque el usuario puede definirla en la base de datos de Grass por el método que considere oportuno. El nombre de la capa se definirá en el archivo de configuración general y debe estar referido en *Conf_Map_Areales.xlsx*.

El resto de las capas vectoriales que se deseen incluir en los mapas gráficos deben ser incluidos también en la base de datos Grass.

11.4.11 Uso de utilidades comunes

El módulo GMeteo está programado con Python 2.7 incluido en Grass 7.0, mientras que las utilidades comunes (capítulo 7) de EDAPHI están programadas en una versión posterior. Para emplear estas utilidades hay que lanzar un archivo de comandos que cree su propio entorno, como en el ejemplo siguiente:

```
@Echo off
Rem Tiene que ser llamado con start, para crear el entorno propio
IF NOT "%1"=="GEN" (
    set EDAPHI_AP=Gen
    color F9
    mode con COLS=90 LINES=15
    Rem Directorio de caso
    Set EDAPHI_DIR_C=%cd%
    Pushd ..
    Rem Directorio General
    Set EDAPHI_DIR=%cd%
    Popd
    Rem Entorno general
    Call %EDAPHI_DIR%\Cmd\edaphi_e_py3.cmd
)
Rem Genera un archivo xlsx con los resultados de las 12 horas contadas
desde el instante actual
call ts_util -sub_int t_ini=t_0_gen num_int=13
xlsx=%EDAPHI_DIR%\GMeteo\Res\Xlsx\GMeteo_Lluv_TsRes.xlsx n_sheet=Datos
attrib=Lluv dir_res=%EDAPHI_DIR%\GMeteo\Res\Xlsx
Rem A partir del archivo del comando anterior, genera gráfico
matricial de series temporales
call ts_util -w_grd_s
xlsx=%EDAPHI_DIR%\GMeteo\Res\Xlsx\GMeteo_Lluv_TsRes.sub_int.xlsx
attrib=Lluv dir_res=%EDAPHI_DIR%\Html\GMeteo\Grf_Areal title="Lluv. a.
previstas en siguientes 12 h."
Rem Calcula las estadísticas de los resultados de las 12 que siguen al
instante actual
call ts_util -stats_t
xlsx=%EDAPHI_DIR%\GMeteo\Res\Xlsx\GMeteo_Lluv_TsRes.sub_int.xlsx
dir_res=%EDAPHI_DIR%\GMeteo\Res\Xlsx attrib=Lluv
Rem Genera un gráfico con esas estadísticas
call ts_util -w_tv_s
xlsx=%EDAPHI_DIR%\GMeteo\Res\Xlsx\GMeteo_Lluv_TsRes.sub_int.Stats_t-
Lluv.xlsx title="Valores representativos"
dir_res=%EDAPHI_DIR%\Html\GMeteo\Grf_Areal
```

```
IF NOT "%1"=="GEN" (
    exit
)
```

O el siguiente, para resultados relacionados con las lluvias areales previstas

```
Rem Tiene que ser llamado con start, para crear el entorno propio
@Echo off
set EDAPHI_AP=Gen
color F9
mode con COLS=90 LINES=15
Rem Directorio de caso
Set EDAPHI_DIR_C=%cd%
Pushd ..
Rem Directorio General
Set EDAPHI_DIR=%cd%
Popd
Rem Entorno general
Call %EDAPHI_DIR%\Cmd\edaphi_e_py3.cmd
Rem Genera un gráfico matricial de series temporales de las lluvias
areales
call ts_util -w_grd_s
csv=%EDAPHI_DIR%\GMeteo\Res\Csv\GMeteo_Lluv_TsRes.csv attrib=Lluv
dir_res=%EDAPHI_DIR%\Html\GMeteo\Grf_Areal title="Lluvias areales
previstas"
Rem Calcula estadísticas de las lluvias areales
call ts_util -stats_t
xlsx=%EDAPHI_DIR%\GMeteo\Res\Xlsx\GMeteo_Lluv_TsRes.xlsx
dir_res=%EDAPHI_DIR%\GMeteo\Res\Xlsx attrib=Lluv
Rem Genera un gráfico de series temporales de las estadísticas
call ts_util -w_tv_s
xlsx=%EDAPHI_DIR%\GMeteo\Res\Xlsx\GMeteo_Lluv_TsRes.Stats_t-Lluv.xlsx
title="Valores representativos" dir_res=%EDAPHI_DIR%\Html\GMeteo\Grf_Areal
Rem Genera un archivo HTML con el listado de variables contenidas en
los resultados
call ts_util -html_table_vars
csv=%EDAPHI_DIR%\GMeteo\Res\Csv\GMeteo_Lluv_TsRes.csv attrib=Lluv
dir_res=%EDAPHI_DIR%\Html\GMeteo
exit
```

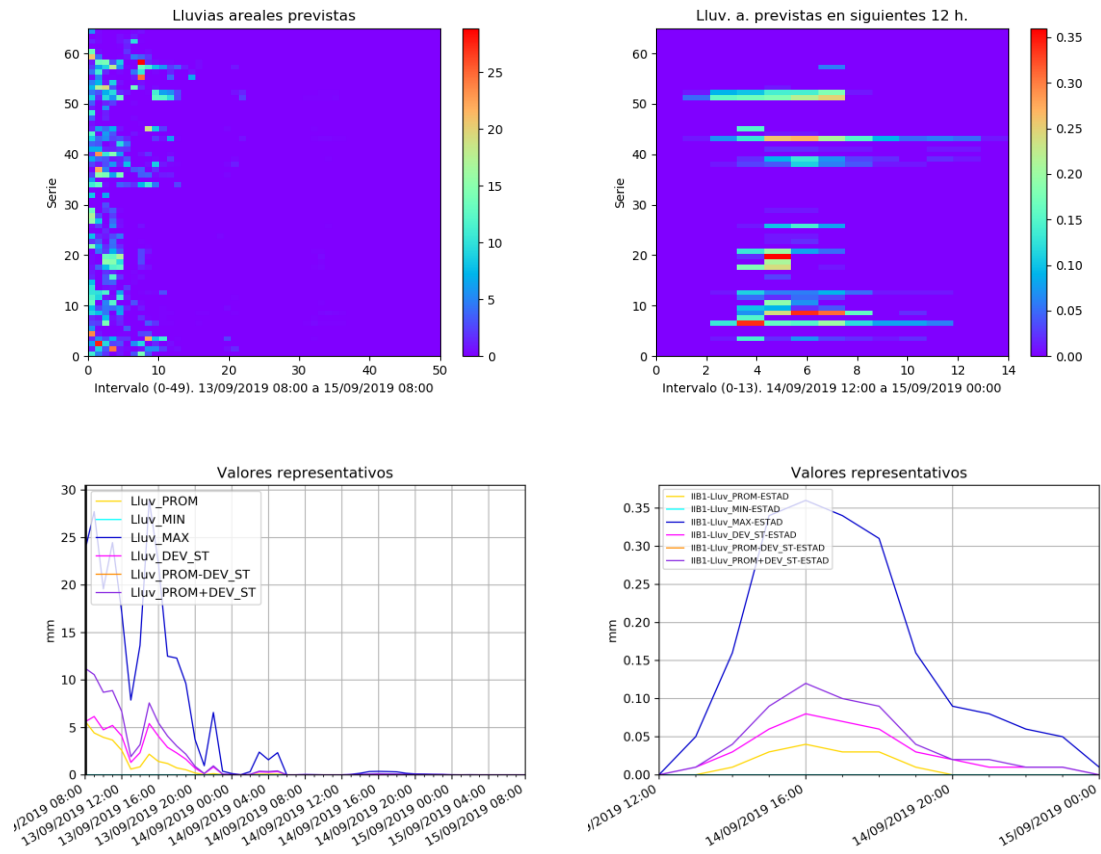



Figura 11-32.- Ejemplos de salidas gráficas generadas con los comandos descritos

12 EDAPHI-PaPOS

12.1 Introducción

Los modelos EDAPHI-MH cuentan con varias opciones para tener en consideración el estado de humedad del terreno dependiente de la lluvia antecedente. Todas ellas se basan en consideraciones de su ámbito geográfico en la configuración, que depende la subdivisión en subsistemas en los trabajos de implementación de la solución a un caso de aplicación.

Se consideró la necesidad de aportar otro enfoque que se caracterice por:

- Solución global independiente de la subdivisión en subsistemas hidrológicos (geográficos)
- Uso de un índice de lluvia antecedente (API, "antecedent precipitation index"). El enfoque basado en este tipo de índices permite reproducir mejor la evolución real de la humedad del suelo que a partir de un simple acumulado.

12.2 Fundamentos metodológicos

12.2.1 Uso del parámetro a de estado de humedad antecedente

Se usa el parámetro a de estado de humedad por la lluvia antecedente que permite una transición gradual del estado de humedad del terreno, compatible con los conocidos como estados I, II y III de la aplicación del método del número de curva.

12.2.2 Índice de lluvia antecedente

El uso de un índice en la cuantificación de la lluvia antecedente, en lugar de usar la lluvia total acumulada en un periodo de tiempo (5 días, generalmente), permite tener en consideración que:

- Las lluvias recientes tienen mayor influencia.
- Las lluvias antiguas van perdiendo importancia progresivamente.

Esto es especialmente acusado en las zonas áridas y semiáridas, que cuyos terrenos "no tienen mucha memoria" en cuanto a lo llovido en los días previos, por lo que su respuesta depende mucho de las lluvias más recientes.

La formulación adoptada es:

$$API = c * \sum_{i=1}^n k^{i-1} * P_i$$

$$c = \frac{n}{\sum_{i=1}^n k^{i-1}}$$

Donde i hace referencia al día, P_i la lluvia acumulada en ese día y k es un parámetro de configuración cuyos valores deben estar en el intervalo $[0, 1]$.

Para que sea más fácil la comparación con otras formulaciones, se ha adoptado en la implementación práctica el valor $n=5$

La formulación se ha definido de modo que sea incluya la solución de acumulación de la lluvia total. Caso $k=1$.

La fórmula anterior equivale a una media ponderada de la lluvia, con pesos dados por la expresión:

$$peso_i = \frac{n * k^{i-1}}{\sum_{i=1}^n k^{i-1}}$$

La gráfica siguiente ilustra la influencia del parámetro K en la ponderación de lluvias:

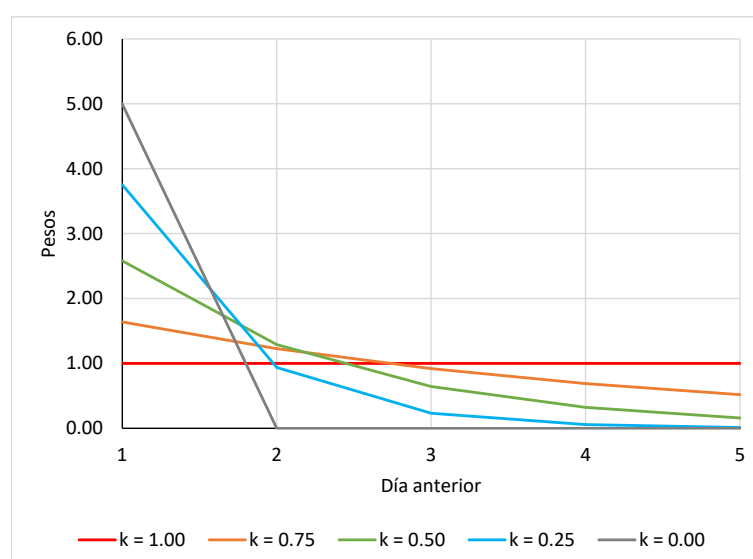


Figura 12-1.- Influencia del parámetro k en la ponderación de lluvias en los días previos

Puede apreciarse que, en los casos extremos, cuando $k=1$ los pesos son la unidad, mientras que si $k=0$ sólo se considera la lluvia en las últimas 24 horas, pero proporcionando un valor que sería equivalente a que hubiese llovido ese valor en 5 días.

La siguiente gráfica también puede resultar útil para explicar el efecto de k en la ponderación de cada día:

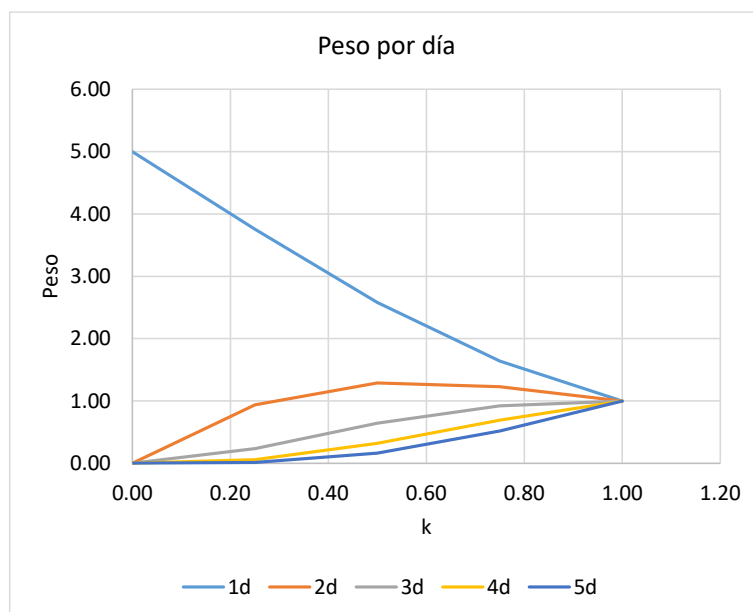


Figura 12-2.- Influencia de k en la ponderación de cada día

La formulación adoptada para la evolución de a en función de la lluvia se expresa en función de la lluvia media P_{med-nd} .

$$a = a_{max} - \frac{a_{max} - a_{min}}{1 + \left(\frac{P_{med-nd}}{P_{a_med}} \right)^{pot}}$$

Para que la API tenga la misma interpretación, se adopta el valor

$$peso_i = \frac{k^{i-1}}{\sum_{i=1}^n k^{i-1}}$$

O lo que es mismo, el valor anterior de API pero dividida por n , con lo cual se llega a

$$a = a_{max} - \frac{a_{max} - a_{min}}{1 + \left(\frac{\frac{API}{n}}{P_{a_med}} \right)^{pot}}$$

Para lograr la consistencia con las fórmulas al uso en hidrología de diseño, suponiendo los estados I y III del método de número de curva como extremos, se adopta:

$a_{max} =$	2.30
$a_{min} =$	0.42

Y P_{a_med} sigue siendo el parámetro a calibrar, junto a pot .

Adicionalmente, se sigue usando la fórmula de evolución de la relación $P0a / Sa$ (rel_POS):

$$rel_POS = rel_{POS_{min}} - \frac{rel_{POS_{max}} - rel_{POS_{min}}}{a_{max} - a_{min}} (a - a_{min})$$

Y los valores habituales:

$rel_POS_{min}=$	0.1
$rel_POS_{max}=$	0.3

12.3 Datos de partida

Como el resto de los módulos EDAPHI, PaPOS puede configurarse con un archivo XLSX.

Se muestra a continuación la parte de la tabla que tiene que ver con los datos:

N_ARCH_K	%EDAPHI_DIR_C%\SIG\k.asc	Malla de valores K
N_ARCH_PREC_PLUV	%EDAPHI_DIR_C%\ST\p_ant_pluv.csv	Archivo de series de precipitaciones en pluviómetros con discretización mínima horaria
N_ARCH_CN	%EDAPHI_DIR_C%\SIG\nc.grass.asc	Archivo de malla de NC
N_ARCH_MASC	%EDAPHI_DIR_C%\SIG\masc.grass.asc	Polígono con el contorno
DIR_AREAL	Prec Modelos	Subcarpetas de SIG\masc con archivos masc_areas.asc y masc_areas.csv para el cálculo de areales
VEC_AREAL	%EDAPHI_DIR_AREA%\SIG\subcuencas_pre c.shp %EDAPHI_DIR_AREA%\SIG\nod_S_Ar ea_redu.shp	Capas vectoriales asociadas a lo anterior para gráficos de mapas

Tabla 6.- Filas de la hoja Conf del archivo de configuración de la aplicación relacionadas con los datos de entrada.

Todas las mallas deben tener las mismas características geográficas. Aunque EDAPHI cuenta con utilidades para realizar las transformaciones necesarias.

12.3.1 Valores de k

El parámetro k tendrá que ver con las características de la zona. Incluso en un área como el de la cuenca del Segura, se cuenta con zonas con diferente comportamiento,

teniendo como casos extremos las zonas de ramblas costeras y las cuenca de cabecera de los embalses de Cenajo y Fuensante. En este caso de aplicación, el parámetro k se ha definido por subsistemas. Es decir, se establece de forma discontinua en el espacio, lo que no es muy riguroso conceptualmente y, además, repercute en la continuidad de los resultados. Pero este enfoque facilita la calibración de parámetros.

Se como sea que se define k , la aplicación espera una malla con sus valores en el territorio.

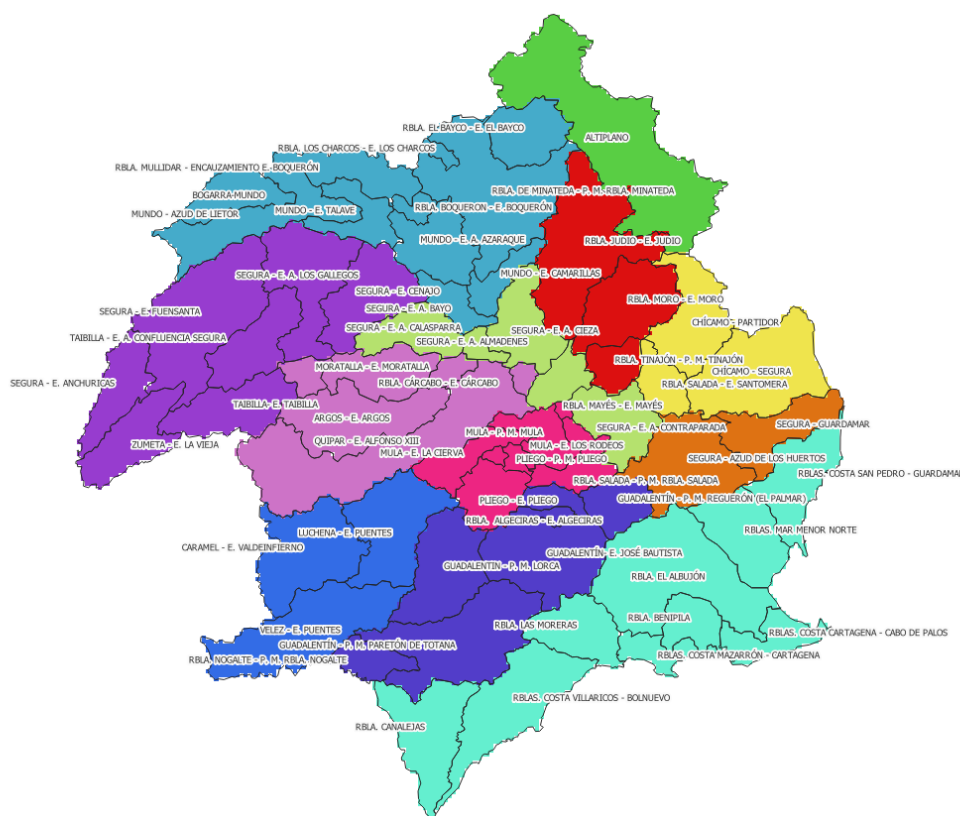


Figura 12-3.- Áreas de igual valor de k

Una vez definidas las áreas de igual k , a través de una tabla se relaciona con valores con los que se generará una malla.

ik	Desc	K
1	Segura-E. Cenajo	0.75
2	Mundo	0.75
3	Embalses Margen Derecha	0.50
4	Rbla. Tinajón, E. Judío y E. Moro	0.50
5	Embalses - Contraparada	0.50
6	Ramblas Margen derecha	0.50
7	Contraparada Guardamar	0.25
8	Chícamo y E. Santomera	0.25

9	E. Puentes y E. Valdeinfierno	0.65
10	Guadalentín desde Valdeinfierno	0.65
11	Ramblas costeras	0.25
12	Altiplano	0.80

Tabla 7.- Tabla que relaciona las áreas de igual k con los valores

Para generar la malla k , se hace uso de un comando de EDAPHI:

```
ed_cmd raster -reclass n_asc=SIG\\areask.asc xlsx=Conf_pap0s.xlsx shn=iAreask  
iant=1 ipos=2 n_asc_res=Sig\\K.asc vdef=1.0 /float
```

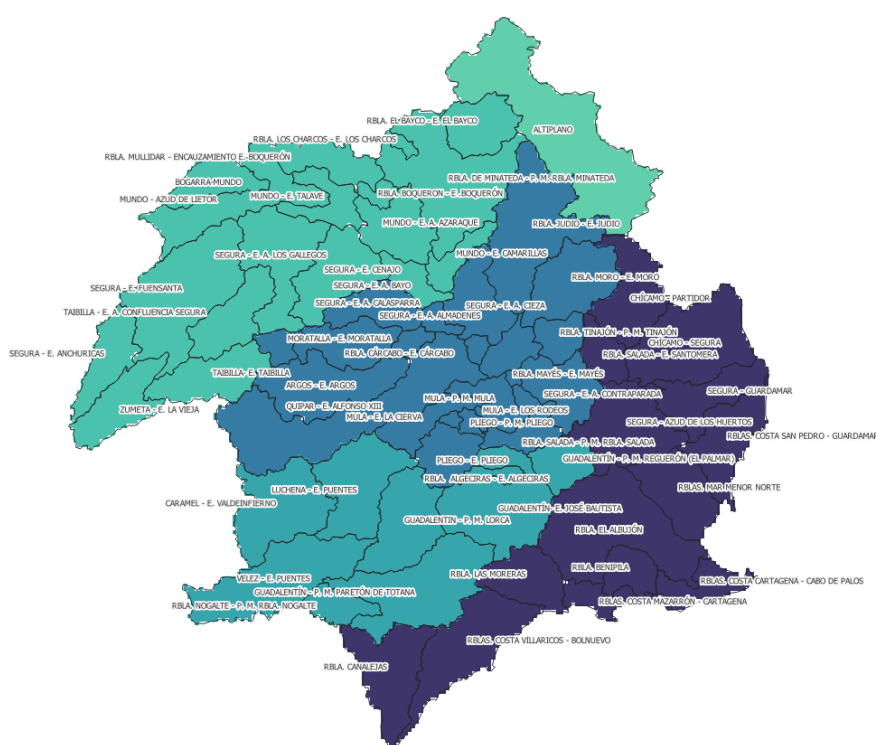


Figura 12-4.- Mapa que ilustra la malla de valores de k en el caso de aplicación de la cuenca del Segura

12.3.2 Malla de número de curva en condiciones normales

El otro dato de caracterización básica que necesita es la malla del parámetro número de curva en condiciones normales.

12.3.3 Datos pluviométricos de lluvia antecedente

La lluvia antecedente se indica en un archivo de episodio con la longitud necesaria. En el caso de aplicación de la cuenca del Segura, se mantiene un archivo con 10 días de lluvias horarias, aunque se usarán sólo los 5 días últimos.

En el caso del Segura se genera, en horas enteras, el archivo con un archivo de comandos que incluye lo siguiente:

```
rem @A Genera archivos de interés para los cálculos de lluvia
antecedente
copy /Y Res\Modelos\areales.csv Res\Modelos\areales_00.csv
call ed_cmd ts_calc -c_inct inct=60 a_csv=Res\Modelos\areales_00.csv
r_csv=Res\Modelos\areales_60min.csv
call ed_cmd trz_ts -fill arch_ref=Res\Modelos\areales_60min.csv
arch_res=Res\p_antecedente.csv num_int=240 ints="0"
```

12.3.4 Máscaras de áreas y de contorno

La máscara de contorno define con valores mayor que cero la celdas que se calcularán.

Para los cálculos areales se usan las máscaras de áreas, como en otras aplicaciones EDAPHI. Deben contener dos archivos:

- *masc_areas.asc*.- malla con valores enteros asociadas a cada área, en formato ASC de GIS-Grass o ASC de ESRI.
- *masc_areas.csv*.- un archivo tipo CSV (texto con campos separados por comas) que debe incluir cabecera y, al menos, los campos *id* y *desc*. EL número de la fila se asociará al valor numérico del archivo ASC

Se muestra a continuación un ejemplo de las primeras filas de un archivo CSV de máscara

```
desc,id,rio,id_nod,id_geo,area_km2
Marco de Control Rbla de Minateda,Rbla. de Minateda - 03M01A1,Rambla
de Minateda,03M01A1,S-001,69.92
Arroyo de Morote,A. de Morote,Arroyo de Morote,Arroyo de Morote,S-
006,380.85
Aforo río Segura (El Gallego),R. Segura - 04A04A1,Río
Segura,04A04A1,S-105,305.96
Aforo río Mundo (Azaraque),R. Mundo - 03A04A1,Río Mundo,03A04A1,S-
013,269.32
Embalse del Judío,Rbla. del Judío - 02E05E1,Rambla del
Judío,02E05E1,S-014,517.9
```

Y, a continuación, una representación de un archivo ASC de la máscara de área.

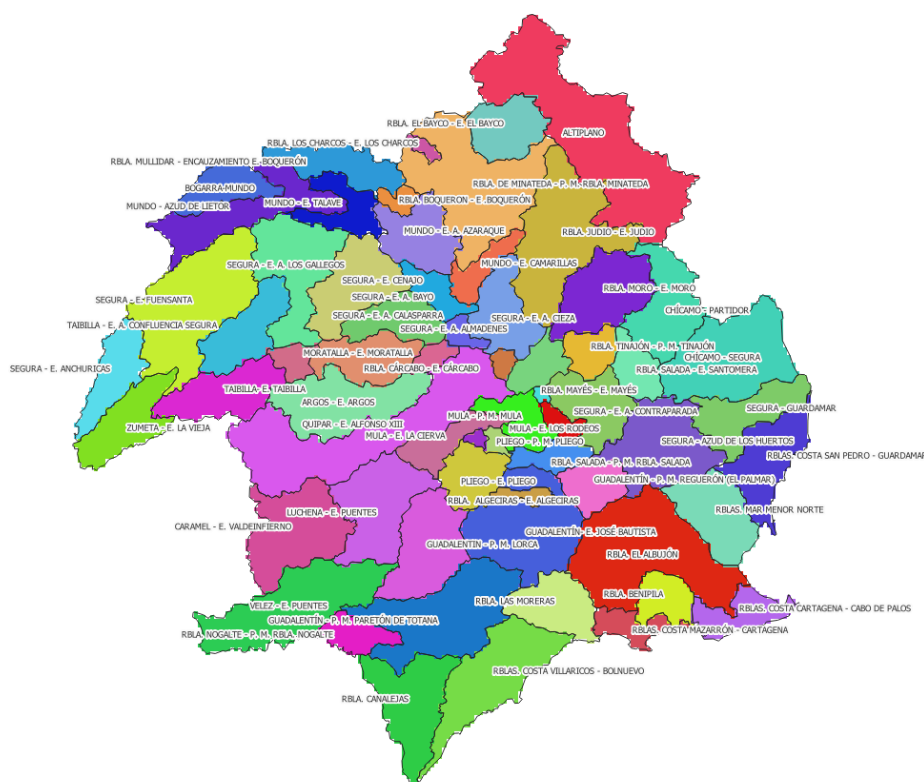


Figura 12-5.- Una de las máscaras de área de configuración de la aplicación

Pueden establecerse varias máscaras de áreas en las que se calcularán los valores areales. Simplemente hay que usar el separador “|” al indicar las listas en los campos correspondientes del archivo de configuración.

12.4 Resultados

Todos las variables resultado tienen salida en forma de mallas ASC y de valores areales en archivos CSV.

Además, se generan archivos gráficos (PNG) de mapas, configurables, que ilustran los resultados matriciales y vectoriales.

12.4.1 Relacionados con llluvias

Los resultados relacionados con las llluvias son:

- Lluvias medias, acumuladas y máximas en los últimos 5 días. Aunque los valores máximos no se usan en los cálculos, resultan útiles en tareas de análisis y supervisión.
- API
- Lluvias horarias en las últimas 24 horas. Este resultado es de interés en otros módulos.

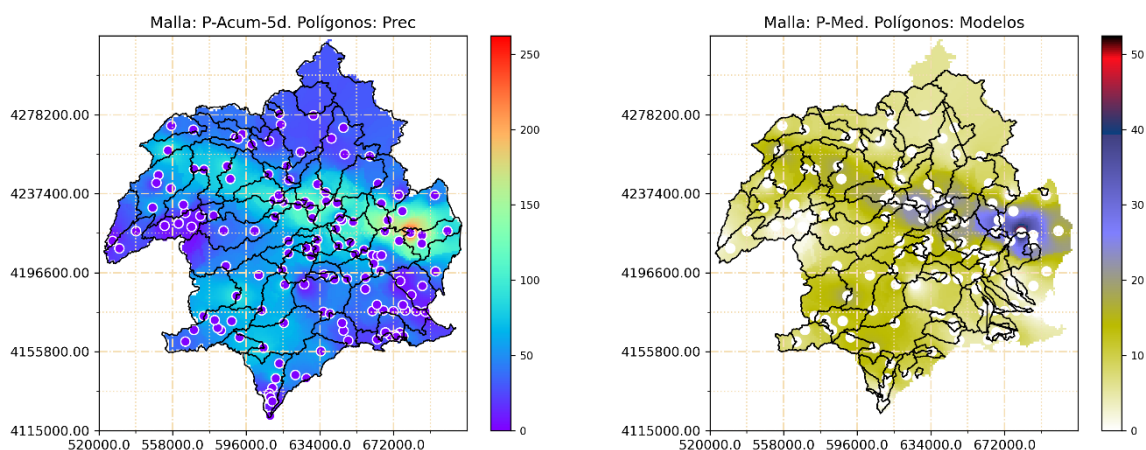


Figura 12-6.- Ejemplos de algunos de los resultados gráficos relacionados con las lluvias

12.4.2 Parámetros de escorrentía

- Parámetro a .- Es el resultado más importante que se busca, para definir el estado de humedad del terreno.
- Parámetros dependientes. - En función de a , se calcularán el resto de parámetros de escorrentía: NCa , $P0a$ y Sa .

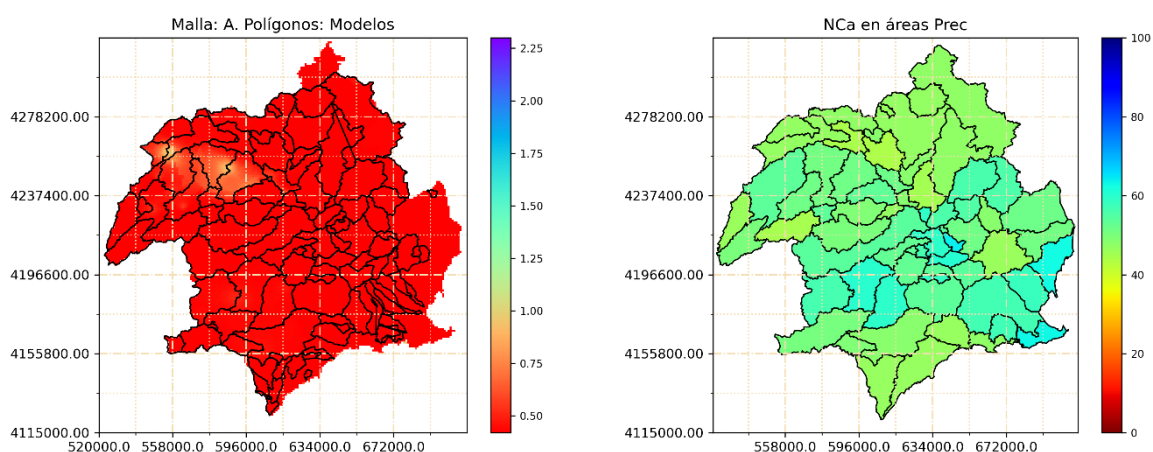


Figura 12-7.- Ejemplos de algunos de los resultados gráficos relacionados con los parámetros de escorrentía

12.5 Comandos

Admite varios parámetros, algunos de los cuales son útiles en fases de calibración.

Al ejecutar `ed_cmd pap0s` aparece en la ventana lo siguiente, que informa de las posibilidades de uso desde la línea de comandos:

```
Cálculo de mallas de parámetros de escorrentía
Usa el archivo de configuración Conf_pap0s.xlsx
Comandos:
```

```

-desc_r: descripción de las capas raster principales
-l_arch: Lista de todos los archivos
-calc_r: Muestra o guarda las mallas
        /w: Las presenta
        /s: Las guarda en la carpeta Res y calcula los valores
areales
        /png: Guarda mapas en PNG (areales si /s)
        n_arch=: Archivo de datos pluviométricos (Opcional)
        p_med=: Parámetro de transformación P-a (Opcional)
        pot=: Parámetro de transformación P-a (Opcional)
        k_api=: Parámetro del índice de lluvia antecedente
(Opcional). Si se indica no se usa la malla k.asc
-calc_t: Realiza todos los cálculos y genera todos los resultados

```

13 EDAPHI-MH. Modelos hidrológicos operacionales

13.1 Introducción

El pronóstico hidrológico requiere la utilización de modelos para la previsión de niveles y caudales en un modo de uso muy especial como es el operacional en tiempo real.

Se requiere posibilidad de aplicar filtros a los datos, capacidad de trabajar con falta de datos, posibilidad de realizar modificación de parámetros rápidamente o contar con utilidades de calibración automática.

EDAPHI se ha construido sobre la consideración de éstos y otros requisitos, y ha servido para generar modelos de previsión como:

- a) *MHH*, que se apoya en las aplicaciones HEC-HMS y HEC-DSSVue (<http://www.hec.usace.army.mil/software>), y fue el primer modelo hidrológico de EDAPHI, ó
- b) *MHED*, cuyos algoritmos de cálculo están incorporados en el código Python, aunque toma la descripción del sistema hidrológico de los archivos HEC-HMS.

Ambos módulos estarán accesibles para el usuario, por defecto, pudiendo operar con uno u otro.

13.2 Ventajas a la opción MHED

La aplicación Hec-HMS cuenta con algunos inconvenientes para su uso operacional, como la generación de muchos archivos temporales, lo que es aumentado al usarla con una capa de conexión con el resto del sistema EDAPHI. Con la generación del módulo *MHED* se han logrado varias mejoras o ventajas, entre las que se destacan

- Estabilidad.- La versión con código propio es más estable informáticamente para el uso que se le da, pues no genera archivos temporales y realiza la mayor parte de las operaciones con los datos en memoria
- Tiempo.- Por usar menos el almacenamiento en disco, fundamentalmente, los tiempos de cálculo se reducen significativamente, especialmente en las tareas de autocalibración.
- Control de errores.- Con el código propio es más fácil identificar errores y encontrar soluciones.
- Independencia de software externo

- Análisis topológico para propagación de situaciones o eventos detectados en un punto, como, por ejemplo:
 - Si en un punto del sistema hidrológico se detecta un valor de nivel o caudal por encima del máximo valor de referencia, se propaga un mensaje hacia aguas abajo que aparecerá en los gráficos de los nodos aguas abajo.
 - De modo análogo, se propagará un mensaje en caso de falta de datos en un nodo.
- Laminación en embalses: El módulo PE-XN (capítulo 14) puede usarse independientemente, pero está incluido también dentro del código de MHED, por lo que puede usarse para solucionar problemas de laminación de embalses. Debe tenerse en cuenta que Hec-HMS cuenta con el gran inconveniente de que los cálculos de en embalses dependen únicamente del nivel
- Eliminación del sesgo del pronóstico.- Al usar la función de pérdidas del número de curva basado en ajuste en pasado, los modelos tienen la tendencia a sobreestimar. Este efecto se compensa con MHED, manteniendo constante un coeficiente de escorrentía (opción configurable), con lo que desaparece este tipo de sesgo.

13.3 Funcionalidad de la aplicación

Los módulos EDAPHI-MH realizan cálculos hidrológicos en tiempo real con resultados de niveles y caudales, permitiendo gestionar múltiples escenarios, lo que facilita un enfoque no determinista, como el basado en entradas relacionadas con probabilidades de ocurrencia.

Además de estar preparado para el pronóstico hidrológico en tiempo real (modo operacional), un módulo EDAPHI-MH puede ser usado en modo estudio, simulando escenarios sin consideración de las fases operacionales ni de distinción de tiempo futuro o pasado.

13.3.1 Interacción con las aplicaciones Hec

13.3.1.1 Caso MHH

La aplicación realiza cálculos hidrológicos interactuando con las aplicaciones Hec sin intervención por parte del usuario. Prepara los datos de entrada de estas aplicaciones, ordena la ejecución de los cálculos, controla la ejecución y lee los resultados. Hay un preproceso de series temporales y un postproceso en cada interacción. También se

modifican parámetros cambiando archivos HEC-HMS (aquellos con extensión BASIN, CONTROL, MET, GAGE y RUN).

Los parámetros de cálculo, tales como números de curva, desfases, etcétera, serán almacenados en tablas en hojas de cálculo y se trasladarán a los archivos correspondientes de las aplicaciones Hec. Algunos parámetros serán calculados, a partir de otros, o se fijarán en un proceso de autocalibración

13.3.1.2 MHED

En el caso del módulo MHED, la topología del sistema se construye a partir de los archivos Hec-HMS, pero no interactúa de ningún modo con este software. Simplemente lee los archivos, construye la topología y la caracterización básica, que luego es modificada a través de los archivos de configuración

13.3.2 Trabajo con escenarios

El módulo MHH ofrece varias posibilidades de operar con escenarios, que se definen con un conjunto de parámetros de cálculo y unas series temporales de entrada como dato.

13.3.2.1 De simulación

Se trata de escenarios en los que no se distingue pasado o futuro. Son útiles para realizar análisis.

13.3.2.2 De tiempo pasado

Los escenarios de tiempo pasado servirán para los análisis de resultados de los modelos, previamente a calcular el pronóstico. Si hay datos de caudal en algún nodo, la comparación de series calculada y observadas será posible.

13.3.2.3 De calibración

Los escenarios de calibración son similares a los escenarios pasados, salvo que, en lugar de indicar un valor único para cada parámetro, puede indicarse un rango para aquellos parámetros que se deseen sean objeto de autocalibración. El uso de este tipo de escenario tiene sentido cuando se cuenta con datos de caudal en algún nodo.

Calibración automática de parámetros de simulación

Los módulos MH cuentan con capacidad de calibración automática (autocalibración) de parámetros de simulación, haciendo uso de algoritmos de computación evolutiva de

optimización paramétrica para la minimización de los errores de simulación. Los errores se evaluarán comparando mediciones (series dato) con simulaciones (series resultado del cálculo hidrológico).

Ofrece la posibilidad de agrupar entidades por zonas para calibrar, con la hipótesis de que se encuentran en un estado hidrológico similar (humedad, magnitud relativa de precipitaciones y caudales).

13.3.2.4 De tiempo futuro

Los escenarios de futuro son los destinados a la previsión en su fase final, después de los análisis y calibraciones en tiempo pasado. Los parámetros de simulación de los escenarios futuros se establecen en los análisis y calibraciones con los escenarios pasados.

Las entradas al sistema sobre el que se desea hacer la previsión serán series temporales de caudales en estaciones de aforos (nodos Q), caudales de salida en embalses (nodos V) o lluvias en subcuencas (nodos S).

13.3.2.5 Ajuste a los datos en puntos de medida

Los hidrogramas calculados hasta los tiempos futuros pueden reajustarse si se cuenta con puntos de observación como nodos Q. En ese caso, el hidrograma resultado final estará definido por los caudales medidos en tiempo pasado, o calculados a partir de los niveles medidos, y los caudales calculados en futuro (según las entradas al sistema) a los que se les aplica una corrección según el error en el instante actual (último con medidas) que se extiende hacia el futuro. Esta corrección pretende compensar el error de simulación.

13.3.3 Curvas de gasto en diferentes formatos

Se ofrece la posibilidad de definir curvas de gasto en diferentes formatos, ya sean tablas o fórmulas. Incluso ofrecen la posibilidad de que se hagan ajustes en tiempo real basados en observaciones.

13.3.4 Diferentes modos de abordar el problema del estado de humedad antecedente

Quizás los parámetros más relevantes en el cálculo hidrológico de subcuencas son los de representación del estado de humedad antecedente, por la importancia en los resultados, al determinar los volúmenes de esorrentía. Es por ello por lo que se ha

dotado a los módulos MH de varias posibilidades para el tratamiento de esta característica, siempre con el uso de un parámetro que la representa al que se denomina *a* (ver apartado 8.2.1):

- Valores fijos hipotéticos (seco, húmedo, medio, ...)
- Posibilidad de autocalibración dentro de unos rangos de variación
- Cálculo en función de la precipitación en los días anteriores
- Cálculo por transformación del parámetro de otro modelo u otra variable

13.3.5 Gestión de archivo histórico de parámetros

El módulo MH cuenta con utilidades para la gestión de archivos históricos de parámetros. Se genera un archivo que almacena los parámetros seleccionados para los pronósticos en cada intervalo a lo largo del tiempo. Esto facilita el análisis pasado del sistema y posibilita la implementación de soluciones de calibración “blanda” o con inercia.

13.3.6 Cálculo de errores de simulación

Los módulos MH usan, según la configuración, cualquiera de las fórmulas indicadas en el apartado 8.1.1. Pero, adicionalmente, admiten otro parámetro de interés en el pronóstico: la limitación del periodo de comparación de series calculadas y observadas en un intervalo reciente. Se ha comprobado que, en algunos casos, se mejoran los pronósticos si los cálculos de error se realizan limitando las estadísticas a las horas más recientes. Se pueden configurar tanto las fórmulas de error como el número de horas

13.3.7 Reajustes de resultados en tiempo futuro

Se aplican los descritos en 8.1.2.

13.4 Modelación hidrológica

Se emplean los métodos descritos en el capítulo 8 “Enfoques metodológicos”.

13.5 Caracterización hidrológica

La caracterización hidrológica básica orientada a la definición subcuencas y tramos y a la obtención de atributos, todo ello necesario para la implementación de modelos hidrológicos puede realizarse con *GCuencas* (capítulo 18). Con ayuda de un SIG pueden obtenerse fácilmente, especialmente si se cuenta con las subcuencas y tramos definidos geográficamente.

13.6 Establecimiento de parámetros de modelación

Las mismas hojas de configuración de parámetros son autoexplicativas. Además, la documentación de EDAPHI está acompañada por unos archivos de libros MS-Excel que ofrecen explicaciones y utilidades complementarias relacionadas con los conceptos de modelación.

Los parámetros obtenidos en el proceso de caracterización son una primera aproximación, que puede refinarse con estudios con datos históricos, como los que pueden realizarse con ADDA (capítulo 26), lo que llevará una cierta precalibración del o los modelos, que después habrá que afinar (calibrar). Esta calibración puede realizarse en tiempo real. El modelo MH ofrece varias alternativas para esto, desde la consideración de varios escenarios pasados, con diferentes valores de parámetros, y la posibilidad de calibración automática de parámetros. Con datos de caudal pueden calcularse los errores de todos los escenarios de cálculo en pasado y los de calibración, y la aplicación seleccionará los parámetros del que tenga error menor.

En el apartado de configuración (13.8) y, más concretamente, en el de selección de parámetros para escenarios futuros (13.9) se dan indicaciones más detalladas.

13.7 Carpetas

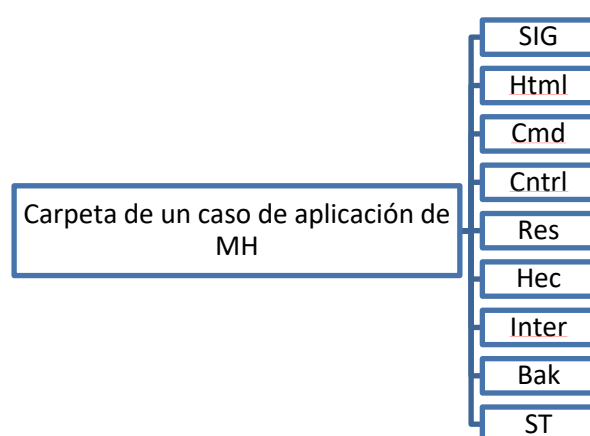


Figura 13-1.- Carpetas de un caso de aplicación de MHH

Las carpetas de un caso de aplicación de MH sigue el estándar de EDAPHI (ver 5.2.1) a la que se añaden las siguientes para el caso MHED:

- *Hec*: almacena el proyecto Hec-HMS
- *ST*: no es estrictamente necesaria, pero se recomienda su uso para almacenar series temporales dato cuando se usa en modo simulación.

Y, en caso de MHH, hay que añadir, además:

- *Inter*: sirve para almacenar archivos de intercambios entre EDAPHI y Hec-HMS, en concreto, el archivo Datos.DSS en el que se almacenarán las series de datos para Hec-HMS.
- *Bak*: MHH hace una copia del proyecto Hec-HMS antes de usarlo

La carpeta de resultados se estructura según se trate de nodos de entrada al sistema hidrológico (caudal conocido), carpetas *_in*, o salida (resultados). También se distinguen subcarpetas para simulaciones (cálculos en tiempo pasado), carpetas *_sim*, o para pronósticos.

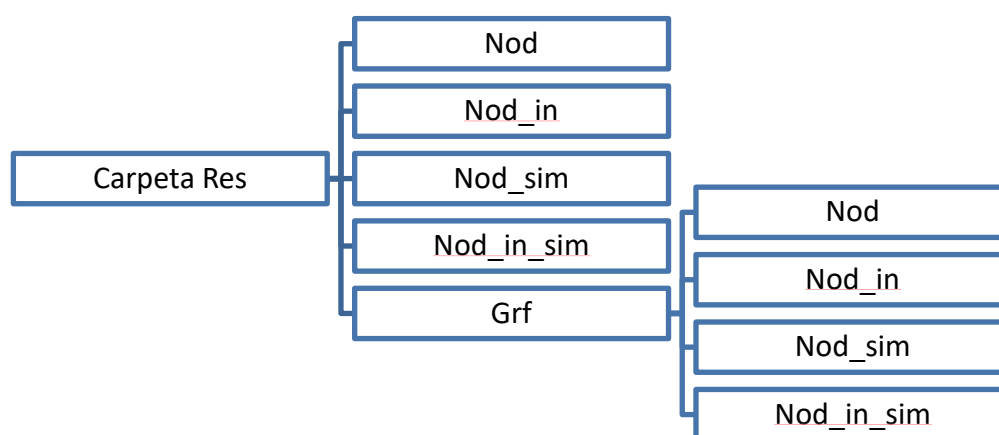


Figura 13-2.- Organización de la carpeta de resultados de un caso de aplicación de MH

13.8 Configuración

Cada caso de aplicación, relativo a un subsistema hidrológico, tendrá un archivo de configuración en formato libro Excel XLSX. Los parámetros se repartirán en hojas. Cabe también indicar algunos parámetros de funcionamiento del módulo de manera independiente al caso de aplicación.

Como es habitual en los módulos EDAPHI, los mismos archivos de configuración incluyen descripción de los parámetros.

13.8.1 Archivo de configuración general de MH

Algunos parámetros pueden ir incluidos en un archivo que afecta a todos los casos de aplicación de este módulo. Dicho archivo tiene nombre fijo, *Conf_MH_Gen.xlsx* y se debe situar en la carpeta del módulo (%EDAPHI_DIR_AREA%\MHH).

	A	B	C	D	E	F
1	DIR_HEC_DSS_VUE	C:\Program Files (x86)\HEC\HEC-DSSVue\				
2	DIR_HEC_HMS	C:\Program Files (x86)\HEC\HEC-HMS\4.2.1\				
3	INV_V	-999.999	Valor inválido (para marcar huecos)			
4	H_FUT	12	Horas de previsión			
5	INTERV_ST_MIN	5	Intervalo de cálculo en minutos			
6						
7						

Figura 13-3.- Contenido del archivo Conf_MH_Gen.xlsx

En principio, lo que se indique en este archivo tendrá prioridad, con el objetivo de realizar cambios globales para todo el sistema. Pero cabe la posibilidad de especificar en subsistemas concretos que se adopte el valor que aparece en su archivo de configuración.

	A	B	C
1	DESC	Pronósticos hidrológicos en Yaque del Norte	Descripción del caso
2	N_ARCH_PROY_HMS	YaqueNorte.hms	El archivo de proyecto que debe situarse en la subcarpeta Hec de la carpeta del caso
3	LEVEL_LOG	2	Nivel de trazas de ejecución
4	BACK_HMS	S	Si realiza almacenamiento y recuperación de archivos HMS en la carpeta Res\Bak. IMPORTANTE: 'S' para modo operación
5	DIR_HEC_DSS_VUE	C:\Program Files (x86)\HEC\HEC-DSSVue\	Directorio de la aplicación Hec-DSSVue
6	DIR_HEC_HMS	C:\Program Files (x86)\HEC\HEC-HMS\4.2.1\	Directorio de la aplicación Hec-HMS
7	INV_V	-999.999	Valor inválido (para marcar huecos)
8	H_FUT	12	Horas de previsión
9	T_NOD	Q V S	Tipos de nodos
10	SEC_CONF	PAS FUT CAL	Secciones en el apartado de configuración
11	DESC_V_REF_C	V A N R	Descripción de los valores de referencia de cotas / niveles
12	DESC_V_REF_Q	V A N R	Descripción de los valores de referencia de caudales
13	DPI_SAVE_PNG	300	Puntos por pulgada (72, 96, 160, 300, ...)
14	PREP_HTML	S	Preparar archivos para publicación web (S/N)
15	DIR_GIS_GEN	N	Si usa la carpeta SIG general o la específica
16	LEGEND_LOC	best	'best', 'upper right', 'upper left', 'lower left', 'lower right', 'right', 'center left', 'center right', 'lower center', 'upper center', 'center'
17	ID_SCN_FUT_PREF	Uluviuas previstas por FFGS-FV3	Escenario FUT preferente resaltado en gráficos
18	T_CAL_PREF	T_CAL_PREF	PREF, COMP, PAS, AUTO, OP
19	FORM_ERROR	C_POND_MAX	Fórmula de error de BIAS, BIAS, POND, MAX, CUAD, C_POND_MAX, ABS, ABS_POND_MAX
20	VAR_ERROR	Q	Medida de error de simulación por C o por Q
21	ID_SCN_CAL_PREF	FFGS-MAP_EHA-P	Escenario de calibración preferente cuando se opta por T_CAL = PREF o no se cumplen las condiciones de Q_IN_MIN_CAL
22	Q_IN_MIN_CAL	200.00	Caudal mínimo en entradas para optar por autocalibración
23	P_ACUM_MIN_CAL	50.00	Precipitación acumulada mínima para optar por autocalibración
24	DT_H_CAL	12.00	Tiempo máximo que se da por válida una calibración (escenarios tipo CAL)
25	PRECPAS	Series datos de lluvias pasadas en subcuencas. Tendrá preferencia sobre especificaciones de escenario	
26	PRECFUT	Series de datos de lluvias futuras en subcuencas. Tendrá preferencia sobre especificaciones de escenario	
27	SERIES_DAT	Series dato [%EDAPHI_DIR_AREAS\ST_gen_s_yn.xlsx] Series	Donde se buscarán las series de entrada (datos) en tiempo pasado. Tendrá preferencia sobre especificaciones de escenario
28	QSFUT	Series dato [%EDAPHI_DIR_AREAS\ST_gen_s_pasfut_yn.xlsx] Series	Salidas de embalse en futuro
29	INTERV_CALC_MIN	15	Intervalo de cálculo en minutos
30			
31			
32			

Figura 13-4.- Configuración general de un caso de aplicación. Hoja Conf

El archivo de configuración incluye explicación de los parámetros configurables.

13.8.2 Modelo HEC-HMS

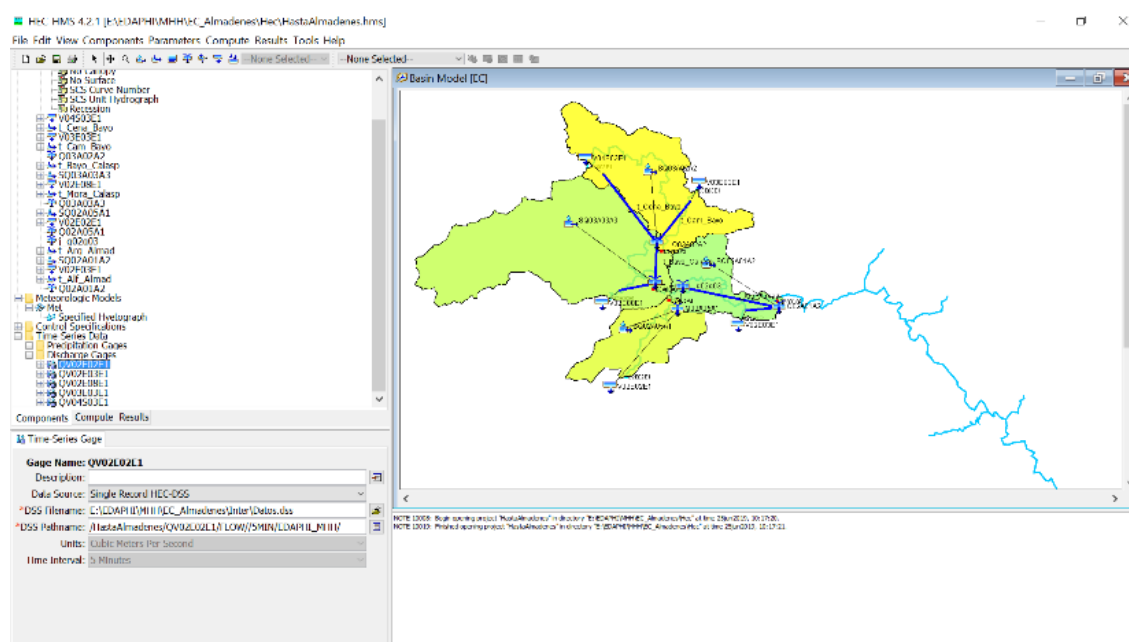


Figura 13-5.- Ventana del modelo Hec-HMS

El modelo Hec-HMS se almacenará en la subcarpeta *Hec* de la carpeta del caso de aplicación.

Las series de entrada se almacenarán en el archivo *Datos.DSS*, que será gestionado por MHH y se sitúa en la subcarpeta *Inter*. Entre los comandos disponibles está *csv_a_dss*, que permite generar el archivo *Datos.DSS* para las primeras pruebas con el modelo Hec.

El nombre del proyecto se especifica en la hoja *Conf*. Los nombres para los archivos Hec son libres, así como las denominaciones de las partes del modelo HMS (basin, control, etc). Hay una excepción: el nombre del "Simulation Run".

El nombre del componente "Simulation Run" de Hec-HMS se fija en EDAPHI

13.8.2.1 Modelos contemplados

No se ha implementado la interacción con todos los modelos posibles de la aplicación Hec-HMS. En la versión actual de los modelos MH puede modelarse las cuencas con hidrograma unitario, indicando el desfase (*Lag*), con curva de recesión para el caudal base (parámetros *Q0*, *Qth* y *K*), y como función de pérdidas se ha elegido en número de curva (*Cn*) y el umbral de escorrentía (*P0*).

Los tramos de transporte pueden modelarse con Muskingum (parámetros K y X) o con desfase (Lag).

Con la estructura actual del código, ampliar las posibilidades de incluir otros métodos del software Hec-HMS requeriría muy poco tiempo de programación.

13.8.3 Nodos

Los modelos MH operan con nodos de tipo S, Q y V. Estos nodos se almacenarán en archivos SHP en la carpeta SIG del caso.

Los nodos servirán para relacionar el caso de aplicación con el resto del sistema de pronóstico, tanto para enlazar series de entrada (nodos "in", ver apartados siguientes) como para la generación de resultados.

La representación del sistema hidrológico a través de los nodos no tiene por qué coincidir con la del modelo Hec-HMS. En general, este modelo tendrá más elementos, muchos de los cuales no tendrán conexión con EDAPHI. Pero los elementos que requieran dato de entrada, o lo tenga y puedan usarse para autocalibración, exigirán una asociación de entidad de HMS con nodo de EDAPHI. Ahora bien, un nodo de tipo Q puede asociarse al extremo aguas abajo de un tramo de transporte (elemento "reach") del HMS, o a la salida de una confluencia (elemento "junction"), es decir, no requieren un tipo de relación fija. Las relaciones entre elementos de uno y nodos de otro sistema se realizan a través de series temporales, no de entidades de representación hidrológica.

En el apartado 13.8.12 se expondrá de forma general cómo se especifican las series dato de entrada a los modelos, aunque en los ejemplos que preceden a ese apartado se podrán observar algunas especificaciones.

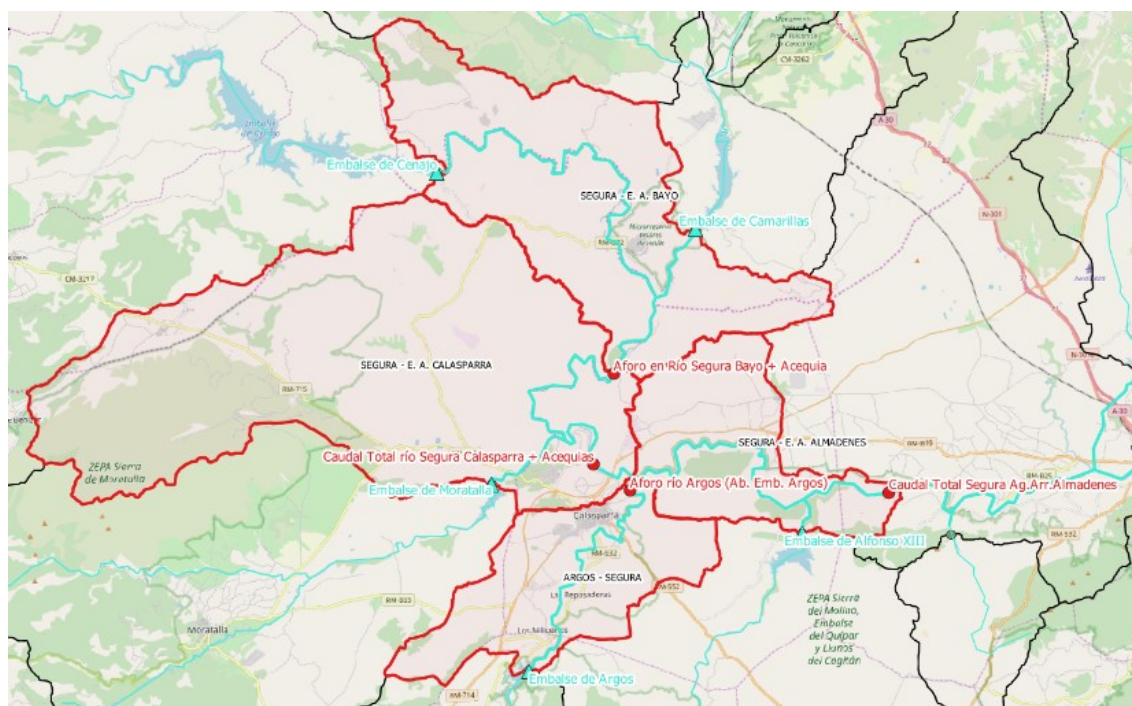


Figura 13-6.- Capas SIG de especificaciones de nodos tipo Q, V y S

13.8.3.1 Nodos V y Q con series temporales dato (entradas al sistema)

La hoja *In* almacenará el listado de los nodos que sean entrada al sistema. Sus series correspondientes estarán almacenadas en el archivo *Datos.DSS*. Cada punto de este tipo tendrá asociado una entidad de tipo "source", cuyos datos se almacenarán en "Time-Series Data" del modelo Hec-HMS en modo de "Discharge Gage".

La relación entre los nodos y la representación Hec se realiza a través de los campos *PATH_B* y *PATH_C* de archivos *Datos.DSS*.

ID_NOD	T_NOD	HMS_GAGE_ENT	PATH_B	PATH_C
01A01A1	Q	Q Contraparada	AF. SEGURA-CONTRAPARADA	FLOW
01O05A1	Q	Q Guadalentin	AF. GUADALENTIN-EL PALMAR	FLOW
07C02A1	Q	Q Merancho	AF. COLA AZARBE MERANCHO	FLOW
07C05A1	Q	Q Hurchillo	AF. COLA AZARBE HURCHILLO	FLOW
07E01E1	V	Q Pedrera	AF. RAMBLA DERRAMADOR	FLOW

Angel Luis Aldana Valverde:
Se corresponde con el campo ID de la correspondiente capa SHP

Angel Luis Aldana Valverde:
Entidad tipo Gage de HMS

Segura_C_G
 Basin Models
 Meteorologic Models
 Control Specifications
 Time-Series Data
 Precipitation Gages
 Discharge Gages
 Q Contraparada
 Q Guadalentin
 Q Hurchillo
 Q Merancho
 Q Pedrera

Figura 13-7.- Especificación de nodos con series temporales dato (entradas al sistema hidrológico) en la hoja In del archivo de configuración (izquierda) y en el modelo Hec-HMS (derecha)

13.8.3.2 Nodos S con series temporales dato (precipitaciones areales)

De modo análogo al anterior, las precipitaciones areales en subcuencas se almacenarán en series temporales de Hec_HMS (Time-Series Data) de tipo precipitación (Precipitation Gages). En el archivo de configuración las especificaciones se harán en la hoja *In_S*

ID	NOD	HMS	GAGE	ENT	PATH	C	Descripción (info. Auxiliar, para facilitar la lectura)
1	IC	S	PSQ03A02A2	PSQ03A02A2	PRECIP-INC	SEGURA - E. A. BAYO	Segura-Bayo
2	IIA5	S	PSQ02A05A1	PSQ02A05A1	PRECIP-INC	ARGOS - SEGURA	Argos - Segura
3	IIC1	S	PSQ03A03A3	PSQ03A03A3	PRECIP-INC	SEGURA - E. A. CALASPARRA	Segura-Calasparrá
4	IIC2	S	PSQ02A01A2	PSQ02A01A2	PRECIP-INC	SEGURA - E. A. ALMADENES	Segura-Almadenes

Figura 13-8.- Especificación de precipitaciones areales en la hoja *In_S* del archivo de configuración (izquierda) y en el modelo Hec-HMS (derecha)

13.8.3.3 Caudales y niveles en nodos tipo Q

Los módulos MH ofrecen varias vías para calcular caudales en función de los niveles, o viceversa, en nodos de tipo Q. En tiempo pasado, puede optarse por calcular caudales en función de niveles. En tiempo futuro, los cálculos hidrológicos se harán en caudales, pero podrán tener interés los resultados en niveles, por lo que podrá optarse por la transformación inversa (de nivel a caudal). Si no se indica ningún método para calcular caudales, la aplicación buscará las variables de caudal en el archivo de series temporales dato.

El tipo de transformación se indica en la columna encabezada con T_{CQ} .

ID_NOD	T_CQ	N_KN1	ALFA_CQ	K_CQ	AMP_C_MIN_CQ_K_ALFA	Comentarios
01A00A1	CQ_TAB	0.040	17.51	1.64	100	Auxiliar (no es dato, separar con una columna en blanco)
01A00A2	CQ_TAB	0.040	18.78	1.77	100	Aforo en Río Segura - Benicorria
01A00A3	CQ_TAB	0.040	9.90	1.77	100	Aforo en Río Segura - Murcia Autovía
01A00A4	CQ_TAB	0.040	8.14	1.93	100	Aforo en Río Segura - La Fica
01A00A5	CQ_TAB	0.040	8.47	1.87	100	Aforo en Río Segura (Aguarías)
01A00A6	CQ_TAB	0.040	16.37	1.53	100	Aforo en Río Segura (Benial)
01A00A7	CQ_TAB	0.040	25.12	1.48	100	Aforo en Río Segura (Benial)
01A00A8	CQ_TAB	0.040	8.62	1.71	100	Aforo en Río Segura (Benial)
01A00A9	CQ_TAB	0.040	10.46	1.72	100	Aforo en Río Segura (Benial)
01A00A10	CQ_TAB	0.040	10.52	1.70	100	Aforo en Río Segura (Benial)
01A00A11	CQ_TAB	0.040	13.96	1.69	100	Aforo en Río Segura (Benial)
01A00A12	CQ_TAB	0.040	19.19	1.47	100	Aforo en Río Segura (Benial)
01A00A13	CQ_TAB	0.040	10.27	1.75	100	Aforo en Río Segura (Benial)
01A00A14	CQ_TAB	0.040	15.59	1.78	100	Aforo en Río Segura (Benial)
01A00A15	CQ_TAB	0.040	11.81	1.79	100	Aforo en Río Segura (Benial)

Figura 13-9.- Indicación de método de cálculo de caudales en nodos de tipo Q

ID_NOD	T_CQ	N_KN1	ALFA_CQ	K_CQ	AMP_C_MIN_CQ_K_ALFA	Comentarios
01A00A1						Auxiliar (no es dato, separar con una columna en blanco)
01A00A2						Aforo en Río Segura - Contraparada
01A00A3						Aforo en Río Segura (Marco de control)
01A00A4						Total Ojós + Acequias
01A00A5						Marco de control en Río del Tinajón
01A00A6						Aforo en Río Segura (Archena)

Figura 13-10.- Especificaciones en blanco si se desea que MH busque los caudales entre las series temporales dato

Tablas CQ (curvas de gasto)

Puede optarse por el método convencional de calcular caudales a partir de curvas de gasto, con tablas C-Q almacenadas en la hoja CQ.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	05A01A1	Marco de control rio Guadalentín Salabosque	01A02A1	Aforo en Río Segura - Beniscornia	01A03A1	Aforo en Río Segura - Murcia Autovía	01A04A1	Aforo en Río Segura - La Fica	07R02A1	Aforo Río Segura (Alquerías)	07A01A1	Aforo en río Segura(Beniel)	07C03A2
1	C	Q	C	Q	C	Q	C	Q	C	Q	C	Q	C
2		0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
3		0.66	0.63	0.05	0.02	0.01	0.55	1.45	0.00	0.02	0.02	0.20	0.01
4		1.21	3.15	0.06	0.02	0.02	0.65	1.47	0.55	0.03	0.04	0.25	0.01
5		1.43	6.30	0.07	0.03	0.03	0.78	1.48	0.65	0.04	0.06	0.30	0.02
6		1.95	15.75	0.09	0.04	0.04	0.93	1.50	0.78	0.05	0.09	0.35	0.03
7		2.62	58.57	0.10	0.05	0.05	1.10	1.52	0.93	0.06	0.12	0.37	0.03
8		3.16	83.22	0.12	0.07	0.06	1.29	1.54	1.10	0.07	0.16	0.40	0.04
9		3.64	109.48	0.13	0.08	0.07	1.50	1.56	1.29	0.08	0.19	0.45	0.06
10		4.08	133.55	0.14	0.09	0.08	1.72	1.57	1.50	0.09	0.24	0.50	0.09
11		4.48	155.43	0.15	0.10	0.09	1.96	1.59	1.72	0.10	0.28	0.55	0.13
12		4.86	172.53	0.16	0.11	0.10	2.21	1.61	1.96	0.11	0.33	0.60	0.17
13		5.21	187.67	0.18	0.13	0.11	2.47	1.63	2.21	0.12	0.38	0.65	0.22
14		5.55	201.84	0.20	0.15	0.12	2.75	1.65	2.47	0.13	0.43	0.66	0.23
15		5.87	214.71	0.21	0.17	0.13	3.03	1.67	2.75	0.14	0.49	0.70	0.29
16		6.18	226.78	0.25	0.22	0.14	3.33	1.68	3.03	0.15	0.54	0.75	0.36
17		6.46	237.36	0.26	0.24	0.15	3.64	1.70	3.33	0.16	0.60	0.77	0.40
18				0.28	0.27	0.16	3.96	1.72	3.64	0.17	0.67	0.80	0.46
19				0.30	0.30	0.17	4.29	1.74	3.96	0.18	0.73	0.85	0.56
20				0.34	0.37	0.18	4.62	1.76	4.29	0.19	0.80	0.89	0.66
21													

Figura 13-11.- Tablas de curvas de gasto en estaciones de aforos

Tablas KN1

Los cálculos pueden realizarse con el uso de una tabla nivel-conductividad específica ($KN1$)-Rugosidad, (tabla C-KN1-n)

Donde:

$$KN1 = A * Rh^{2/3} * I^{1/2}$$

siendo:

A : Área mojada

Rh : Radio hidráulico

I : Pendiente de energía

Con lo que el caudal Q se calcula, de forma aproximada, por la fórmula:

$$Q = \frac{KN1}{n}$$

Siendo n la rugosidad, con lo que se ofrece un modo de obtener una curva de gasto de forma indirecta, basada en un estudio hidráulico previo (que proporciona una estimación del factor $KN1$) y una hipótesis de rugosidades.

El valor n se incluirá en la columna encabezada con N_KN1 en la hoja $QNode$.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	01005A1	AF. GUADALENTIN-EL PALMAR	05A01A1	AF. GUAD EL PALMAR-SALABOSQU	07C05A1	AF. COLA AZARBE HURCHILLO	07C02A1	AF. COLA AZARBE MERANCHO	01A02A1	AZUD-BENISCORNIA	01A03A1	25 100 175 250	07R02A1	C GUADALENTIN ALQUERIAS
2	C	Kn1	C	Kn1	C	Kn1	C	Kn1	C	Kn1	C	Kn1	C	Kn1
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	1.15	0.35	1.15	0.35	1.32	1.32	0.16	0.20	0.17	0.20	0.18	0.25	0.1	0.1
5	1.60	0.88	1.60	0.88	1.84	1.84	0.32	2.50	1.62	1.50	1.76	2.00	1.7	1.7
6	2.17	1.75	2.17	1.75	2.51	2.51	0.65	3.90	3.25	2.68	3.51	3.70	3.5	3.5
7	3.06	3.50	3.06	3.50	3.00	3.00	0.98	4.50	4.88	3.22	5.27	4.40	5.2	5.2
8	4.48	6.99	4.48	6.99	3.45	3.45	1.30	5.00	6.50	3.67	7.02	5.08	7.0	7.0
9								5.50	8.12	4.06	8.78	5.62	8.7	8.7
10								5.80	9.75	4.44	10.54	6.09	10.5	10.5
11								6.26	11.38	4.83	12.29	6.53	12.2	12.2
12								6.70	12.99	5.21	14.04	6.92	14.0	14.0

Figura 13-12.- Almacenamiento de tablas CKn1 en el archivo de configuración

Curvas CQ

Si se desea utilizar una curva del tipo:

$$Q = k * h^{\alpha}$$

Los parámetros se incluirán en las columnas encabezadas con *ALFA_CQ* y *K_CQ* de la hoja *QNod*.

Posibilidad de reajuste

Si se cuenta con datos C y Q en datos pasados, cabe la opción de elegir la opción de reajuste de los parámetros *K* y *alfa* en función de dichos datos. Se lograría así un ajuste de la curva de gasto a emplear en cálculos de futuro, para calcular niveles en función de caudales. Este método tiene por objetivo garantizar la coherencia entre las curvas de gasto empleadas de forma en el sistema de monitoreo (SAIH) y el modelo, en caso de que se hagan cambios en situaciones en los que no dé tiempo a cambiar la configuración del modelo.

En este caso, se indicará, además del valor *K_ALFA_V0* en la columna *T_CQ*, la amplitud mínima en nivel (*AMP_C_MIN_CQ_K_ALFA*, diferencia entre el mínimo y máximo valor en la serie temporal) para reajustar k-alfa al último valor.

13.8.4 Salidas de resultados

Un módulo MH genera salidas de caudales o niveles (si están disponibles las curvas de gasto en alguna de sus formas). Las especificaciones se indican en la hoja *Out*.

ID_NOD	NOD	COEF_F_ERROR_CAL	AMPLITUD_C_FUT	AMPLITUD_Q_FUT	V_REF_C	V_REF_Q	PATH_B	PATH_C	Auxiliar (no es di)
01A02A1	Q	1.00	1.0	100.0	3.3 5.3 5.9 6.6	25 100 175 250	AZUD-BENISCORNIA	FLOW	Aforo en Río Seg
01A03A1	Q	1.00	1.0	100.0	0.7 2 2.9 3.5	25 100 175 250	BENISCORNIA-MURCIA	FLOW	Aforo en Río Seg
01A04A1	Q	1.00	1.0	100.0	2.6 4.1 5.2 6.1	25 100 175 250	MURCIA-LA FICA	FLOW	Aforo en Río Seg
07R02A1	Q	1.00	1.0	100.0	2.4 3.9 5.1 5.9	25 100 175 250	C GUADALENTIN-ALQUERIAS	FLOW	Aforo Río Segura
07A01A1	Q	1.00	1.0	100.0	2.5 4.5 5.8 6.8	25 100 175 250	ALQUERIAS-BENIEL	FLOW	Aforo en río Segi
07C03A1	Q	1.00	1.0	100.0	1.2 3.7 5 5.8	25 100 175 250	ORIHUELA CIUD HUERTOS	FLOW	Río Segura Azud
07C03A2	Q	1.00	1.0	100.0	1.2 3.9 4.4 5.4	25 100 175 250	C MERANCHO-HACIA_ORIHUELA	FLOW	Caudal río Segur
07R03A1	Q	1.00	1.0	100.0	4.4 5.4 6.3 7.2	25 100 175 250	HUERTOS MANZANO Y F	FLOW	Aforo en Manzan
07R04A1	Q	1.00	1.0	100.0	3.7 5.3 5.9 6.8	25 100 175 250	C DERRAMADOR-BENEJUZAR	FLOW	Aforo en Benejú
07A03A1	Q	1.00	1.0	100.0	3.5 4.9 6 7	25 100 175 250	C HURCHILLO JACARILLA	FLOW	Aforo en río Segi
07R05A1	Q	1.00	1.0	100.0	3.1 4.2 5.4 6.6	25 100 175 250	BENEJUZAR-FORMENTERA	FLOW	Aforo en Former
07R06A1	Q	1.00	1.0	100.0	2.8 4.6 5.6 6.4	25 100 175 250	ROJALES-ROJALES AA	FLOW	Aforo AA Rojales
07A04A1	Q	1.00	1.0	100.0	3.2 4.8 5.8 6.6	25 100 175 250	FORMENTERA-ROJALES	FLOW	Aforo en río Segi
07A06A1	Q	1.00	1.0	100.0	2.6 3.3 4.4 5.4	25 100 175 250	HACIA ORIHUELA ORIHUELA CIUD	FLOW	Aforo en río Segi
05A01A1	Q	1.00	1.0	100.0	1.6 2.1 2.5 3.5	10 25 50 100	AF. GUAD EL PALMAR-SALABOSQU	FLOW	Marco de contro

Figura 13-13.- Hoja Out para especificar los resultados

De modo análogo a como se realiza para las entradas, las relaciones de los nodos EDAPHI con las entidades HMS se realiza a través de los campos *PATH_B* y *PATH_C* de los archivos DSS que resultan de las simulaciones.

13.8.5 Opciones relevantes para los nodos de salida. Filtrado y reajustes futuros

Pero en la hoja "Out" se pueden especificar parámetros de gran interés en los cálculos:

- **FILT:** acompañado de la T (triangular) y un valor numérico (horas) servirá para que el programa aplique un filtro de media móvil, centrado, con pesos según una distribución triangular cuya base es el valor numérico.
- **TH_CORR_FUT:** cuando la función error sea de tipo triangular ($F_CORR_ERR_T0 = T$ en la hoja "Conf"), este valor numérico expresa la hora en futuro a partir de la cual el hidrograma previsto será el calculado.
- **V_MIN_CAL:** el valor de la variable supere el valor indicado, se forzará el cálculo de calibración. Por debajo de este valor se adoptará el escenario preferente, si se ha especificado.

ID_NOD	T_NOD	COEF_F_ERROR	CAL_VMIN	CAL_FILT	TH_CORR_FUT	AMPLITUD_Q_FUT	V_REF_C	V_REF_Q	PATH_B	PATH_C	VAR_OUT_PAS	VAR_OUT_FUT	Auxiliar (no es dato, sepc)
04S02E1	V	3	0	0	8.0	100.0	12/3/4	25/100/175/250	E. FUENSANTA	FLOW	E	E	04S02E1 Embalse de
04S03E1	V	3	0	0	8.0	100.0	12/3/4	25/100/175/250	E. CENAJO	FLOW	E	E	04S03E1 Embalse de
04E04E1	V	1	0	0	8.0	100.0	12/3/4	25/100/175/250	E. ANCHURICAS	FLOW	E	E	04E04E1 Embalse de
04E05E1	V	1	0	0	8.0	100.0	12/3/4	25/100/175/250	E. VIEJA	FLOW	E	E	04E05E1 Embalse de
04E06E1	V	2	0	0	8.0	100.0	12/3/4	25/100/175/250	E. TAIBILLA	FLOW	E	E	04E06E1 Embalse de
04A01A3	Q	1	0	0	8.0	100.0	12/3/4	5/10/50/75	AF. TAIBILLA	FLOW	Q	Q	04A01A3 Río Taibilla
04A04A1	Q	1	0	0	8.0	100.0	12/3/4	5/10/50/75	AF. SEG. GALLEGO	FLOW	Q	Q	04A04A1 Aforo río Se

Figura 13-14.- Hoja Out ampliada para especificar parámetros relevantes para los cálculos

Se optó por tomar como configuración general una de las dos opciones de reajuste indicadas en el apartado 8.1.2 y la potencia, en caso de que se opte por la opción 2. Permitiendo el cambio del valor *th_corr_fut* de cada nodo. No obstante, esto puede modificarse fácilmente.

13.8.6 Opciones relevantes para los nodos de entrada. Posible relleno de huecos

También para los nodos de entrada pueden especificarse parámetros de importancia en el funcionamiento de un módulo MH, como es el campo *PRIORITY*:

- Si el valor es P, se trata de un nodo prioritario, en cuyo caso, la aplicación ofrecerá resultados sólo si cuenta con la serie de datos completa
- Para nodos poco relevantes, puede indicarse S|valor, siendo valor un número que indique el valor de relleno en caso de falta de datos.

13.8.7 Configuración de un módulo MH para análisis o para previsión operacional en tiempo real.

Los módulos MH han sido diseñados para uso en tiempo real, para lo cual partirá de los datos de series temporales de tipo C, Q y S (ver apartado 4.2). Las precipitaciones en subcuencas pueden leerlas de un archivo configurable. Para estos casos, la ejecución constará de las siguientes fases:

- Simulaciones en tiempo pasado (Escenarios tipo PAS)
- Simulaciones sin distinción de tiempo pasado o futuro (escenarios tipo SIM)

- Calibración automática de parámetros (Escenarios tipo CAL)
- Previsiones (escenarios tipo FUT) que parten de la combinación de parámetros de cálculos con escenarios tipo PAS o CAL que tenga menor error de simulación.

Si se desea usar MH simplemente como herramientas de análisis, la configuración se realizará con escenarios de tipo SIM, y todas las series de entrada se almacenan en un archivo XLSX.

La definición de escenarios se realizará en hojas del libro de configuración con la exigencia de que sus nombres empiecen por Scn.

13.8.8 Escenarios pasados

La finalidad de estos escenarios es proporcionar simulaciones con unos parámetros de simulación determinados.

En el archivo XLSX de configuración se definirán los escenarios pasados en hojas cuyo nombre empiece con *Scn_Pas_*. Es obligado que empiecen por *Scn* (requisito general de EDAPHI), pero se recomienda que se emplee *Scn_Pas_*.

En esta hoja se hará referencia a otras en las que se especifiquen los parámetros de modelación para subcuencas (tablas *PQ_NC_Lag_Rec*) y tramos (*Propaga_KX*). Los detalles de la modelación pueden verse en el apartado 13.3.6.

	A	B	C	D	E	F	G
1	INTERV_ST_MIN	5	Intervalo de cálculo en minutos				
2	ID	Lento_EHA-Normal	Identificador				
3	DESC	Propagación lenta, EHA normal	Descripción				
4	PARAM_TAB	Propaga_KX Parámetros de propagación Param_Trm_Lento	Tabla de parámetros de tramos				
5	PARAM_TAB	PQ_NC_Lag_Rec Parámetros de lluvia-escurrenia Param_Subc_Normal	Tabla de parámetros de subcuencas				
6	T_SCN	PAS	Tipo de escenario				
7	COLOR	coral	Ver comando Gen\color_nombres_list				
8	LINEWIDTH	1	>= 1				
9	LINESTYLE	solid	solid, dashed, dashdot, dotted, -, ., -, ., None, ., .				
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							

Figura 13-15.- Hoja de definición de un escenario pasado

Nota: En este y otros tipos de escenarios, se adopta la siguiente sintaxis para almacenar parámetros (secciones PARAM_TAB) en hojas:

Identificador de parámetros | Descripción | Nombre de hoja donde se almacenan

Ejemplo: *Propaga_KX*|Parámetros de propagación|*Param_Trm_Len*

Nota: Los parámetros se almacenan desde la esquina superior izquierda, en las primeras filas y columnas, hasta que se alcanza una fila o columna en blanco. El resto de las filas y columnas (saltando las que están en blanco) tienen un carácter auxiliar o explicativo.

13.8.8.1 Parámetros de subcuencas

Se aconseja usar la denominación que empiece por *Param_Subc_* para las hojas que almacenen los parámetros de modelación de subcuencas.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'conf oc almadenes operat.xlsx'. The spreadsheet is organized into columns for different parameters. The first column (A) lists subcatchment IDs. Columns B through S contain numerical values for various parameters. Some columns are highlighted in orange. There are yellow callout boxes with text in Spanish, providing instructions on how to use the spreadsheet and how to calculate certain values.

Figura 13-16.- Hoja de especificación de parámetros de modelación de subcuencas en escenarios tipo PAS o SIM

En la figura anterior se indican los valores de número de curva en condiciones normales (CN) y el que corresponda a un determinado valor a (CNa). MH usará ambos valores para definir el parámetro a , aunque pasará el valor el segundo a Hec-HMS.

"A" fijo

El ejemplo de la figura anterior, se especifica un valor determinado del parámetro a . Pero hay otros modos de especificarlo.

"A" en función de la precipitación antecedente

El valor CNa (la columna) puede suprimirse cuando se obtenga a en función de la precipitación antecedente.

En ese caso, en la definición del escenario se incluirá una línea como la siguiente:

PARAM_TAB	PQ_APD_LAG_REC Parámetros de lluvia-escorrentía Param_Subc_P_A	Tabla de parámetros de subcuencas
-----------	--	-----------------------------------

Y debe incorporarse una hoja como la siguiente:

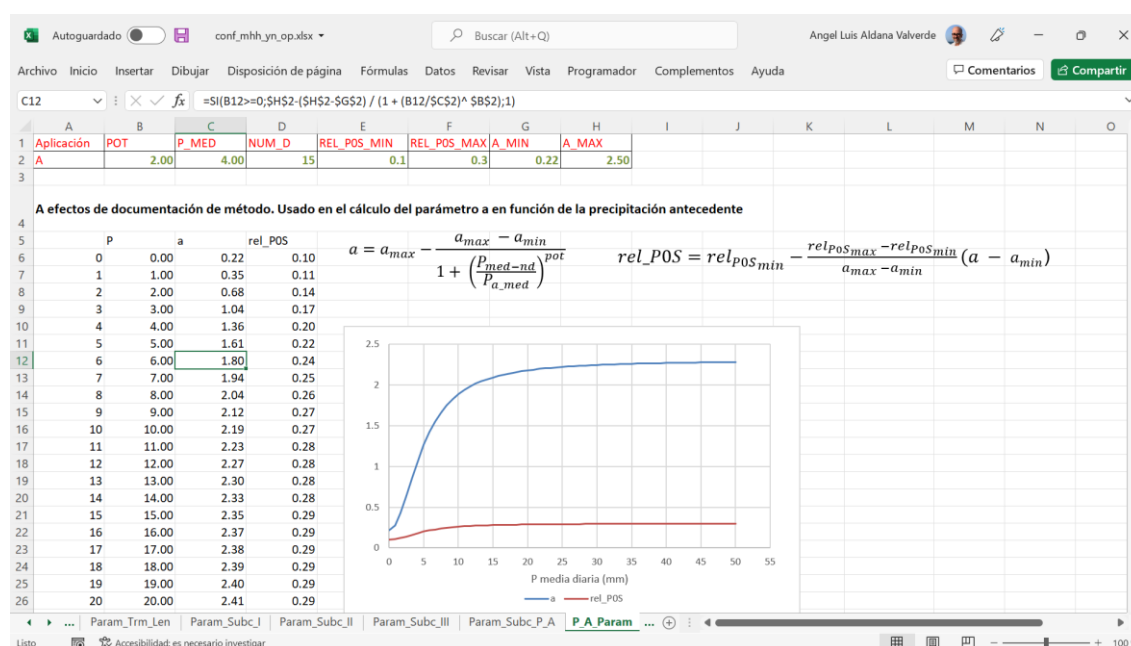


Figura 13-17.- Hoja de especificaciones para el cálculo del parámetro a en función de la lluvia antecedente

"A" en función de otro parámetro de humedad

Se ofrece también la posibilidad de que el valor de a venga dado por una transformación de otro parámetro de estado de humedad antecedente. Para ello, en el escenario aparecerá una fila con lo siguiente:

PARAM_TAB	PQ_VFA_LAG_REC Parámetros de lluvia-escorrentía Param_Subc_A-ASM	Tabla de parámetros de subcuencas
-----------	--	-----------------------------------

Acompañada de otra en la que se indique el origen del parámetro externo a emplear (ver también 13.8.12):

TV_SERIES_PAS	V_ASM %EDAPHI_DIR_AREA%\CFFGS\Res\ASM\Nod_S_Areas_YN_ASM.xlsx Series	Series datos de variable de EHA (las series deben tener atributo A01 o SM)
---------------	--	--

La hoja *Param_Subc_A-ASM* del ejemplo será similar a la de la siguiente figura, donde se muestra la función de transformación que puede emplearse.

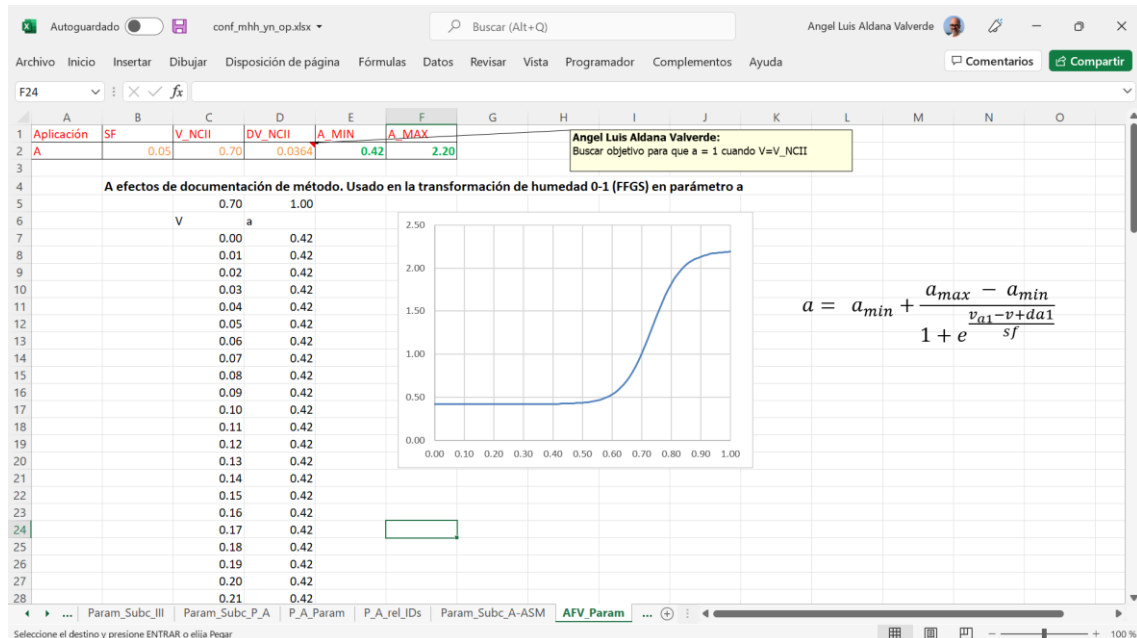


Figura 13-18.- Definición de la función de transformación del parámetro de humedad antecedente para calcular a

13.8.8.2 Parámetros de tramos

De modo análogo al caso de subcuencas, las columnas a la derecha de la primera en blanco tienen un carácter auxiliar.

Se aconseja usar la denominación que empiece por *Param_Trm_* para las hojas que almacenen los parámetros de modelación de tramos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
		K	X	Nt	Lag				Longitud (km)	Cota superior	Cota inferior	manning	calado	F=V/Ck	X	Pendiente (%)
1	Tramos HecHMS															
2	t_Cena_Bayo	9.55	0.25	59		E. Cena - Af. Bayo			26.00	356.00	296.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.23
3	t_Cam_Bayo	1.43	0.25	10		E. Camarillas - Af. Bayo			8.70	396.00	296.00	0.04	0.50	1.00	0.25	1.15
4	t_Bayo_Calasp	4.80	0.25	30		Af. Bayo - Af. Calasparra			13.20	296.00	265.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.23
5	t_Mora_Calasp	1.78	0.25	12		Moratallo-Calasparra			9.40	347.00	265.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.87
6	t_Arg_Almad	5.23	0.25	33		D. Argas - Af. Almadenes			17.30	259.00	200.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.34
7	t_Alf_Almad	0.65	0.25	5		E. Alfonso XIII - Af. Almadenes			5.90	350.00	200.00	0.04	0.50	1.00	0.25	2.54
8	t_Almad_Cieza	6.81	0.25	42		Af. Almadenes - Af. Cieza			15.50	200.00	175.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.16
9	t_Judio_Cieza	1.78	0.25	12		E. Judio - Af. Cieza			8.40	233.00	175.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.69
10	t_Carc_Cieza	2.20	0.25	15		E. Carcabo - Af. Cieza			12.50	301.00	175.00	0.04	0.50	1.00	0.25	1.01
11	t_Menju_Blanca	3.78	0.25	24		Af. Menju - Af. Blanca			8.20	159.00	147.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.15
12	t_Mora_Blanca	2.87	0.25	19		E. Mora - Af. Blanca			12.40	219.00	147.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.58
13	t_Blanca_Ojos	1.14	0.25	8		Af. Blanca - Af. Ojos			4.90	147.00	119.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.57
14	t_Ojos_Archena	2.72	0.25	18		Af. Ojos - Af. Archena			6.40	119.00	108.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.17
15	t_Mayes_Arch	1.49	0.25	10		E. Mayes - Af. Archena			10.50	270.00	108.00	0.04	0.50	1.00	0.25	1.54
16	t_Arche_Contra	14.85	0.25	91		Af. Archena - Af. Contraparada			24.60	108.00	87.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.09
17	t_Salad_Contra	1.97	0.25	13		Af. Rambla Salada - Af. Contraparada			6.60	110.00	87.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.35
18	t_Tina_Contra	10.93	0.25	67		Af. Rambla Tinajón - Af. Contraparada			26.60	136.00	87.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.18
19	t_Rod_Contra	5.92	0.25	37		E. Los Rodeos - Af. Contraparada			15.00	117.00	87.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.20

Figura 13-19.- Hoja de especificación de parámetros de modelación de tramos en escenarios tipo PAS o ST.XLSX

13.8.9 Escenario de calibración

Su definición será similar al de los escenarios pasados, salvo que el valor T_{SCN} será *CAL* en lugar de *PAS*.

El nombre de la hoja de definición de escenario de calibración debe ser *Scn_Pas_Cal*.

Se ofrecen dos posibilidades de calibración: por nodo o por zonas que agrupan nodos

13.8.9.1 Calibración por nodos

Rangos de parámetros de subcuencas

Las tablas de parámetros de modelación para este tipo de escenario tendrán un formato especial, pues deben incluir rangos de parámetros en lugar de valores concretos, con indicación del valor inferior (*:Inf*) y superior (*:Sup*), además de las tolerancias (*Tol_*) usadas para la optimización paramétrica (minimización del error de simulación). Así, la tabla recoge los rangos y las tolerancias de los parámetros que se usarán en la calibración.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	Subcuenca HecHMS	A:Inf	A:Sup	Tol:A	CN	Rel_P0_S:Inf	Rel_P0_S:Sup	Tol_Rel_P0_S	Lag:Inf	Lag:Sup	Tol_Lag	Q0_Base	K_Reces	Q0h_Base	Area	
1																
2	SQ02003A1	0.25	3.22	0.20	73.8	0.05	0.40	0.05	191.42	355.50	16.41	0.0	0.5	0.0	134.81	RBLA. TINAJÓN - P. M. T
3	SQ01A01A1	0.25	3.22	0.20	69.8	0.05	0.40	0.05	715.93	818.21	10.23	0.0	0.5	0.0	282.91	SEGURA - E. A. CONTRAI
4	SQ03A02A2	0.25	3.22	0.20	68.7	0.05	0.40	0.05	382.95	437.66	5.47	0.0	0.5	0.0	120.61	SEGURA - E. A. BAYO
5	SQ02A04A1	0.25	3.22	0.20	73.9	0.05	0.40	0.05	196.73	224.83	2.81	0.0	0.5	0.0	137.28	SEGURA - AZUD DE OJÓ
6	SQ03A03A3	0.25	3.22	0.20	72.4	0.05	0.40	0.05	326.53	373.17	4.66	0.0	0.5	0.0	220.07	SEGURA - E. A. CALASPA
7	SQ01O04A1	0.25	3.22	0.20	77.7	0.05	0.40	0.05	270.25	308.86	3.86	0.0	0.5	0.0	111.96	RBLA. SALADA - P. M. RE
8	SQ02R01A1	0.25	3.22	0.20	64.9	0.05	0.40	0.05	413.49	472.56	5.91	0.0	0.5	0.0	272.08	SEGURA - E. A. CIEZA
9	SQ02A01A2	0.25	3.22	0.20	68.4	0.05	0.40	0.05	450.55	514.92	6.44	0.0	0.5	0.0	55.41	SEGURA - E. A. ALMADE
10	SQ02A05A1	0.25	3.22	0.20	67.0	0.05	0.40	0.05	243.09	277.82	3.47	0.0	0.5	0.0	58.57	ARGOS - SEGURA
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																

Figura 13-20.- Hoja de especificación de parámetros de modelación de subcuenca en escenarios tipo CAL

En este caso, se deben indicar extremos para los parámetros a , $P0/S$ y Lag , pues serán estos los parámetros a calibrar.

Rangos de parámetros de calibración de tramos

Los parámetros lag se emplean en tramos de tiempos de propagación cortos, por lo que se calibrarán solo los tramos que se modelen con el método Muskingum, de ahí que haya que indicar el rango de variación de este parámetro con las columnas $K:Inf$ y $K:Sup$, y la tolerancia con $K:Tol$.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Tramos HecHMS	K:Inf	K:Sup	X	Lag	K:Tol									
2	t_Cena_Bayo	2.27	13.36	0.25		1.11									
3	t_Cam_Bayo	0.34	2.00	0.25		0.17									
4	t_Bayo_Calasp	1.14	6.73	0.25		0.56									
5	t_Mora_Calasp	0.42	2.49	0.25		0.21									
6	t_Arg_Almad	1.24	7.32	0.25		0.61									
7	t_All_Almad	0.16	0.91	0.25		0.10									
8	t_Almad_Cieza	1.62	9.53	0.25		0.79									
9	t_Judio_Cieza	0.42	2.50	0.25		0.21									
10	t_Carc_Cieza	0.52	3.07	0.25		0.26									
11	t_Menju_Blanca	0.90	5.29	0.25		0.44									
12	t_Moro_Blanca	0.68	4.02	0.25		0.33									
13	t_Blanca_Ojos	0.27	1.60	0.25		0.13									
14	t_Ojos_Archena	0.65	3.81	0.25		0.32									
15	t_Mayes_Arch	0.36	2.09	0.25		0.17									
16	t_Arche_Contra	3.54	20.79	0.25		1.73									
17	t_Salad_Contra	0.47	2.76	0.25		0.23									
18	t_Tina_Contra	2.60	15.30	0.25		1.27									
19	t_Rod_Contra	1.41	8.28	0.25		0.69									

Figura 13-21.- Hoja de especificación de parámetros de modelación de tramos en escenarios tipo CAL

13.8.9.2 Calibración por zonas

Desde un punto de vista hidrológico tiene sentido calibrar por zonas, bajo la hipótesis de que se encuentran en un estado de humedad antecedente igual, más o menos, y que están teniendo respuestas análogas y por tanto sus parámetros se aproximan más a los valores extremos por arriba o por abajo (dentro de los rangos de variación posibles preestablecidos).

Así, se ha incluido en los módulos MH la posibilidad de calibrar por zonas, las cuales agrupan nodos. Se consideran agrupaciones de subcuencas y de tramos, las cuales son tratadas de forma independiente.

La calibración por zonas facilita la solución numérica del problema de optimización paramétrica, dado que se cuenta con menos variables al calcular el error.

Agrupación de subcuencas

En la hoja del escenario (*Scn_Pas_Cal_**) se indicarán las agrupaciones con una fila como la siguiente:

PARAM_TAB	ZON_S Zonificación de subcuencas HMS Z1_Cal_Subc	Tabla de zonas de subcuencas para calibración
-----------	---	---

En el ejemplo, la relación entre zonas y subcuencas estará definida en la hoja *Z1_Cal_Subc*.

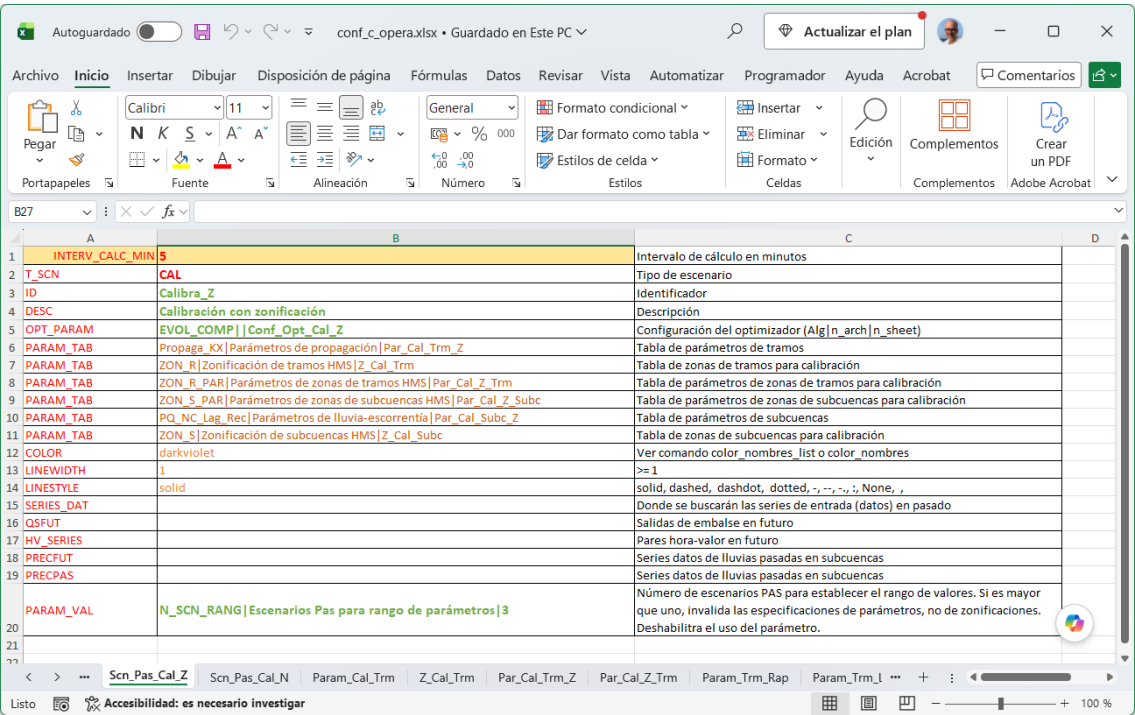


Figura 13-22.- Hoja de definición de un escenario de calibración por zonas

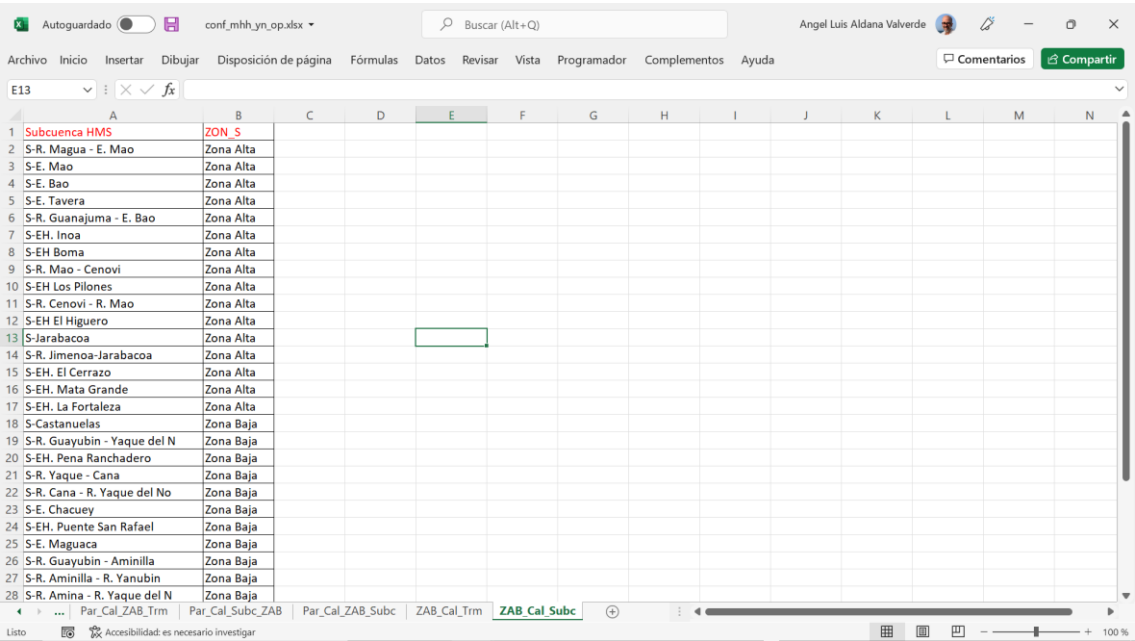


Figura 13-23.- Hoja para agrupación de subcuencas en zonas

Otra fila indicará dónde se almacenan los rangos de variación de parámetros por zonas:

PARAM_TAB	ZON_S_PAR Parámetros de zonas de subcuencas HMS Par_Cal_ZAB_Subc	Tabla de parámetros de zonas de subcuencas para calibración
-----------	--	---

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Parámetros de subcuencas HechMS por zonas	A:Inf	A:Sup	A:Tol	Rel_P0_S:Inf	Rel_P0_S:Sup	Rel_P0_S:Tol	CLag:Inf	CLag:Sup	CLag:Tol	
1											
2	Zona Alta	0.30	3.00	0.50	0.10	0.30	0.05	0.70	1.30	0.15	
3	Zona Baja	0.30	3.00	0.50	0.10	0.30	0.05	0.70	1.30	0.15	
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											

Figura 13-24.- Establecimiento de rangos de variación de parámetros por zonas

En este caso, los parámetros de calibración serán: a , P_0/S , Lag/Lag_0 , donde Lag_0 será un valor medio para el desfase de cuencas.

Con lo anterior es posible organizar una hoja en la que se indican los parámetros por subcuenca como la de la figura siguiente (Figura 13-25), si bien no es imprescindible, aunque sí recomendable.

Autoguardado

conf_mhh_yn_op.xlsx

Buscar (Alt+Q)

Angel Luis Aldana Valverde

ArchivoInicioInsertarDibujarDisposición de páginaFórmulasDatosRevisarVistaProgramadorComplementosAyuda

ComentariosCompartir

Comentari...

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

Subcuencas HechMS

A:Inf

A:Sup

Tol_A

CN

Rel_P0_S:Inf

Rel_P0_S:Sup

Rel_P0_S:Tol

Lag:Inf

Lag:Sup

Lag:Tol

Lag:C

Q0_Base

K_Reces

Qth_Base

Area

Auxiliar ver hoja de

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

S-EH. Pena Ranchadero

S-R. Yaque - Cana

S-Castanuelas

S-R. Guayubin - Yaque del N

S-EH. Sabaneta

S-E. Chacuey

S-R. Cana - R. Yaque del No

S-E. Maguaca

S-EH. Puente San Rafael

S-Jaibon

S-Santiago de los Caballero

S-R. Aminilla - R. Yanubin

S-R. Guayubin - Aminilla

S-R. Amina - R. Yaque del N

S-Mao

S-R. Yaguajal - R. Guayubin

S-E. Moncion

S-E. Mao

S-EH. Inoa

S-E. Mao - E. Mao

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

3

3

3

3

3

3

3

3

3

3

3

3

3

3

3

3

3

3

3

3

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

76.8

77.7

76.8

75.4

77.3

78.8

74.9

76.9

78.0

74.0

80.5

77.9

76.0

74.6

73.5

78.3

74.3

74.6

74.4

73.0

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.1

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.3

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

0.05

447.53

619.41

494.02

382.79

432.49

487.63

444.58

559.28

922.05

636.34

678.17

648.36

727.70

875.00

472.60

293.85

261.45

314.74

286.63

303.11

831.13

1150.34

917.47

710.89

803.19

905.60

825.64

559.77

922.05

636.34

78.25

74.81

83.96

100.96

54.53

545.71

485.54

584.51

532.31

275.25

95.90

132.73

105.84

82.03

92.68

104.45

95.27

64.53

106.39

73.42

78.25

74.81

83.96

100.96

54.53

62.97

56.02

67.44

61.42

42.21

639.33

854.68

884.88

82.03

92.68

104.45

825.64

559.77

922.05

636.34

78.25

74.81

83.96

100.96

54.53

419.78

373.49

449.62

409.47

388.72

19.4

25.6

25.6

82.03

92.68

104.45

95.27

11.4

17.0

4.6

16.5

4.5

7.5

16.9

4.6

16.5

7.5

16.9

0.1

0.1

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

388.54

512.31

512.31

92.68

92.68

104.45

95.27

228.24

340.31

73.42

78.25

74.81

83.96

100.96

54.53

329.40

90.57

150.49

338.62

182.44

Comentarios

Compartir

Celda I1 nota de Angel Luis Aldana Valverde

Angel Luis Aldana Valverde:

El proyecto Hechms debe tener la opción "Threshold Discharge" en Threshold Type de las subcuencas (baseflow). Estos parámetros pueden modificarse. Area y CN son propiedades fijas. El resto dependen de la zona.

Angel Luis Aldana Valverde:

Se incluyen a modo informativo. El código no las usa. Emplea los coeficientes de zona. Serían usados en caso de no definir zonas.

Figura 13-25.- Especificación de límites relacionados con parámetros en subcuencas por zonas de calibración

Rangos de parámetros de tramos

La agrupación de tramos por zonas se realizará de modo análogo que en el caso de subcuencas.

En el caso de los tramos se calibrará la relación K/K_0 , siendo K_0 un valor medio o de referencia. El valor de número de subtramos se establecerá automáticamente por MHH, y no se calibrarán ni X ni Lag .

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

Tramos HMS	ZON. R
T-E. Mao	Zona Alta
T-E. Bao	Zona Alta
T-E. Tavera	Zona Alta
T-R. Guanajuma - E. Bao	Zona Alta
T-EH. Inoa	Zona Alta
T-EH. Boma	Zona Alta
T-R. Mao - Cenovi	Zona Alta
T-EH. Los Pilones	Zona Alta
T-R. Cenovi - R. Mao	Zona Alta
T-EH. El Higuero	Zona Alta
T-Jarabacoa	Zona Alta
T-R. Jimenoa-Jarabacoa	Zona Alta
T-EH. El Cerrazo	Zona Alta
T-EH. Mata Grande	Zona Alta
T-EH. La Fortaleza	Zona Alta
T-R. Yaque - Cana	Zona Baja
T-R. Cana - R. Yaque del No	Zona Baja
T-EH. Puente San Rafael	Zona Baja
T-R. Magua - E. Mao	Zona Baja
T-R. Guayubin - Aminilla	Zona Baja
T-R. Aminilla - R. Yanubin	Zona Baja
T-R. Amina - R. Yaque del N	Zona Baia

Figura 13-26.- Relación entre tramos y zonas de agrupación

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

Parámetros de tramos HechMS por zonas	CK:Inf	CK:Sup	CK:Tol	n
Zona Alta	0.70	1.30	0.15	4
Zona Baja	0.70	1.30	0.15	4

Figura 13-27.- Rangos de variación y tolerancias de parámetros por zonas

También es posible generar tablas en las que se reflejan los parámetros por tramos según las especificaciones por zonas:

Tramos HecHMS	Kinf	KSup	KTol	K-C	X	Lag	Auxiliar ver hoja de zonas de subcuencas	CKinf	CKSup	CKTol
1										
2 T-Jaibon	3.32	6.16	0.71	4.74	0.25		Zona Baja	0.7	1.3	0.15
3 T-R. Yaque - Cana	16.03	25.45	2.35	20.74	0.25		Zona Baja	0.7	1.3	0.15
4 T-R. Yaguajal - R. Guayubin	1.51	2.39	0.22	1.95	0.25		Zona Baja	0.7	1.3	0.15
5 T-R. Aminilla - R. Yanubin	5.06	8.03	0.74	6.55	0.25		Zona Baja	0.7	1.3	0.15
6 T-E. Tavera	81	0.17	1.48	0.25			Zona Alta	0.7	1.3	0.15
7 T-EH. Puente San Rafael	58	1.72	15.14	0.25			Zona Baja	0.7	1.3	0.15
8 T-R. Mao - Cenovi	14	0.48	4.19	0.25			Zona Alta	0.7	1.3	0.15
9 T-R. Cenovi - R. Mao	09	0.47	4.15	0.25			Zona Alta	0.7	1.3	0.15
10 T-EH. Mata Grande	04	0.47	4.11	0.25			Zona Alta	0.7	1.3	0.15
11 T-EH. La Fortaleza	73	0.25	2.22	0.25			Zona Alta	0.7	1.3	0.15
12 T-EH Boma	02	0.39	3.44	0.25			Zona Alta	0.7	1.3	0.15
13 T-Jarabacoa	0.89	1.41	0.13	1.15	0.25		Zona Alta	0.7	1.3	0.15
14 T-R. Jimenoa-Jarabacoa	1.29	2.06	0.19	1.67	0.25		Zona Alta	0.7	1.3	0.15
15 T-EH El Higuero	1.61	2.55	0.24	2.08	0.25		Zona Alta	0.7	1.3	0.15
16 T-E. Moncion	2.28	3.62	0.33	2.95	0.25		Zona Baja	0.7	1.3	0.15
17 T-R. Amina - R. Yaque del N	4.65	7.38	0.68	6.01	0.25		Zona Baja	0.7	1.3	0.15
18 T-EH. Sabaneta	6.49	10.30	0.95	8.40	0.25		Zona Baja	0.7	1.3	0.15
19 T-R. Guanajuma - E. Bao	0.39	0.61	0.06	0.50	0.25		Zona Alta	0.7	1.3	0.15
20 T-R. Cana - R. Yaque del No	10.62	16.86	1.56	13.74	0.25		Zona Baja	0.7	1.3	0.15
21 T-R. Guayubin - Aminilla	4.98	7.91	0.73	6.44	0.25		Zona Baja	0.7	1.3	0.15

Figura 13-28.- Tablas de parámetros en tramos fijados según zonas de calibración

13.8.9.3 Parámetros del algoritmo de computación evolutiva

Los parámetros del algoritmo de computación evolutiva a usar en la calibración automática de parámetros se especifican en el registro siguiente.

OPT_PARAM	EVOL_COMP		Conf_Opt_Cal_Z	Configuración del optimizador (Alg n_arch n_sheet)
-----------	-----------	--	----------------	--

En este caso, *Conf_Opt_Cal_Z* es el nombre de la hoja donde se encontrarán los parámetros.

[illegible]

Figura 13-29.- Hoja para especificación de los parámetros del algoritmo de computación evolutiva

El módulo de interés común *evol_comp* (capítulo 7) ofrece posibilidades de interactuar con sus algoritmos y valorar la influencia de algunos parámetros en su funcionamiento.

13.8.10 Escenario futuro

Un escenario futuro estará definido por series de entrada en tiempo futuro, a modo de hipótesis de previsión en las entradas al sistema. Los parámetros de modelación se habrán definido en el análisis de tiempo pasado o se preseleccionarán los correspondientes a un escenario pasado (ver detalles en el apartado 13.9). Sus especificaciones básicas se indicarán en hojas cuyo nombre empiece por *Scn_Fut_*.

Se trata de un tipo de escenario sin parámetros de simulación asociados, pues la aplicación usará los del escenario pasado o de calibración más apropiado, o el que indique el usuario. Por tanto, será un escenario de series temporales. En el apartado 13.8.12 se explica cómo especificar las series temporales, y un modo alternativo de definir escenarios de futuro.

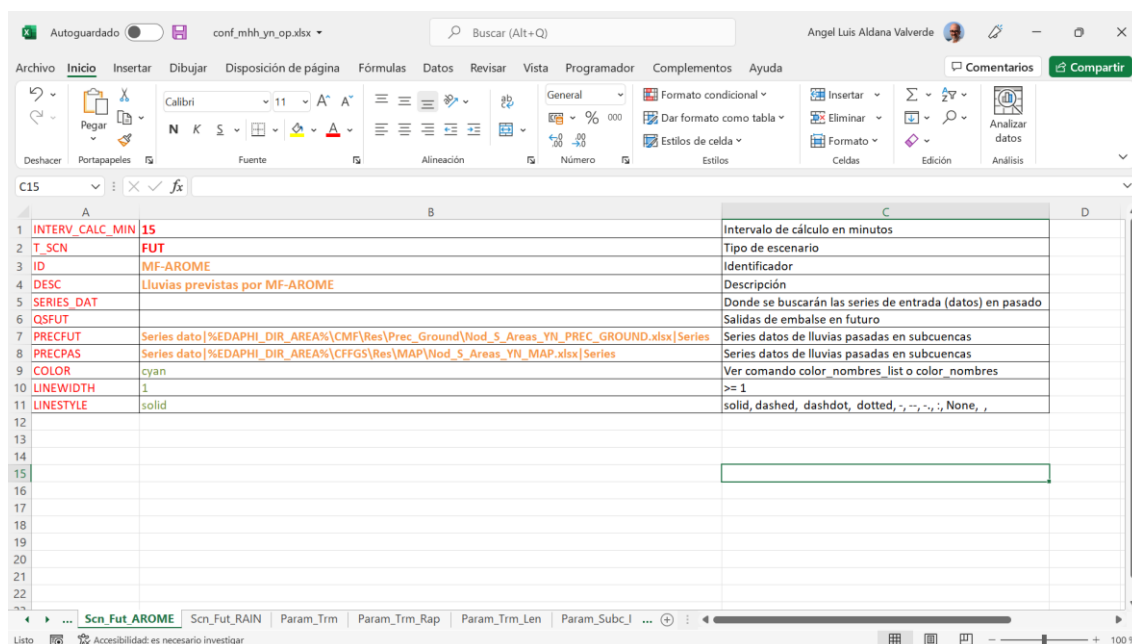


Figura 13-30.- Hoja de definición de un escenario de tiempo futuro genérico

13.8.11 Escenario de análisis (simulación)

Cuando se desee usar un módulo MH para analizar un sistema con unas entradas hipotéticas cualesquiera, sin distinción de tiempo pasado o futuro, las series temporales de entrada se almacenarán en un archivo de series. Se indicará que se trata de un escenario tipo SIM, y el nombre del libro y la hoja del libro en la fila que se inicia con **SERIES_DAT**.

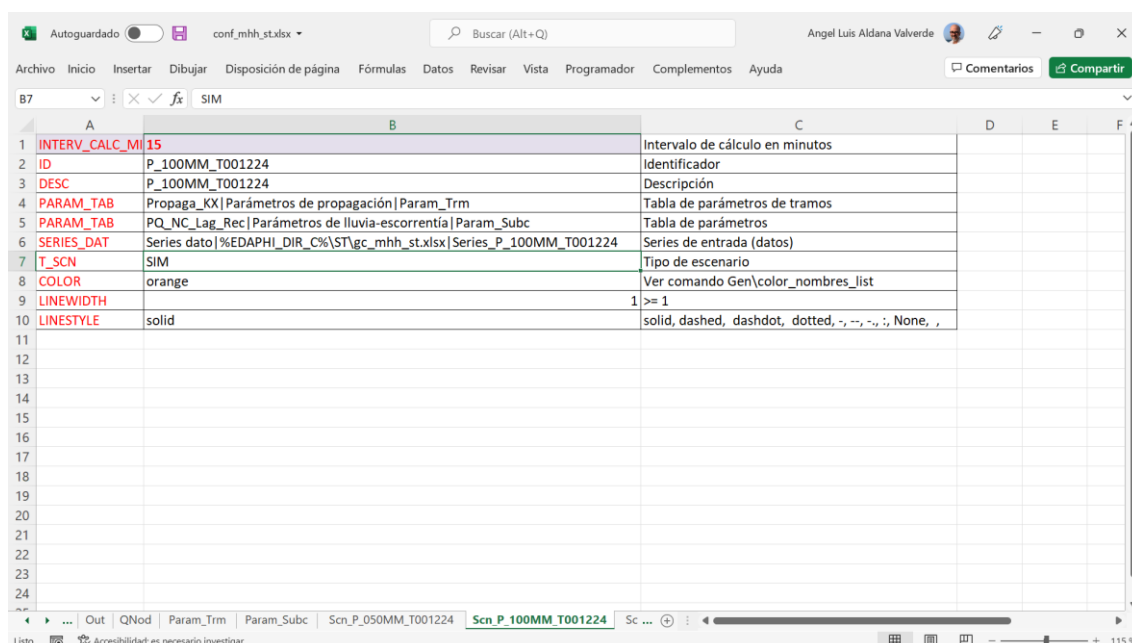


Figura 13-31.- Definición de escenario de análisis o simulación (tipo SIM)

Este tipo de escenario tendrá asociados unos parámetros de subcuencas y tramos que se definirán del mismo modo que se hace para escenarios de tipo PAS (pasado para uso operacional en tiempo real)

13.8.12 Definición de las series de entrada (datos de caudal, nivel y precipitación)

Las series de entrada se clasifican en primer lugar según se refieran a datos para los cálculos en pasado o en futuro. Según el tipo de variables, se cuenta con precipitaciones, caudales de salida de embalse y caudales o niveles en río. Aunque también se cuenta con series como las que se usan para el estado de humedad antecedente (ver apartado 13.8.8.1)

Las siguientes tablas muestran ejemplos de este tipo de especificaciones:

PRECPAS	Series dato %EDAPHI_DIR_AREA%\CFFGS\Res\MAP\Nod_S_Areas_YN_MAP.xlsx Series	Series datos de lluvias pasadas en subcuencas
SERIES_DAT	Series dato %EDAPHI_DIR_AREA%\ST\st_gen_s_YN.xlsx Series	Donde se buscarán las series de entrada (datos) en tiempo pasado.
QSFUT	Series dato %EDAPHI_DIR_AREA%\ST\st_gen_s_pasfut_YN.xlsx Series	Salidas de embalse en futuro
PRECFT	Series dato %EDAPHI_DIR_AREA%\CMF\Res\Prec_Ground\Nod_S_Areas_YN_PREC_GROUND.xlsx Series	Series datos de lluvias futuras en subcuencas

Las especificaciones de origen de los datos se ajustan a la sintaxis:

Series dato|Nombre de archivo XLSX|Nombre de la hoja con las series

Pueden usarse las variables de entorno indicándolas con % (%EDAPHI_DIR_AREA%, por ejemplo)

Este tipo de especificaciones puede situarse en la hoja *Conf*, en cuyo caso será de uso para todos los escenarios o en la hoja de un escenario concreto. Se aconseja este último modo y precaución al indicarlos en *Conf*

13.8.12.1 Modo alternativo para las series de futuro. Series HV

En la primera versión de MHH se usó el modo que se describe a continuación para definir las series en futuro, con series se definen en forma de pares hora-valor (HV), horas que se suman al instante actual (último instante de tiempo pasado o inicio de la previsión). El programa las transformará a pares instante-valor, sumando las horas al instante actual (t_0 , ver apartado 4.2)

Es útil, por ejemplo, cuando se desean fijar series por valores en tiempo independientemente del instante concreto, como cuando se usan escenarios de lluvia de diseño asociadas a una probabilidad o a un protocolo. Pero, para otros casos, no es aconsejable, pues implicaría modificar el archivo de configuración, y es preferible realizar modificaciones en archivos de series temporales, independientes del archivo de configuración. No obstante, como se muestra a continuación, también en este modo se posibilita la manera de acceder a series almacenadas en otros archivos.

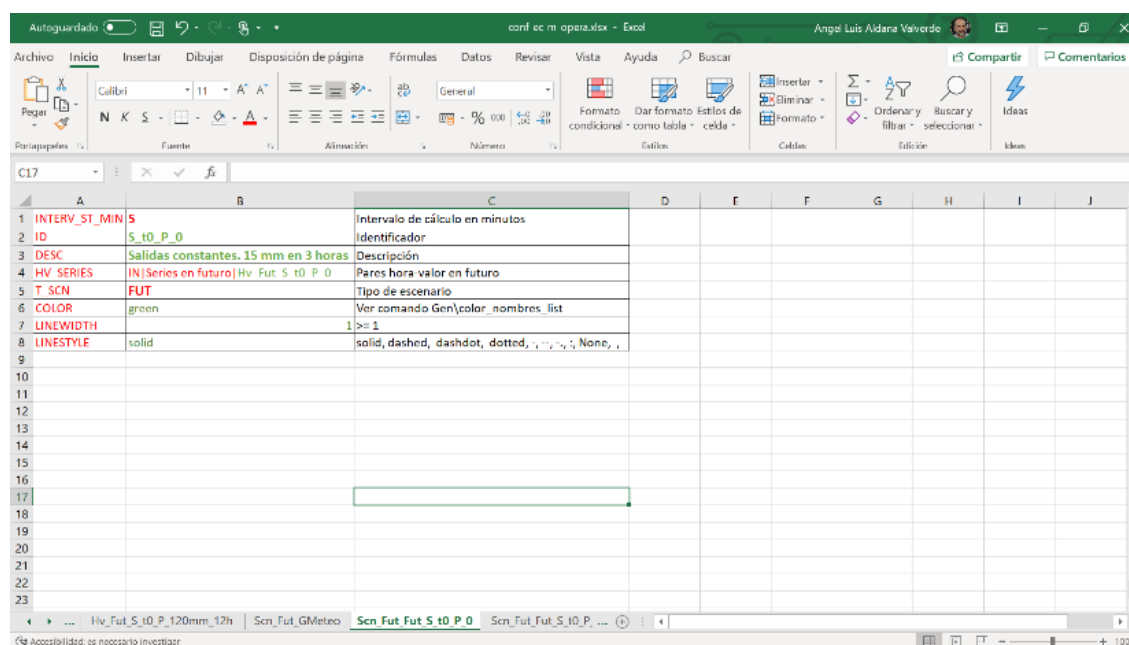


Figura 13-32.-Definición básica de escenario de futuro con series HV

Si se indica V_{T0} como valor, éste se interpretará como el valor actual (en el instante actual o t_0).

Mientras que los valores de las lluvias en un archivo de series temporales se interpretan como asociados a un intervalo, en los pares HV de precipitaciones se expresarán como valores acumulados desde el instante actual.

	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	IIC2		IIA5		IC		02E02E1		02E03E1		02E05E1
2	P		P		P		S		S		S
3	SEGURA - E. A. ALMADENES		ARGOS - SEGURA		SEGURA - E. A. BAYO	t (horas)	Embalse de Moro	t (horas)	Embalse del Judío	t (horas)	Embalse de Cárcab
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	V_T0	0.0	V_T0	0.0	V_T0
5	30.0	3.0	30.0	3.0	30.0	3.0	V_T0	3.0	V_T0	3.0	V_T0
6	60.0	6.0	60.0	6.0	60.0	6.0	V_T0	6.0	V_T0	6.0	V_T0
7	90.0	9.0	90.0	9.0	90.0	9.0	V_T0	9.0	V_T0	9.0	V_T0
8	120.0	12.0	120.0	12.0	120.0	12.0	V_T0	12.0	V_T0	12.0	V_T0
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

Figura 13-33.- Definición de series temporales HV en futuro

Las celdas de las dos primeras filas de la columna en la que se indican las horas, se indican el identificador (02E02E1, por ejemplo) del nodo y el identificador del atributo de la serie temporal (S, por ejemplo, para salida de embalse).

En el mismo tipo de hoja para valores HV cabe indicar que los valores para las lluvias se obtengan de los resultados de un módulo como *EDAPHI-GMeteo* (ejemplo de la Figura 13-34). Si en lugar de un valor numérico o el texto VT_0 encuentra el texto *EDAPHI-GMeteo*, el módulo MH buscará otro texto en la siguiente celda (fila siguiente) que indicará el atributo de serie (*Lluv*) que debe buscar y el modelo o escenario (*Harmony-Arome*). Con estos datos, y buscando las series para el identificador (IIC1, por ejemplo) MH buscará en el archivo de series resultado la serie correspondiente.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1		02E08E1		02E06E1		02E04E1		02E01E1		01E07E1		IIC1		IIC2		IIA5
2		S		S		S		S		S		P		P		P
3	t (horas)	Embalse de Alfonso XIII	t (horas)	Embalse de Moratalla	t (horas)	Embalse de Camarillas	t (horas)	Embalse de Censojo	t (horas)	Embalse de Argos		SEGURA - E. A. CALASPARRA		SEGURA - E. A. ALMADENES		ARGOS - SEGURA
4	0.0	V_TO	0.0	V_TO	0.0	V_TO	0.0	V_TO	0.0	V_TO	0.0	EDAPHI-GMeteo	0.0	EDAPHI-GMeteo	0.0	EDAPHI-GMeteo
5	3.0	V_TO	3.0	V_TO	3.0	V_TO	3.0	V_TO	3.0	V_TO	12.0	Lluv#Harmony-Arome	12.0	Lluv#Harmony-Arome	12.0	Lluv#Harmony-Arome
6	6.0	V_TO	6.0	V_TO	6.0	V_TO	6.0	V_TO	6.0	V_TO						
7	9.0	V_TO	9.0	V_TO	9.0	V_TO	9.0	V_TO	9.0	V_TO						
8	12.0	V_TO	12.0	V_TO	12.0	V_TO	12.0	V_TO	12.0	V_TO						

Figura 13-34.- Referencia a valores futuros de lluvia generados por otro módulo

13.9 Selección de parámetros de simulación para escenarios futuros

Como se indicó anteriormente, un escenario de futuro (tipo FUT) cuenta sólo con series temporales propias, para ellos no se especifican parámetros concretos, sino que se adoptarán los de algún escenario pasado (PAS) o de calibración (CAL).

Las opciones que se ofrecen son las siguientes:

- (PREF) Selección de escenario preferente.- En este caso se indica el escenario de tipo PAS cuyos parámetros se desean usar en los cálculos de escenarios FUT.
- (COMP_PAS) Comparación de escenarios tipo PAS.- Se comparan todos los escenarios PAS, calculándose el error de simulación para ellos, y se selecciona el de menor error.
- (AUTO_OP) Autocalibración.- Se calcula el error de todos los escenarios de pasado, se usan los algoritmos de autocalibración con los escenarios CAL, y se selecciona el escenario PAS o CAL de menor error.

En el apartado 8.1.1 se detallan las fórmulas de cálculo de error de simulación disponibles. Pueden aplicarse en caudales o en niveles.

Para las opciones COMP_PAS y AUTO_OP puede optarse por fijar el caudal mínimo ($Q_{IN_MIN_CAL}$) o la precipitación acumulada ($P_{ACUM_MIN_CAL}$) que se considerarán como umbrales para calcular todos los escenarios PAS y CAL. Se procederá a realizar todos los cálculos si el caudal dato en algún punto se superan el umbral de caudal o si

en alguna subcuenca (nodo tipo nod_S) se supera el umbral de lluvia acumulada, todo ello en tiempo pasado. En otro caso se asignarán los parámetros del escenario indicado en la sección ID_SCN_CAL_PREF de la hoja Conf del archivo de configuración.

Con lo anterior, las filas de la hoja *Conf* tendría las siguientes filas, por ejemplo:

T_CAL	AUTO_OP	Tipo de calibración: PREF, COMP_PAS, AUTO_OP
CAL_PARAL	S	S.- Calibración en paralelo. Usará resultados de ejecuciones independientes o realizará los cálculos de manera secuencial. En caso S requiere ejecución independiente con el argumento -calc_cal
DT_H_CAL	3.00	Tiempo máximo que se da por válida una calibración (escenarios tipo CAL)
ID_SCN_CAL_PREF	a060	Escenario PAS preferente para cálculo sin autocalibración
TOL_ERR_CAL	0.10	Tolerancia en error de simulación frente a ID_SCN_CAL_PREF
DT_H_MEM	-1.00	Horas de memoria de parámetros (escenarios tipo CAL)
FORM_ERROR	CUAD	Fórmula de error BIAS, BIAS_POND_MAX, CUAD, C_POND_MAX, ABS, ABS_POND_MAX
VAR_ERROR	Q	Medida de error de simulación por C o por Q
H_CALC_ERR	-1	Número de horas anteriores a t_0 para cálculo de error (-1 para todo el periodo)

La fila con el identificador DT_H_CAL permite que se espacien los tiempos entre cada dos análisis de cálculos completos en tiempo pasado para las opciones COMP_PAS y AUTO_OP. Una vez se hayan realizado dichos análisis, no se repetirán hasta el siguiente periodo (dado por el valor de DT_H_CAL). En los cálculos intermedios de futuro, según los ciclos de cálculos del caso de aplicación, se asumirá el escenario pasado seleccionado en el ciclo de calibración anterior. Esto facilita reducir los tiempos dedicados a la realización de los cálculos más exigentes, especialmente para la opción AUTO_OP.

Lo anterior está basado en lo indicado en el apartado genérico dedicado a la calibración: apartado 8.7.

13.10 Comandos

El módulo de aplicación MH se desarrolla con el paquete Mod. De la respuesta de instrucción ed_cmd comandos se extrae lo siguiente:

```
MH
    ana_topo_mh.- Análisis topológico de modelos H y tiempos de
propagación
    cntrl_mh.- Control de funcionamiento de modelos hidrológicos
EDAPHI
    mhed.- Modelos hidrológicos operacionales EDAPHI
    model_hec.- Modelos hidrológicos operacionales basados en el
software Hec
    model_hec_util.- Utilidades relacionadas con MHH
```

```

pe_xn.- Simulación de embalse PE_XN
reach.- Simulación de tramos.Método Muskingum
s_cna_hu.- Simulación de subcuencas
test_mh.- Utilidad de prueba de MH. Ciclos basados en archivos
históricos de datos y lluvias

```

Y el anterior cuenta con una buena parte de su base en *Mod*:

```

Mod
    chm.- Conector hidrometeorológico
    control_mod.- Módulo control de ejecución de aplicaciones que
se usa desde otros módulos-aplicaciones
    h_node.- Nodos de representación del sistema hidrológico
    model.- Bases genéricas de modelos EDAPH
    scenario.- Gestión de escenarios usados por modelos

```

Los comandos `ed_cmd mhh` y `ed_cmd mhed` presentan prácticamente la misma respuesta:

```

Modelos hidrológicos operacionales basados en el software Hec
Argumento obligatorio:
    xlsx_conf=Nombre del archivo de configuración situado en
C:\edaphi\Segura\MH\Cenajo
Opcion:
    level_log=: Nivel de impresión de traza de ejecución (0-3). Ignora
lo indicado en xlsx_conf
    n_a_log=: Nombre del archivo LOG (no se usa el valor por defecto)
    /no_del_res: No borra todos los resultados cuando se se van a
realizar nuevos cálculos
Comandos:
    -conf_r: Lee el archivo de configuración
    -gen_hms: Genera los archivos HMS a partir del XLSX de configuración
    -bak_hms: Guarda copia de los archivos HMS
    -calc_sim: Calcula en modo simulación sin diferenciación pasado -
futuro
    -calc_pas: Calcula en tiempo pasado (caso configurado para
pronóstico)
        /grf: si desea generara todos los resultados
    -calc_cal: Cálculos de calibración (No se ejecuta si EDAPHI_VAR=CAL
en otra ventana)
        /grf: si desea generara todos los resultados
    -calc_fut: Cálculos en tiempo futuro
        i_scn_cal=:num de escenario de calibración
        /grf: si desea generara todos los resultados
    -calc_t: Realiza todos los cálculos (caso configurado para
pronóstico)
    -test_call_extern: Pruebas de llamadas externas
    -ts_nod_sim: Genera archivos de series de nodos de simulación o
tiempo pasado
    -ts_nod_fut: Genera archivos de series de nodos en tiempo futuro
    -grf_sim: Genera gráficos de simulación o tiempo pasado
    -grf_fut: Genera gráficos de tiempo futuro
    -res_pas: Genera todos los resultados de tiempo pasado
    -res_fut: Genera todos los resultados de tiempo futuro
    -l_a: Muestra el listado de archivos principales de la aplicación
Ejemplos:
    xlsx_conf=conf_cg_operat.xlsx -l_a level_log=0

```



```
xlsx_conf=conf_cg_opera.xlsx -calc_fut level_log=3 i_scn_cal=1
```

Los comandos scn y mod pueden ser útiles como complemento

Y el módulo *mhh_util* incorpora útiles para configurar un caso:

```
Argumentos posibles:
-ent_hms_xlsx: Genera un XLSX con las entidades de un proyecto HMS
    n_arch_hmsproy=: Nombre del archivo del proyecto HMS
    n_xlsx=: Nombre del XLSX. Res\hms_ent.xlsx
-conf_read: Lee la configuración completa a partir de un archivo
XLSX
    xlsx_conf=(Obligado) Nombre del archivo de configuración
```

13.11 Resultados

MH genera un gran número de resultados organizados conforme al siguiente esquema

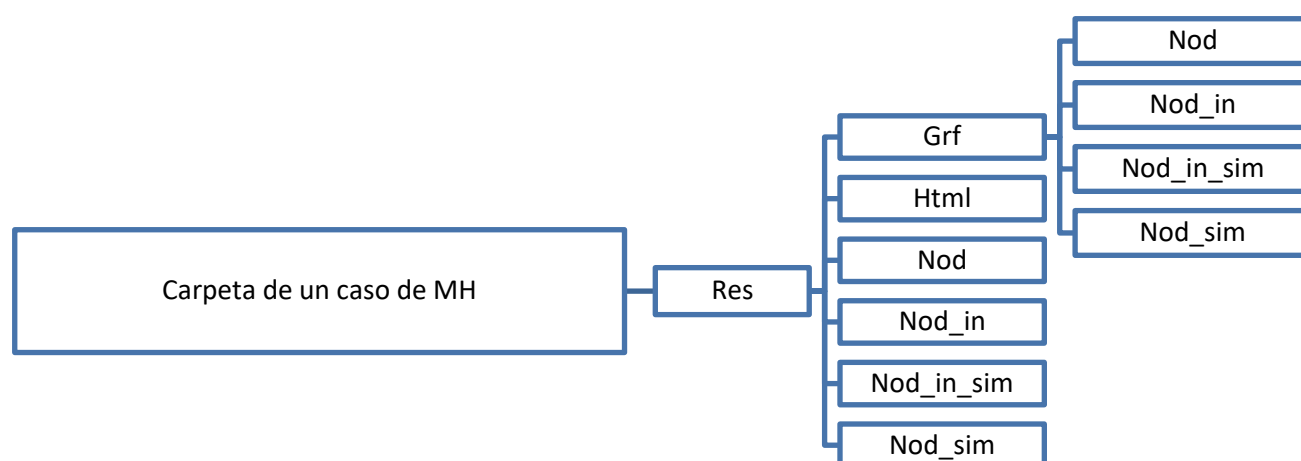


Figura 13-35. – Estructura de carpetas de un caso de aplicación de MH

En la carpeta Res se encuentran archivos XLSX asociados a cada escenario, ya sea pasado o futuro. El nombre del archivo empezará con el identificador (*id_escenario*) elegido para el escenario:

- *Id_escenario.xlsx*. - Almacena las series resultado final
- *Id_escenario_dat.xlsx*. - Almacena las series dato de la simulación
- *Id_escenario_tmp.xlsx*. - Almacena las series de resultado final antes de las últimas correcciones
- *Id_escenario_param_reaches.xlsx*. - Almacena los parámetros de tramos de propagación (*reaches* de HMS)
- *Id_escenario_param_subbasins.xlsx*. - Almacena los parámetros de tramos de propagación (*subbasins* de HMS)

También se generan los siguientes archivos:

- *hms_ent.xlsx*. - Listado de entidades HMS encontradas en el proyecto HMS de la configuración
- *nod.xlsx*. - Nodos encontrados en la carpeta SIG

Las carpetas *Nod_* almacenan archivos XLSX con series agrupadas por nodos, para resultados de pronóstico (*Nod*), entradas en escenarios de futuro (*Nod_in*), resultados en tiempo pasado (*Nod_sim*) o entradas en tiempo pasado (*Nod_sim_in*). Esta estructura se repite en la carpeta *Grf*, donde se almacenarán gráficos de los resultados anteriores.

La carpeta *HTML* almacena los gráficos por nodos y algún archivo complementario útil para la publicación Web.

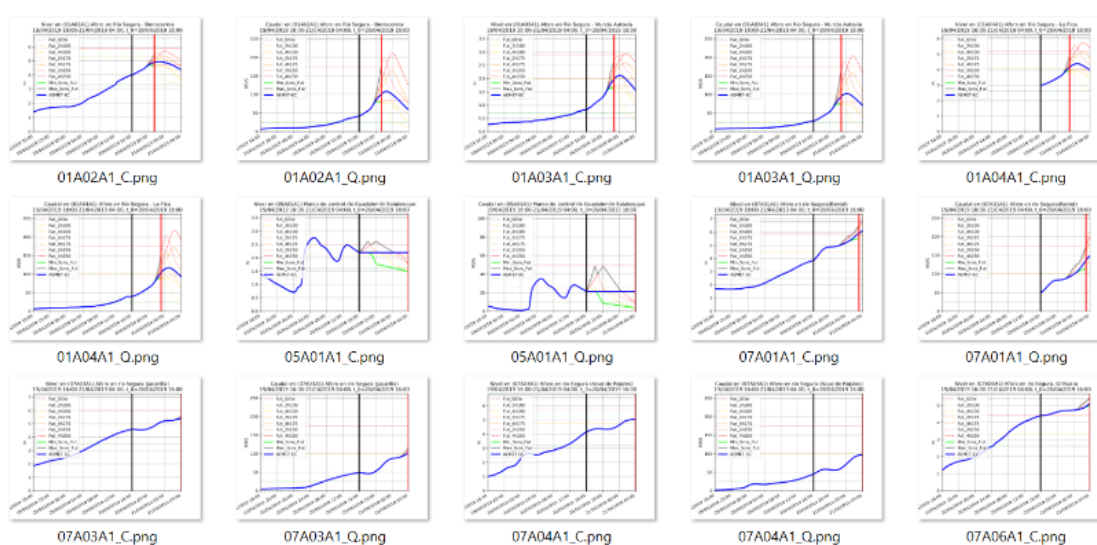


Figura 13-36.- Colección de gráficos en la carpeta *Res\Grf\Nod*

13.11.1 Gráficos de simulaciones

Los resultados gráficos de los cálculos de simulación en tiempo pasado y selección del escenario más ajustado son como el siguiente:

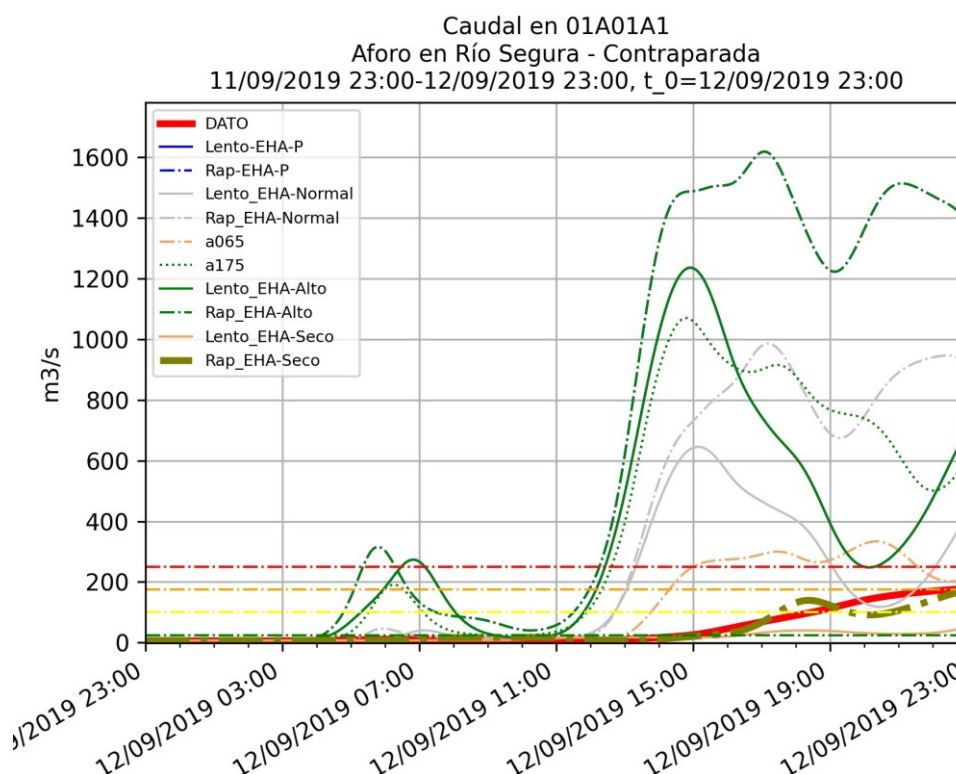


Figura 13-37.- Gráfico de comparación de escenarios de simulación en tiempo pasado

Muestra los resultados de los escenarios con distintas hipótesis: tiempos de respuesta rápida y estado de humedad antecedente alto (Rap_EHA_Alto), tiempos de respuesta lenta y humedad baja (Lento_EHA-Seco), humedad en función de la precipitación en los últimos días (*_EHA-P), ... Con grosores mayores se resaltan las líneas de la serie de datos y el del escenario seleccionado al ser el que más se ajusta a los datos.

Cabe la opción de configurar el número máximo de escenarios PAS a incluir, en cuyo caso la aplicación incluirá, además del seleccionado, el resto hasta el número fijado y siempre condicionado por una lista de prioridades, dada por una columna de identificadores de escenarios, y por los errores de simulación. Se ordenan por el error y, en caso de igualdad, se elige por la prioridad preestablecida.

13.11.2 Gráficos de previsiones

El gráfico siguiente incluye notas sobre el gráfico resultado de MH. Las líneas *Min_Sncs_Fut* y *Max_Sncs_Fut* representan las envolventes de los resultados de todos los escenarios hasta el instante de divergencia máxima admisible.

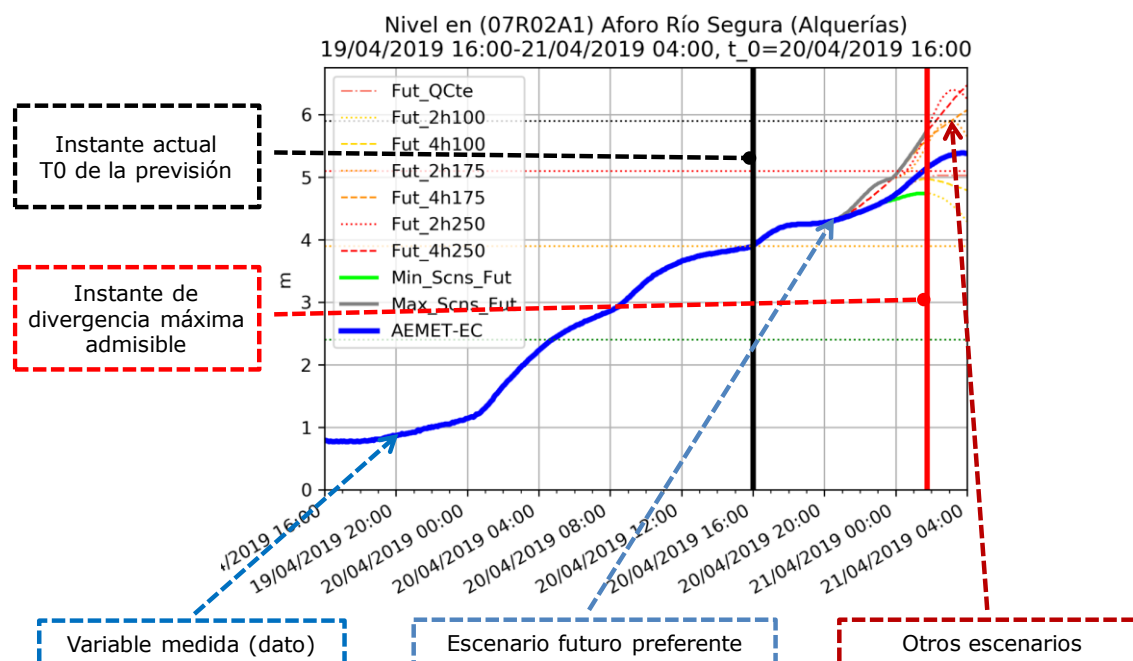


Figura 13-38.- Gráfico de previsión y notas

13.11.3 Trazas de pronósticos

Con un comando como el siguiente, se puede ir creando trazas de pronósticos, de varios horizontes y en varios nodos, cada ciclo de ejecución:

```
@echo OFF
REM @A Genera trazas de resultados. Se llama con start para que se
ejecute en paralelo
color AF
rem mode con COLS=90 LINES=10
Title Río Segura-Cenajo. Trazas de resultados
Echo ^<^|^>
Echo ^<^|^> Trazas de resultados de MH-CEN
Echo ^<^|^>
Rem Para que sea efectivo expansión de variables de entorno retrasada
(uso de !i!). Argumento /V:ON en cmd:
SETLOCAL ENABLEDELAYEDEXPANSION
set dias=10
set /a num_int=dias*12*24
for %%h in (6,12) do (
    set /a i=%%h*12
    call ed_cmd trz_ts -fill num_int=%num_int%
    arch_ref=%EDAPHI_DIR_AREA%\ST\st_gen_05min.csv
    arch_p=%EDAPHI_DIR_C%\Res\AEMET.csv arch_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\trz_AEMET-
    %%hh.csv ints=!i! type_val=INST
)
for %%h in (6,12) do (
    for %%i in (04A01A1,04A04A1,04A05A1,04A06A1,04A07A1,Letur) do (
        echo trz_ts -res_stats_s min_ymax=100.0
        arch_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\trz_AEMET-%%hh.csv id=%%i at=Q
        arch_grf=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\MH-CEN\Grf\trz_AEMET-%%hh-%%i.png
        call ed_cmd trz_ts -res_stats_s min_ymax=100.0
        arch_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\trz_AEMET-%%hh.csv id=%%i at=Q
        arch_grf=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\MH-CEN\Grf\trz_AEMET-%%hh-%%i.png
    )
)
```

```

    for %%i in (04S02E1,04S03E1,04E04E1,04E05E1,04E06E1) do (
        echo trz_ts -res_stats_s min_ymax=100.0
        arch_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\trz_AEMET-%%hh.csv id=%%i at=E
        arch_grf=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\MH-CEN\Grf\trz_AEMET-%%hh-%%i.png
        call ed_cmd trz_ts -res_stats_s min_ymax=100.0
        arch_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\trz_AEMET-%%hh.csv id=%%i at=E
        arch_grf=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\MH-CEN\Grf\trz_AEMET-%%hh-%%i.png
    )
    call ed_cmd ts_util -csv_to_xls csv=%EDAPHI_DIR_C%\Res\trz_AEMET-
6h.csv arch_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\MH-CEN\Arch\trz_AEMET-6h.xlsx
    call ed_cmd ts_util -csv_to_xls csv=%EDAPHI_DIR_C%\Res\trz_AEMET-
12h.csv arch_res=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\MH-CEN\Arch\trz_AEMET-12h.xlsx
    xcopy /Y %EDAPHI_DIR_C%\Res\trz_AEMET-*.csv %EDAPHI_DIR_AREA%\Html\MH-
CEN\Arch\
    exit

```

El siguiente gráfico es uno de los resultados:

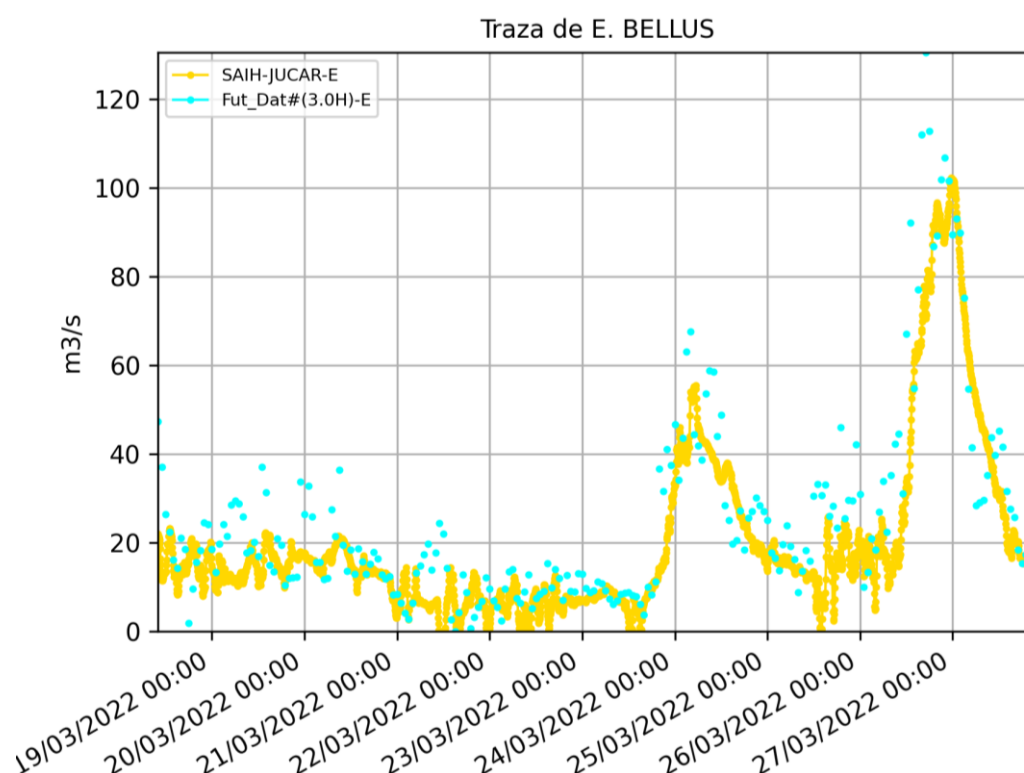


Figura 13-39.- Traza de pronósticos del hidrograma de entrada al embalse de Bellús (cuenca del Júcar).

13.12 Archivos

Para facilitar el trabajo con el módulo, se le ha incorporado el comando `-l_a` que muestra una lista de archivos con los que opera en un caso concreto según el archivo de configuración. Un ejemplo es el siguiente:

```

*****
Listado de archivos principales
*****
Archivo de
configuración=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\conf_mhh_yn_op.xlsx
Ejemplo de archivo de datos de entrada en un nodo en tiempo pasado o
simulación=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\Nod_in_sim\Castañuelas.xlsx
Ejemplo de archivo de resultados de salidas de un nodo en tiempo
pasado o
simulación=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\Nod_sim\Castañuelas.xlsx
Ejemplo de archivo de datos de entrada en un nodo en tiempo
futuro=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\Nod_in\Castañuelas.xlsx
Ejemplo de archivo de resultados de salidas de un nodo en tiempo
futuro=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\Nod\Castañuelas.xlsx
Series datos Q y S generales=C:\EDAPHI\RD\ST\st_gen_s_YN.xlsx
Archivo de lluvias pasadas o dato del escenario FFGS-MAP_EHA-
P=C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\MAP\Nod_S_Areas_YN_MAP.xlsx
Archivo de lluvias pasadas o dato del escenario FFGS-MAP_EHA-
ASM=C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\MAP\Nod_S_Areas_YN_MAP.xlsx
Archivo de lluvias pasadas o dato del escenario FFGS-MAP_EHA-
Normal=C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\MAP\Nod_S_Areas_YN_MAP.xlsx
Archivo de lluvias pasadas o dato del escenario FFGS-MAP_EHA-
Seco=C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\MAP\Nod_S_Areas_YN_MAP.xlsx
Archivo de lluvias pasadas o dato del escenario FFGS-MAP_EHA-
Hum=C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\MAP\Nod_S_Areas_YN_MAP.xlsx
Archivo de lluvias pasadas o dato del escenario FFGS-
ARW=C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\MAP\Nod_S_Areas_YN_MAP.xlsx
Archivo de lluvias pasadas o dato del escenario FFGS-
FV3=C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\MAP\Nod_S_Areas_YN_MAP.xlsx
Archivo de lluvias pasadas o dato del escenario MF-
AROME=C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\MAP\Nod_S_Areas_YN_MAP.xlsx
Archivo de lluvias pasadas o dato del escenario Sispi-
RAIN=C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\MAP\Nod_S_Areas_YN_MAP.xlsx
Archivo general de salidas de embalse en
futuro=C:\EDAPHI\RD\ST\st_gen_s_pasfut_YN.xlsx
Archivo de lluvias en futuro del escenario FFGS-
ARW=C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\ARW\Nod_S_Areas_YN_ARW.xlsx
Archivo de lluvias en futuro del escenario FFGS-
FV3=C:\EDAPHI\RD\CFFGS\Res\FV3\Nod_S_Areas_YN_FV3.xlsx
Archivo de lluvias en futuro del escenario MF-
AROME=C:\EDAPHI\RD\CMF\Res\Prec_Ground\Nod_S_Areas_YN_PREC_GROUND.xlsx
Archivo de lluvias en futuro del escenario Sispi-
RAIN=C:\EDAPHI\RD\CSispi\Res\RAIN\Nod_S_Areas_YN_RAIN.xlsx
Series de entrada del escenario FFGS-MAP_EHA-
P=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-MAP_EHA-P_in.xlsx
Series de salida del escenario FFGS-MAP_EHA-
P=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-MAP_EHA-P.xlsx
Series de salida temporales o auxiliares del escenario FFGS-MAP_EHA-
P=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-MAP_EHA-P_tmp.xlsx
Series de entrada del escenario FFGS-MAP_EHA-
ASM=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-MAP_EHA-ASM_in.xlsx
Series de salida del escenario FFGS-MAP_EHA-
ASM=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-MAP_EHA-ASM.xlsx
Series de salida temporales o auxiliares del escenario FFGS-MAP_EHA-
ASM=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-MAP_EHA-ASM_tmp.xlsx
Series de entrada del escenario FFGS-MAP_EHA-
Normal=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-MAP_EHA-Normal_in.xlsx
Series de salida del escenario FFGS-MAP_EHA-
Normal=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-MAP_EHA-Normal.xlsx

```

```

Series de salida temporales o auxiliares del escenario FFGS-MAP_EHA-
Normal=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-MAP_EHA-Normal_tmp.xlsx
Series de entrada del escenario FFGS-MAP_EHA-
Seco=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-MAP_EHA-Seco_in.xlsx
Series de salida del escenario FFGS-MAP_EHA-
Seco=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-MAP_EHA-Seco.xlsx
Series de salida temporales o auxiliares del escenario FFGS-MAP_EHA-
Seco=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-MAP_EHA-Seco_tmp.xlsx
Series de entrada del escenario FFGS-MAP_EHA-
Hum=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-MAP_EHA-Hum_in.xlsx
Series de salida del escenario FFGS-MAP_EHA-
Hum=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-MAP_EHA-Hum.xlsx
Series de salida temporales o auxiliares del escenario FFGS-MAP_EHA-
Hum=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-MAP_EHA-Hum_tmp.xlsx
Series de entrada del escenario FFGS-
ARW=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-ARW_in.xlsx
Series de salida del escenario FFGS-
ARW=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-ARW.xlsx
Series de salida temporales o auxiliares del escenario FFGS-
ARW=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-ARW_tmp.xlsx
Series de entrada del escenario FFGS-
FV3=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-FV3_in.xlsx
Series de salida del escenario FFGS-
FV3=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-FV3.xlsx
Series de salida temporales o auxiliares del escenario FFGS-
FV3=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\FFGS-FV3_tmp.xlsx
Series de entrada del escenario MF-
AROME=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\MF-AROME_in.xlsx
Series de salida del escenario MF-
AROME=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\MF-AROME.xlsx
Series de salida temporales o auxiliares del escenario MF-
AROME=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\MF-AROME_tmp.xlsx
Series de entrada del escenario Sispi-
RAIN=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\Sispi-RAIN_in.xlsx
Series de salida del escenario Sispi-
RAIN=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\Sispi-RAIN.xlsx
Series de salida temporales o auxiliares del escenario Sispi-
RAIN=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Res\Sispi-RAIN_tmp.xlsx
Archivo del proyecto
HMS=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Hec\YaqueNorte.hms
Archivo HMS de cuenca=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Hec\YaqueNorte.basin
Archivo HMS meteorológico=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Hec\met_s.met
Archivo HMS de
estaciones=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Hec\YaqueNorte.gage
Archivo HMS de
control=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Hec\control_e.control
Archivo HMS de
ejecución=C:\EDAPHI\RD\MHH\YaqueNorte\Hec\YaqueNorte.run
Archivo DSS de intercambio de series=Datos.dss

```

13.13 Semáforos específicos

EDAPHI cuenta con semáforos de control de ejecuciones de aplicación cuando las salidas de un modelo son entradas para otro y los correspondientes procesos de cálculo se lanzan en paralelo. Un caso especial es el de los modelos MH.

Esta solución informática permite construir hipermodelos. Diferentes subsistemas, para tratar con MH, se almacenan en diferentes carpetas de caso. Pueden lanzarse

en paralelo y el semáforo mantendrá en espera la ejecución de un subsistema mientras se calculan los de aguas arriba.

La orden `ed_cmd sem` ofrece lo siguiente:

Semáforo de modelos MH

Argumento obligatorio:
`xlsx_conf`=Nombre del archivo de configuración

Comandos:

- `-cmp_archs`: Comprueba la existencia de archivos de entradas por escenario
- `-cmp_series`: Comprueba la existencia de archivos de entradas por escenario y busca las series
- `/c`: Realiza ciclos hasta cumplir condiciones: todas encontradas o `WAIT_MIN`
- `/s`: Guarda el resultado en `ARCH_RES`

Ejemplos:

```
xlsx_conf=conf_sem_ec.xlsx -cmp_archs
```

Se configura con un archivo en el que se indican las variables que se esperan para cada escenario. El módulo quedará a la espera, por un tiempo máximo, hasta que se detecte que se han creado los archivos y que cuenta con las variables necesarias. En caso de no encontrarse, se generarán variables con datos inválidos y el módulo MH aplicado al caso optará por descartar el escenario o rellenar huecos, según haya sido configurado.

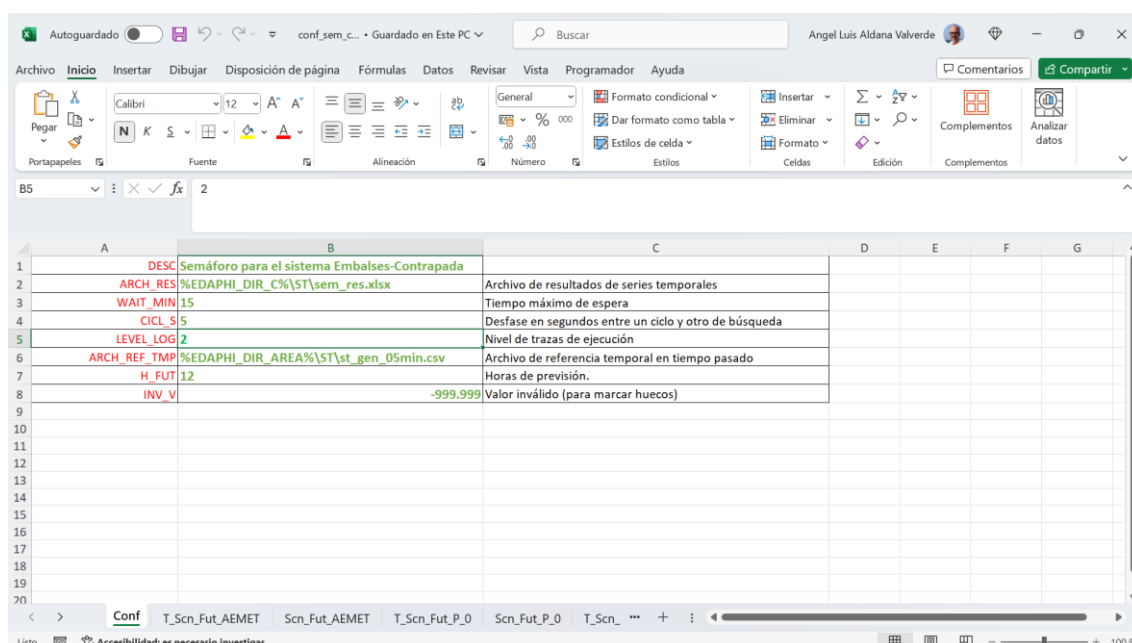


Figura 13-40.- Configuración general del semáforo sem-H.

Las especificaciones para cada escenario SEM siguen un formato y sintaxis similar al de los escenarios de cualquier otro módulo, tal como el MH.

ID	SCN	VAR	ARCH	ST	Sistema
01A01A1	AEMET	Q	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\EC\Res\Nod\01A01A1.xlsx		AF. SEGURA-CONTRAPARADA
01O05A1	AEMET	Q	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Guadalentin\Res\Nod\01O05A1.xlsx		AF. GUADALENTIN-EL PALMA
01E02E1	AEMET	S	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Embalses_MI\Res\Nod_V\01E02E1.xlsx		QS E. SANTOMERA

Figura 13-41.- Configuración de variables que se esperan para cada escenario. Módulo sem.

13.14 Instalación

MHH no cuenta con singularidades en la instalación a excepción de que requiere la de las aplicaciones Hec-HMS y HecDSSVue. En la configuración de MHH se indicarán los directorios en los que se almacenan dichas aplicaciones.

La versión actual de EDAPHI opera con la versión 4.2.1 de Hec-HMS y la 2.0.1 de HecDSSVue

MHED no necesita que las aplicaciones Hec estén instaladas, le basta con los archivos del proyecto HMS. Por lo tanto, se trata de un módulo de instalación estándar.

13.15 Análisis topológico y tiempos de propagación

Un resultado que puede ser interesante en tiempo real es el de los tiempos de propagación entre elementos de los sistemas hidrológicos.

Para ello se ha definido el módulo *ana_topo_mh*, que, aunque en programación incluye otras funcionalidades, para el uso interactivo sirve para este propósito.

Así, con instrucciones como

```
ed_cmd ana_topo_mh -calc_t xlsx_conf=conf_cg_operacion.xlsx
html=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\MH-CG\tiempos_p.html
arch_css=../cmn/edaphi.css
```

Se generan páginas web como la que se presenta en la siguiente ilustración:

Río Guadalentín
Río Guadalentín hasta El Palmar

Propagación de lluvia desde: Rbla. Chirivel - 05A09A1 - Marco de Control Rbla Chirivel

Identificador	Nombre	Variable	Tiempo (h)
05A09A1	MARCO DE CONTROL RBLA CHIRIVEL	Caudal	0.6
05A10A1	M.C. RBLA CHIRIVEL (VÉLEZ RUBIO) VANO1	Caudal	4.6
05E03E1	EMBALSE DE PUENTES	Caudal de entrada	10.6
05R01A1	AFORO GUADALENTÍN (LORCA)	Caudal	13.8
01O06A3	AFORO EN RÍO GUADALENTÍN - PARETÓN TOTANA AG.ARR.	Caudal	22.8

Embalses - Contraparada
Desde los embalses hasta la estación de aforos de Contraparada

Propagación de caudal de salida desde: 04S03E1 - Embalse de Cénajo

Identificador	Nombre	Variable	Tiempo (h)
03A02A2	AFORO EN RÍO SEGURA BAYO + ACEQUIA	Caudal	4.5
03A03A3	CAUDAL TOTAL RÍO SEGURA CALASPARRA + ACEQUIAS	Caudal	6.9
02A01A2	CAUDAL TOTAL SEGURA AG.ARR.ALMADENES	Caudal	10.5
02R01A1	AFORO EN RÍO SEGURA (CIEZA)	Caudal	13.3
02A03A1	AFORO RÍO SEGURA - MENÚ	Caudal	14.1
02A04A1	AFORO EN RÍO SEGURA - BLANCA	Caudal	15.4

Contraparada - Guardamar
Río Segura desde la estación de aforos de Contraparada hasta la desembocadura en el mar

Propagación de caudal desde: 01A01A1 - Aforo en Río Segura - Contraparada

Figura 13-42.- Página HTML con tiempos de propagación entre elementos de los sistemas hidrológicos

Los tiempos de propagación deben interpretarse según la modelación hidrológica, pues están basados en los parámetros de desfase ("Lag" en subcuencas y "K-Muskingum" en tramos).

- En las subcuencas se basan en el tiempo de concentración del proceso de transformación de lluvia en escorrentía
- En los tramos de transporte se cuantifican por el parámetro denominado desfase (K)
- No se consideran los desfases por la laminación en los embalses, lo que puede ser muy relevante

Los parámetros de modelación empleados se corresponden con los de la última calibración de cada subsistema.

Los elementos se presentan ordenados según distancia topológica (nivel).

13.16 Control de ejecución de casos MH. Módulo cntrl_mh

La configuración recomendada para el uso de modelos MH es el de destinar una carpeta para cada caso, dentro de una carpeta MH del área de aplicación.

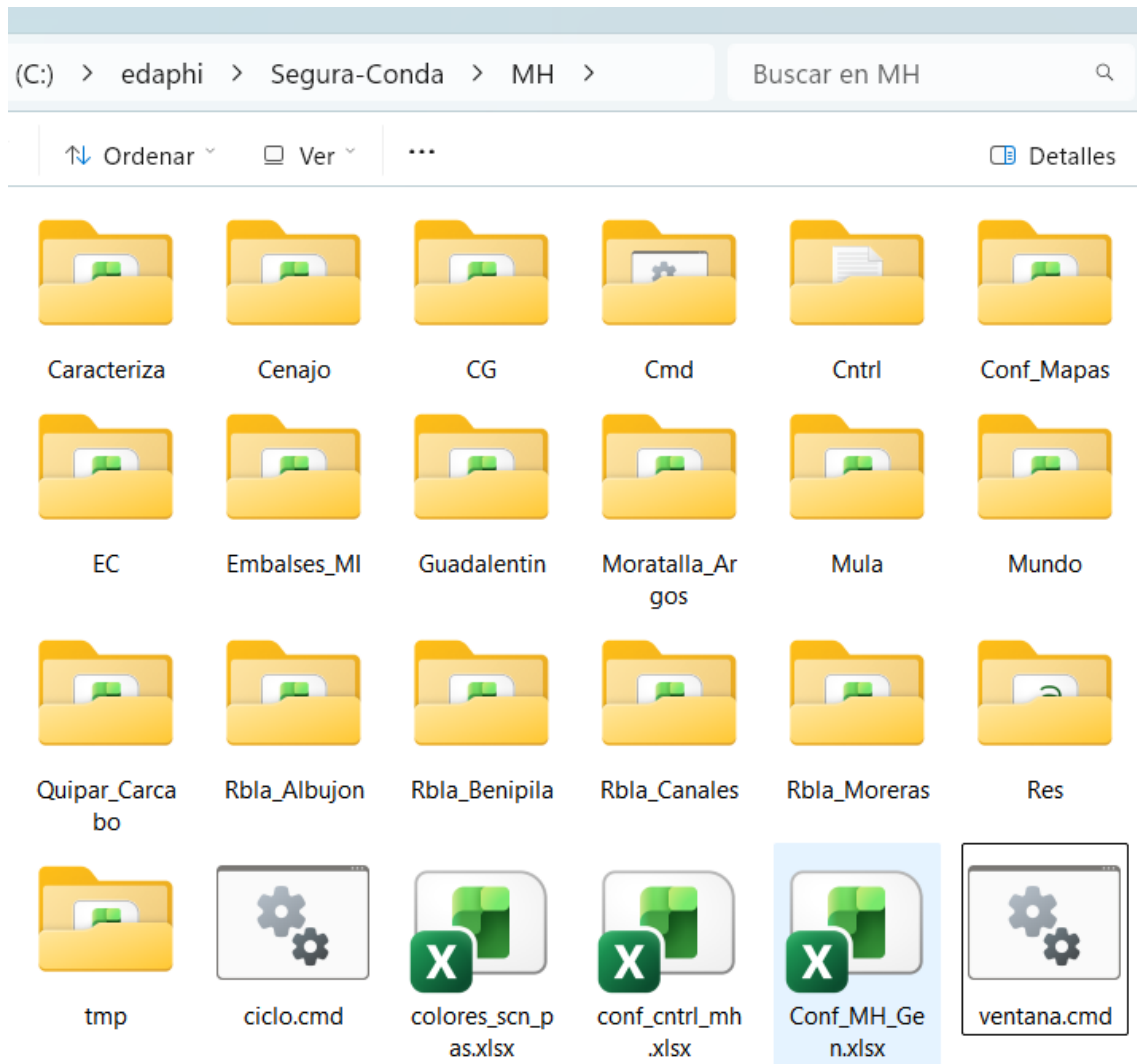


Figura 13-43.- Carpeta MH de un área con subcarpetas de casos

De este modo, cabe entender que se puede definir un módulo MH de área que no incluye simulación, pero sí control y preparación de resultados.

13.16.1 Comandos

Para tal fin se ha desarrollado el módulo *cntrl_mh*, cuyas opciones de uso interactivo son:

```
Control de funcionamiento de modelos hidrológicos EDAPHI
Argumento opcional general
  icas=: (Opcional) índice (base 0) del sistema / caso
  txt=: (opcional) nombre del archivo txt
  html=: (opcional) nombre del archivo HTML
  css=: (opcional) nombre del archivo CSS para referir en el HTML
Comandos
  -t_nods: Imprime la descripción de los nodos en formato tabla
  -t_ie: Imprime tabla de inicio y fin de las ejecuciones
  -t_hlog: Imprime la información de interés hidrológico
    hmin: Nivel mínimo de bloques html <h#></h#>
    hmax: Nivel máximo de bloques html <h#></h#>
```

```

-t_log: Imprime el texto seleccionado de los archivos log
  hmin: Nivel mínimo de bloques html <h#></h#>
  hmax: Nivel máximo de bloques html <h#></h#>
  /ie: Añade información de inicio y fin de las ejecuciones
-t_ns: Imprime tabla de información sobre máximos en subsistema
  scn=: Id de escenarios delimitados por |
  at=: Atributos separados por |
  /in: (opcional) Entradas (Nod_in, Nod_in_sim). Salidas si no se
incluye (Nod, Nod_sim)
  /pas: (opcional) Pasado (Nod_sim, Nod_in_sim). Futuro si no se
incluye (Nod, Nod_in)
  /o: (opcional) Orden descendiente por vmax
-t_par: Imprime tablas de información de parámetros en nodos
  scn=: (opcional) id del escenario
  /r: (opcional) sólo tramos
  /s: (opcional) sólo subcuencas
-t_scn_err: Imprime tablas de errores de simulación
-t_scn_sel: Imprime tablas de escenarios de simulación
seleccionados
-cp_frel: Copia archivos relevantes a la subcarpera de DIR_AREA
  sdrel=: Subcarpeta. Por defecto MH\ResEst
  /r: Los recupera
-s_vnods: Genera los archivos SIG de nodos en
%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Res\Sig
Ejemplos
-t_log /ie html=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\cntrl\embalses_md.html icas=3
-t_nods icas=0
-t_ie
-t_ns /p
-t_ns /n_p /o html=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\Cntrl\s-n-np.html
css=../cmn/edaphi.css scn_f="AEMET" scn_p="DATO_SAIH|DATO"
-t_par scn=sel /s icas=0 html=pru_par.html
css=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\cmn\edaphi.css

```

Como puede apreciarse, cuenta con muchas funcionalidades, lo que permite generar páginas web con mucha información de interés en la aplicación en tiempo real, y también en las fases de configuración y calibración de modelos.

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying 'edaphi.es/Segura/Cntrl/'. The page content includes a header with 'Sistema / caso: CG' and a file path. Below this, there is a section titled 'Inicio y fin de ejecuciones' containing a table with execution start and end times. Further down, a section titled 'Series con valores máximos por subsistema' contains a table with various data series. The bottom section, 'Lluvias en futuro', contains a table with future rainfall data.

Archivo Log: C:\edaphi\Segura-Conda\MH\Res\CG\Cntrl\MHED.log

Inicio y fin de ejecuciones

Sistema / caso	Inicio	Fin	Tiempo de cálculo (minutos)
Cenajo	05/08/2026 12:05	05/08/2026 12:14	8.90
CG	05/08/2026 12:22	05/08/2026 12:22	0.65
EC	05/08/2026 12:15	05/08/2026 12:19	3.57
Moratala Argos	05/08/2026 12:05	05/08/2026 12:10	4.97

Serie con valores máximos por subsistema

Lluvias en pasado

Sistema / Caso	scn	id	desc	at	v max	instante	acum
Rbla. Horcas	DATO_SAIH	RBLA. RAMONETE	Rabla Ramonete en desembocadura	P	11.01	12/09/2019 17:55	56.39
Rbla. Canales	DATO_SAIH	RBLA. MINGLANO CAÑARETE - 06A16A1	MC Loma de Escribano, Rbl Minglano Cañarete	P	7.95	12/09/2019 18:45	52.10
EC	DATO_SAIH	R. SEGUIRA - 02A02A1	Aforo en Río Segura - Ojos	P	7.22	12/09/2019 10:45	119.02
Mula	DATO_SAIH	RBLA. DE MAYÉS - 02E01E1	Embalse de Mayés	P	4.64	12/09/2019 13:50	108.64
Guadalestín	DATO_SAIH	RBLA. DE NOGALTE - 05001A1	Marco de control en Puerto Lumbrenas	P	4.44	12/09/2019 19:30	69.05
Embalses_Mi	DATO_SAIH	RBLA. SALADA - 01E02E1	Embalse de Santomera	P	3.95	12/09/2019 12:25	129.81
Rbla. Albuñon	DATO_SAIH	RBLA. DE LA MURTA - 06A06A1	MC en Los Cegarras, Rbl de la Murta	P	3.80	12/09/2019 15:55	43.33
Mundo	DATO_SAIH	R. MUNDO - 03A06A1	Aforo en cabecera del río Mundo, Rópar	P	3.31	12/09/2019 10:45	80.81
Quiser. Cárcabo	DATO_SAIH	RBLA. DEL CÁRCABO - 02E06E1	Embalse del Cárcabo	P	3.24	12/09/2019 13:55	111.31

Lluvias en futuro

Sistema / Caso	scn	id	desc	at	v max	instante	acum
Rbla. Albuñon	AEMET	RBLA. ALBUJÓN-URB FUENSANTA	Rbla Albuñon en puente de la urbanización La Fuensanta	P	4.98	13/09/2019 00:05	91.51

Figura 13-44.- Fragmento de una de las páginas web generadas con la utilidad cntrl_mh

13.16.2 Configuración

La configuración del módulo se hace con el libro *conf_cntrl_mh.xls* que se almacena en la carpeta *MH*.

	A	B	C	D
1	MH	DIR_CASE	LOG	SUB_DIR_HTML
2	Cenajo	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Res\Cenajo	MHED.log	MH-CEN
3	CG	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Res\CG	MHED.log	MH-CG
4	EC	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Res\EC	MHED.log	MH-EC
5	Moratalla_Argos	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Res\Moratalla_Argos	MHED.log	MH-MA
6	Quipar_Carcabo	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Res\Quipar_Carcabo	MHED.log	MH-QC
7	Embalses_MI	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Res\Embalses_MI	MHED.log	MH-EMB_MI
8	Guadalentin	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Res\Guadalentin	MHED.log	MH-GUAD
9	Mula	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Res\Mula	MHED.log	MH-MULA
10	Mundo	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Res\Mundo	MHED.log	MH-MUN
11	Rbla_Alujon	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Res\Rbla_Alujon	MHED.log	MH-R-ALB
12	Rbla_Benipila	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Res\Rbla_Benipila	MHED.log	MH-R-BEN
13	Rbla_Moreras	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Res\Rbla_Moreras	MHED.log	MH-R-MOR
14	Rbla_Canales	%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Res\Rbla_Canales	MHED.log	MH-R-CAN
15				
16				

Figura 13-45.- Una de las hojas de configuración de cntrl_mh

13.17 Uso de comandos comunes

13.17.1 Utilidades para configuración, revisión y documentación

Para este módulo resultan especialmente interesantes los módulos generales (capítulo 7) *scenario* y *mod*, tanto para labores de configuración como para consulta de resultados.

El primero da las siguientes posibilidades:

Comandos:

- desc: Descripción de cada escenario
- list_s: Listado de escenarios de salida
- list_e: Listado de escenarios de entrada

Argumento obligatorio:

xlsx_conf=: Archivo de configuración del modelo

```

MHH en E:\EDAPHI\MHH\CG>scn xlsx_conf=conf_cg_operacion.xls -list_s
<|>
<|> MHH.scn: Utilidades relacionadas con los escenarios de un modelo
<|>
* Escenarios de salida del modelo
Tipo, id
PAS, C2019130800
PAS, Resp_Rapida
PAS, Resp_Media
PAS, Resp_Lenta
CAL, Calibra
FUT, AEMET-EC
FUT, Fut_QCte
FUT, Fut_2h100
FUT, Fut_4h100
FUT, Fut_2h175
FUT, Fut_4h175
FUT, Fut_2h250
FUT, Fut_4h250

```

Figura 13-46: Ejemplo de resultado del comando `scn -list_s`

```

MHH en E:\EDAPHI\MHH\CG>scn xlsx_conf=conf_cg_operacion.xls -list_e
<|>
<|> MHH.scn: Utilidades relacionadas con los escenarios de un modelo
<|>
* Escenarios de entrada al modelo
PAS, General (módulo Gen), (para salida C2019130800)
PAS, General (módulo Gen), (para salida Resp_Rapida)
PAS, General (módulo Gen), (para salida Resp_Media)
PAS, General (módulo Gen), (para salida Resp_Lenta)
CAL, General (módulo Gen), (para salida Calibra)
FUT, E:\EDAPHI\MHH\CG\conf_cg_operacion.xls|Hv_Fut_EC, Hv_Fut_EC (para salida AEMET-EC)
FUT, E:\EDAPHI\MHH\CG\conf_cg_operacion.xls|Hv_Fut_Cte, Hv_Fut_Cte (para salida Fut_QCte)
FUT, E:\EDAPHI\MHH\CG\conf_cg_operacion.xls|Hv_Fut_2h100, Hv_Fut_2h100 (para salida Fut_2h100)
FUT, E:\EDAPHI\MHH\CG\conf_cg_operacion.xls|Hv_Fut_4h100, Hv_Fut_4h100 (para salida Fut_4h100)
FUT, E:\EDAPHI\MHH\CG\conf_cg_operacion.xls|Hv_Fut_2h175, Hv_Fut_2h175 (para salida Fut_2h175)
FUT, E:\EDAPHI\MHH\CG\conf_cg_operacion.xls|Hv_Fut_4h175, Hv_Fut_4h175 (para salida Fut_4h175)
FUT, E:\EDAPHI\MHH\CG\conf_cg_operacion.xls|Hv_Fut_2h250, Hv_Fut_2h250 (para salida Fut_2h250)
FUT, E:\EDAPHI\MHH\CG\conf_cg_operacion.xls|Hv_Fut_4h250, Hv_Fut_4h250 (para salida Fut_4h250)

```

Figura 13-47: Ejemplo de resultado del comando `scn -list_e`

Y *mod*:

```

Argumentos:
  -desc: Descripción básica de un modelo según su archivo de
configuración
        xlsx_conf=: Nombre del archivo de configuración
  -l_nods: Muestra una tabla de nodos
        xlsx_conf=: Nombre del archivo de configuración
  -xlsx_nods: Escribe un XLSX con una tabla de nodos en la hoja Nod
        xlsx_conf=: Nombre del archivo de configuración
        xlsx_res=: Nombre del archivo de resultados
  -plt_nod: Muestra una ventana con las series de un nodo
        xlsx_conf=: Nombre del archivo de configuración
        id_nod=: Identificador del nodo
        t=: P para pasado o simulación y F para futuro (pronóstico)
        attr=: Atributo (opcional). Ejemplo attr=Q
Ejemplos:
  -l_nods xlsx_conf=conf_mhh_Albujaon_Umbrales.xls
  -plt_nod t=P attr=Q id_nod=06A06
xlsx_conf=conf_mhh_Albujaon_Umbrales.xls

```

Así, un comando como

```
mod -plt_nod t=P attr=Q id_nod=06A06
xlsx_conf=conf_mhh_Albujon_Umbrales.xlsx
```

mostraría ventanas de series temporales como las que se muestran en el capítulo 7 (Figura 7-4).

```
MHH en E:\EDAPHI\MHH\Ramblas\Albujon>mod xlsx_conf=conf_mhh_Albujon_Umbrales.xlsx -l_nods
<|>
<|> MHH.mod: Utilidades básicas o generales para modelos
<|>
24/02/2020 10:44:33.- Leyendo configuración general (conf_gen) de E:\EDAPHI\Gen\conf_gen.xlsx
24/02/2020 10:44:33.- -----
24/02/2020 10:44:33.- Leyendo configuración básica de modelo
24/02/2020 10:44:33.- Directorio de caso: E:\EDAPHI\MHH\Ramblas\Albujon
24/02/2020 10:44:33.- -----
24/02/2020 10:44:34.- ¡AVISO! No se encuentra E:\EDAPHI\MHH\Ramblas\Albujon\SIG\nod_P.shp
24/02/2020 10:44:34.- ¡AVISO! No se encuentra E:\EDAPHI\MHH\Ramblas\Albujon\SIG\nod_V.shp

id,desc,x,y,type,in/out
06A01,Marco de Control en La Puebla - Rbla Albuji3n,683680.000000,4176662.000000,QNode,out
06A02,Marco de Control en Pozo Estrecho - Rbla Albuji3n,677961.000000,4176904.000000,QNode,out
06A03,Marco de control en Rambla del Albuji3n,671928.000000,4176679.000000,QNode,out
06A04,Marco de Control en El Estrecho - Rbla Albuji3n,666478.000000,4176907.000000,QNode,out
06A05,Marco de Control en Fuente lamo - Rbla Albuji3n,660977.000000,4176639.000000,QNode,out
06A06,Marco de Control en Los Cegarras - Rbla de la Murta,663344.000000,4179947.000000,QNode,out
Subc06A04,Marco de Control en El Estrecho - Rbla Albuji3n,656458.139003,4178144.281732,SNode,in
Subc06A05,Marco de Control en Fuente lamo - Rbla Albuji3n,656516.588588,4170832.951993,SNode,in
Subc06A06,Marco de Control en Los Cegarras - Rbla de la Murta,658264.505864,4186557.234403,SNode,in
Subc06A02,Marco de Control en Pozo Estrecho - Rbla Albuji3n,667011.676100,4183530.769951,SNode,in
Subc06A03,Marco de control en Rambla del Albuji3n,669001.214389,4176417.683558,SNode,in
Subc06A01,Marco de Control en La Puebla - Rbla Albuji3n,672389.187966,4183675.410366,SNode,in

- Nota: es posible que algunos nodos sean generados por el mismo m3dulo
```

Figura 13-48.- Ejemplo de resultado del comando `mod -l_nods`

13.17.2 Obtenci3n de resultados complementarios

Un comando que amplía las posibilidades de generaci3n y publicaci3n de resultados es el comando `ed_cmd mod -kml_res`, pues genera resultados en formato KML con enlace dinámico a los resultados publicados en una web.

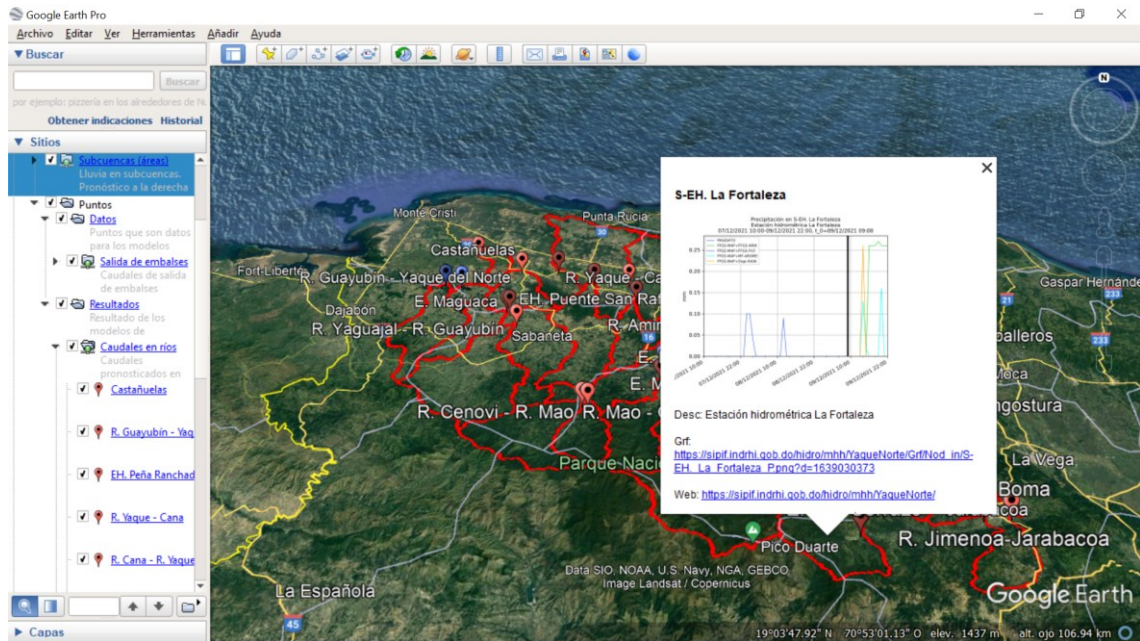


Figura 13-49.- Ejemplo de consulta de resultados con Google Earth

Por otra parte, también se pueden generar archivos HTML de mapas interactivos con una instrucción tal como:

```
call map_html -conf
arch_conf=%EDAPHI_DIR_C%\Conf_Mapas\conf_mapa_html.xlsx
n html=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\MH-CEN\mapa.html
```

Que se basa en un archivo XLSX para configurar el mapa:

Autoguardado Guardado en Este PC Buscar Angel Luis Aldana Valverde

Archivo Inicio Insertar Dibujar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programador Ayuda

Comentarios Compartir

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas Edición Complementos Analizar datos

C6 Si incluye un hipervínculo tiene que se de Internet (no funciona para archivos locales, salvo localhost). Se realizan las siguientes sustituciones: %ID%->identificador de serie, %AT%->atributo de serie, %SCN%->escenario de serie, %RND%->entero aleatorio

A	B	C
1 TITLE	Mapa de caudales	
2 GRID	5	Dibuja una malla cuadrada (5/N)
3 H_W_REC_PX	250	Altura (px) de las ventanas de información de registros de vectoriales
4 DPI_SAVE_PNG	300	Puntos por pulgada (72, 96, 160, 300, ...)
5 VECT_1_NAME	Subcuencas	
VECT_1_N_FIELD_1	Pas-Fut<figure> </figure>	Si incluye un hipervínculo tiene que se de Internet (no funciona para archivos locales, salvo localhost). Se realizan las siguientes sustituciones: %ID%->identificador de serie, %AT%->atributo de serie, %SCN%->escenario de serie, %RND%->entero aleatorio
6		
7 VECT_1_OPAC	0.30	
8 VECT_1_ACTIVE	5	5 para que se presenta activada en control de capas
9 VECT_1_ARCH	%EDAPHI_DIR_C%SIG\html\nod_S.shp	
10 VECT_1_TYPE	line	
11 VECT_1_COLOR	gray	ver comando color_nombres
12 VECT_1_COLOR_IN	white	ver comando color_nombres
13 VECT_1_SIZE	2	
14 VECT_2_NAME	Ríos	

Conf Info

Listo Accesibilidad: es necesario investigar

Figura 13-50.- Archivo de configuración de un mapa de resultados de un módulo MH

Mapa que tendrá un aspecto como el de la siguiente ilustración:

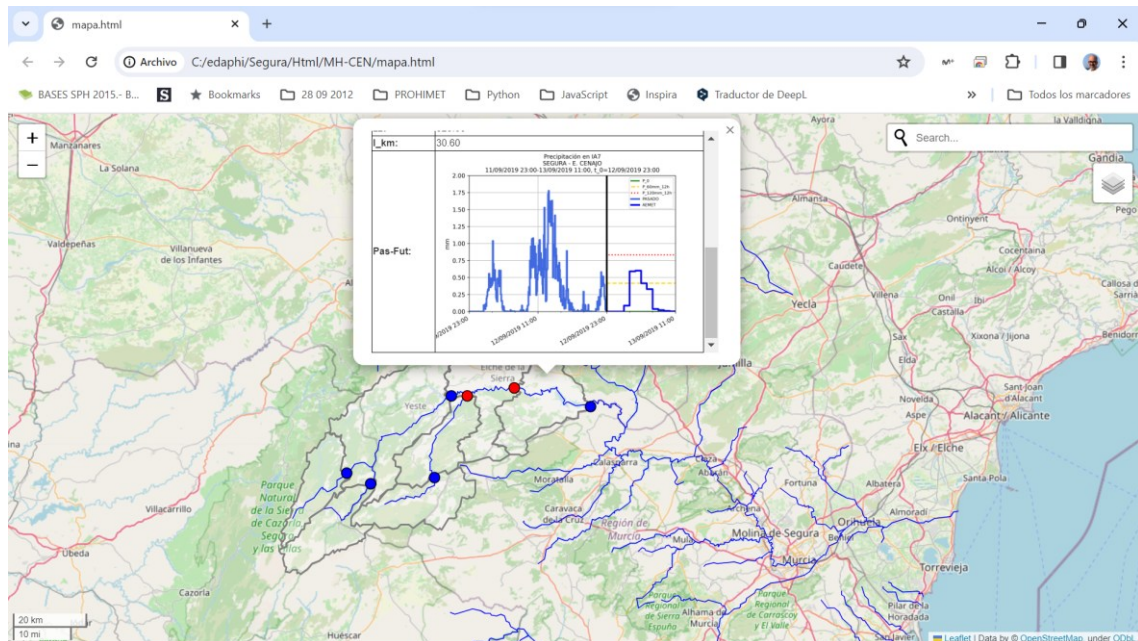


Figura 13-51.- Mapa interactivo HTML de resultados de un módulo MH

14 Laminación de embalses. EDAPHI-PEX-XN y XLSM

14.1 Introducción

Las versiones de las aplicaciones para pronóstico hidrológico EDAPHI-MHH contaban con dos métodos para el manejo de embalses en tiempo futuro:

- Datos de salida de embalse almacenadas en un fichero de series temporales
- Salidas de embalse para las próximas fijadas en la configuración del modelo que, por defecto, se establecían como constantes e igual a la medida SAIH más reciente.

Los embalses se tratan en el modelo MHH como un elemento que corta la topología del sistema al que llegaban caudales (caudal de entrada) y del que salen hacia aguas abajo (caudal de salida). En el modelo Hec-HMS esto queda representado con una confluencia (junction) a la que llegan los caudales de entrada y una fuente (source) con datos de caudal que representa la salida del embalse.

La diferencia entre pasado y futuro está en lo que es dato: en pasado todas las series son dato y en futuro el caudal de entrada es el resultado de los cálculos desde aguas arriba, el de salida es una variable de decisión y el nivel (y el volumen) es un resultado.

Puesto que el Hec-HMS sólo puede tratar los embalses con caracterizaciones que dependen del nivel, se cuenta con limitaciones importantes para su representación en el ámbito del pronóstico hidrológico. Es por ello por lo que se incorpora una solución con MHED, que cuenta con sus propios algoritmos de cálculo hidrológico, aunque sigue leyendo la caracterización de los modelos Hec-HMS, pero incorpora el módulo PE_XN para la gestión de embalses.

14.2 Funcionalidad de la aplicación

Este módulo realizará la laminación del caudal de entrada obteniendo un caudal de salida y una evolución del nivel del embalse, y de su volumen de agua almacenado, según diferentes opciones:

- *grd_cte*.- Laminación tras identificar una situación inicial y mantenerla constante en aperturas
- *qs_cte*.- Laminación tras identificar una situación inicial y mantenerla constante en caudal de salida
- *grd_prio*.- Laminación por grado de apertura y prioridad constantes

- *nobj_qsmin*.- Busca una solución que no supere un determinado nivel (nivel objetivo, *n_obj*) tratando que el caudal de salida sea el mínimo.
- *qs_max*.- Busca solución de desagüe que se aproxime, sin superar, un valor máximo (*qs_max_obj*)
- *qs_dat*.- Calcula la evolución del embalse partiendo de datos de *qs* de un archivo.
- *qs_qe*.- Iguala las salidas a las entradas

En el caso *qs_dat* el archivo tiene un formato sencillo: debe contener una hoja con el identificador del embalse que contenga una columna con los tiempos y otra con los valores. Los tiempos no tienen que referirse a periodos constantes, pues será el programa el que transforme estos datos en una serie temporal regular con intervalo igual al del caudal de entrada, que, si se usa esta opción, sí debe ser una serie temporal regular con intervalo fijo.

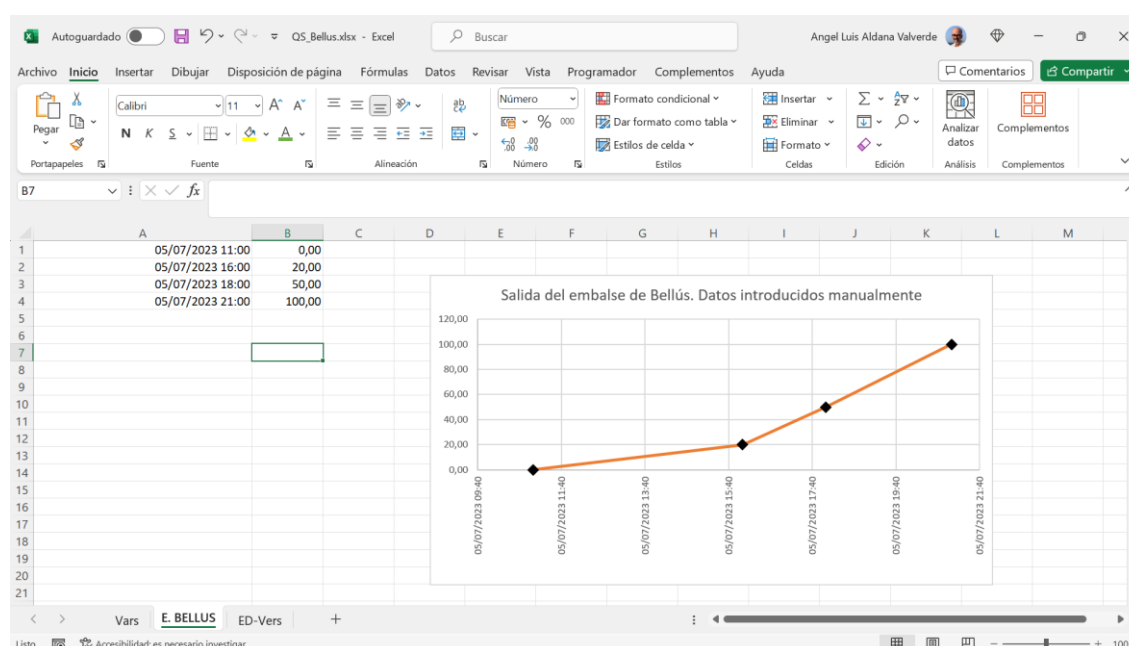


Figura 14-1.- Ejemplo de archivo con datos de caudal de salida

Esto abre la vía a usar aplicaciones externas para la laminación en embalse sin cambios importantes en la caracterización del sistema hidrológico. Tan sólo es necesario especificar el modo e indicar el archivo esperado. Más adelante se expone un ejemplo en el que se emplea un libro MS-Excel con código VBA.

14.3 Situación inicial

Los cálculos anteriores requieren una situación inicial que será definida por un caudal de salida y un nivel embalsado. Puede ser un argumento o el programa lo obtendrá de los archivos de configuración o de las series de entrada, aunque el uso interactivo permite otras opciones de entrada de datos. Las prioridades de estos parámetros serán: series temporales dato, argumento en línea y archivo de configuración.

En el caso en que se usen series de datos almacenadas en archivos, los valores que se indiquen como argumentos o los que se almacenen en el archivo de configuración se usarán en caso de que no haya información suficiente.

Algunas opciones de cálculo admiten una apertura inicial en sustitución del caudal de salida.

14.4 Caudales de salida de embalses

Se diferencia entre las salidas al río (S), de interés especial en las simulaciones hidrológicas aguas abajo, de las salidas totales (ST), necesarias para el balance del embalse.

En las especificaciones de los órganos de desagüe se indica si es o no una salida al río.

14.5 Apertura de órganos de desagüe

La apertura de un órgano de desagüe se expresa en porcentaje respecto de la diferencia entre valor máximo y mínimo para un nivel de embalse

14.5.1 Movimientos

El código de programación está preparado para adoptar distintos tipos de movimientos de órganos de desagüe (variaciones de las aperturas), pero el módulo sólo ofrece una opción sencilla que se considera práctica a efectos operacionales, que se caracteriza por:

- Apertura inicial: será la correspondiente a la situación inicial del embalse
- Tiempo mínimo de cambio de apertura (abrir, mantener, cerrar)
- Un único cambio
- Para cada órgano:
 - Máximo incremento horario de variación de apertura (% en caudal)
 - Máximo grado de apertura

La imagen siguiente ilustra un caso de maniobra:

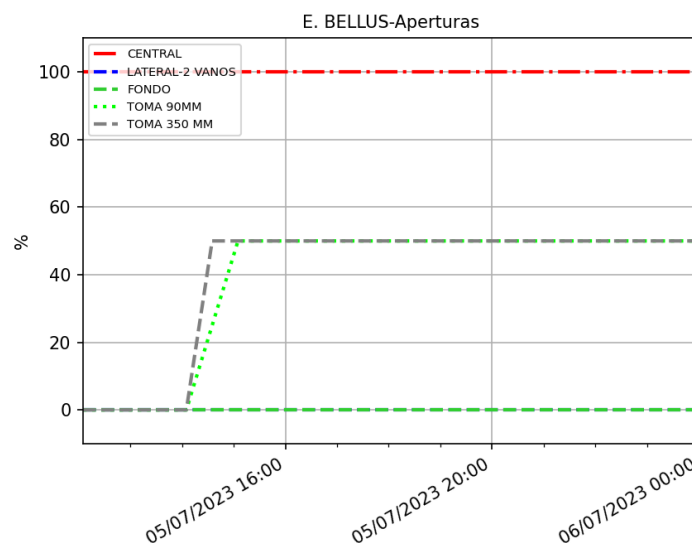


Figura 14-2.- Ejemplo de maniobra de apertura de órganos de desagües

14.6 Configuración

El módulo *PE-XN* se configura por embalse con un archivo XLSX que incluye:

- Tablas nivel-volumen
- Por cada órgano de desagüe, tabla nivel – caudal máximo desaguado – caudal mínimo desaguado
- Tabla de prioridades en el uso de órganos de desagüe, teniendo valor 1 la de los que se abrirían primero. Un valor de prioridad para la selección de órganos implica que se usarán todos los que tengan prioridad igual o inferior a esa
- Parámetros varios de configuración

Nota: La denominación XN está asociada a que la caracterización de los órganos de desagüe de la presa se basa en los valores máximos y mínimos para cada nivel. Los valores intermedios son interpolados linealmente, para cada grado de apertura. Esta aproximación se ha comprobado en muchos casos, analizando las curvas de muchos embalses, y es aceptable.

Figura 14-3.- Ejemplo de hoja de configuración básica del archivo de configuración de un embalse

14.7 Comandos. Uso interactivo del módulo

Al escribir `ed_cmd pe_xn` en la ventana de comandos, se muestran las opciones posibles:

```
Argumento general obligatorio:
  n_xlsx= nombre completo del archivo xlsx con los datos
Argumentos opcionales:
  inc_t_min=: Incremento temporal de cálculo (minutos). 5 por
defecto. No aplicable para opción 1 de definición de caudal de entrada
  l_log= nivel de información de ejecución (1 por defecto)
Argumentos para los comandos -grd_prio, -grd_cte, ini_qs, -nobj_qsmin
y -qs_max:
  Opción de caudal de entrada 1
    qemax= Caudal punta (m3/s) del hidrograma de entrada
    tp=: Instante (horas) de qemax
    ttot=: Tiempo (horas) total
  Opción de caudal de entrada 2
    n_q=: Archivo XLSX de series temporales
    scn=: Escenario dentro de n_qe (si hay más de uno)
    /fut: Toma los datos de futuro
    /pas: Toma los datos de pas
    /ad: Toma todos los datos
    z_ini= Cota inicial (m)
Argumentos para los comandos -grd_cte, ini_qs, -nobj_qsmin y -qs_max:
  q_ini= Caudal inicial (m3/s)
Argumentos para los comandos -nobj_qsmin y -qs_max:
  h_ini_a= Hora de inicio de primera maniobra
Comandos:
  -plt_all.- Muestra ventanas con todas las curvas
  -g_cq.- Grados de apertura para desaguar un caudal a una cota,
abriendo según prioridades
  qs_total=: Caudal total a desaguar
  z=: Cota
```

```

-grd_cte.- Laminación tras identificar una situación inicial y
mantenerla constante en aperturas
-qs_cte.- Laminación tras identificar una situación inicial y
mantenerla constante en salidas
-grd_prio.- Laminación de qe por grado de apertura y prioridad
constantes
    grd_ini=: Apertura inicial (%)
    grd=: Apertura (%)
    prio=: Se cerrarán todas las válvulas y compuertas con
prioridad mayor que este valor
-nobj_qsmin.- Busca solución con qs mínimo y n_obj
    nobj= Nivel máximo objetivo (opcional, modifica al de
configuración)
-qs_max.- Busca solución de desagüe hasta un valor qs_max_obj
    qs_max_obj= caudal máximo de salida (opcional, modifica al
de configuración)
-qs_dat.- Calcula la evolución del embalse partiendo de qs y qe de
archivos
    n_s= Archivo de series irregulares en tiempo
(opcional, modifica al de configuración)
-qs_qe.- Iguala las salidas a las entradas

```

Pero también los siguientes ejemplos de uso con los que se puede investigar, junto a los archivos de configuración para las pruebas.

```

n_xlsx=Camarillas.xlsx -grd_prio qemax=200 tp=6 ttot=12 z_ini=33
prio=1 grd=50 grd_ini=0
n_xlsx=Camarillas.xlsx -grd_prio qemax=200 tp=6 ttot=12 z_ini=33
prio=10 grd=100 grd_ini=100
n_xlsx=Camarillas.xlsx -grd_prio qemax=200 tp=6 ttot=12 z_ini=33
prio=10 grd=0 grd_ini=0
n_xlsx=camarillas.xlsx -g_cq qs_total=50 z=31
n_xlsx=Camarillas.xlsx -nobj_qsmin qemax=150 tp=6 ttot=12
z_ini=34 h_ini_a=3 q_ini=0
n_xlsx=Camarillas.xlsx -qs_max qs_max_obj=100 qemax=150 tp=6
ttot=12 z_ini=34 h_ini_a=3 q_ini=0
n_xlsx=Camarillas.xlsx -nobj_qsmin z_ini=33 h_ini_a=3 q_ini=80
l_log=5 n_qe=ST\QE_PresasMundo.xlsx
n_xlsx=Camarillas.xlsx -qs_dat n_qe=ST\QE_PresasMundo.xlsx
n_qs=ST\QS_PresasMundo.xlsx z_ini=34 q_ini=0
n_xlsx=Camarillas.xlsx -grd_cte z_ini=33 q_ini=50 l_log=5
n_qe=ST\QE_PresasMundo.xlsx
n_xlsx=Camarillas.xlsx -qs_cte z_ini=33 q_ini=50 l_log=5
n_qe=ST\QE_PresasMundo.xlsx
n_xlsx=Camarillas.xlsx -qs_qe z_ini=32
n_qe=ST\QE_PresasMundo.xlsx
n_xlsx=Talave.xlsx -qs_ma qemax=100 tp=6 ttot=12 z_ini=35.5
n_xlsx=Camarillas.xlsx
n_qe=%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Mundo\Res\Nod_V\03E03E1.xlsx
scn=S_t0_P_120mm_12h -grd_cte
n_xlsx=Camarillas.xlsx
n_qe=%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Mundo\Res\Nod_V\03E03E1.xlsx
scn=S_t0_P_120mm_12h -grd_cte
n_xlsx=Camarillas.xlsx
n_qe=%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Mundo\Res\Nod_V\03E03E1.xlsx
scn=S_t0_P_120mm_12h -grd_prio prio=1 grd=25

```


Básicamente ofrece las diferentes opciones de laminación con las siguientes para el caudal de entrada:

- Lo buscará en un archivo:
 - para simular todo el periodo (cuando en el archivo no se indique tiempo futuro, es decir que $t_0 = t_{fin}$) o
 - para simular el periodo futuro (cuando en el archivo se indique que incluye tiempo futuro, es decir que $t_0 < t_{fin}$)
- Se especifica por un caudal punta, un tiempo de punta y un tiempo total

Un ejemplo como el siguiente, facilita considerar diferentes opciones de laminación en un caso de pronóstico realizado con MHED (por defecto se establece uno en el archivo de configuración):

```
pe_xn n_xlsx=Bellus.xlsx
n_ge="%EDAPHI_DIR_AREA%\MH\Albaida\Res\Nod_V\E. BELLUS.xlsx" scn=Futuro_3
-grd_prio prio=1 grd=25
```

14.8 Uso de PE_XN en pronóstico con MHED

El modelo MHED incorpora PE_XN y lo usa con los valores por defecto incluidos en el archivo de configuración del embalse, el cual se indica en la hoja *PE* del archivo de configuración del modelo.

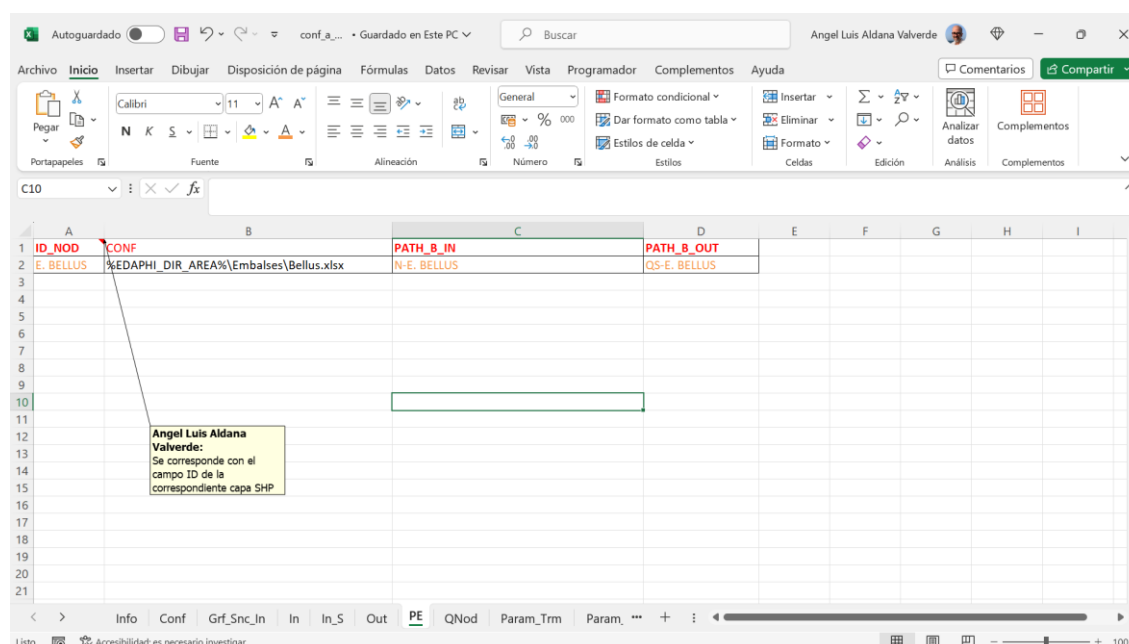


Figura 14-4.- Especificaciones de PE_XN en la configuración del modelo de pronóstico MHED

En dicha hoja se indica el archivo de configuración de *PE_XN* de cada embalse, y los elementos confluencia y fuente referidos con anterioridad.

14.9 Empleo de un libro MS-Excel con macros de laminación

En una experiencia piloto en la cuenca del Júcar se ha recurrido al uso de un libro MS-Excel con programas de cálculo desarrollados con VBA-Excel. Más concretamente, se ha aplicado al caso de la presa de Bellús. Este tipo de solución facilita la integración de ingenieros de operación de presas.

La solución incluye el algoritmo del método de evaluación volumétrica o método de Girón, muy usado en España.

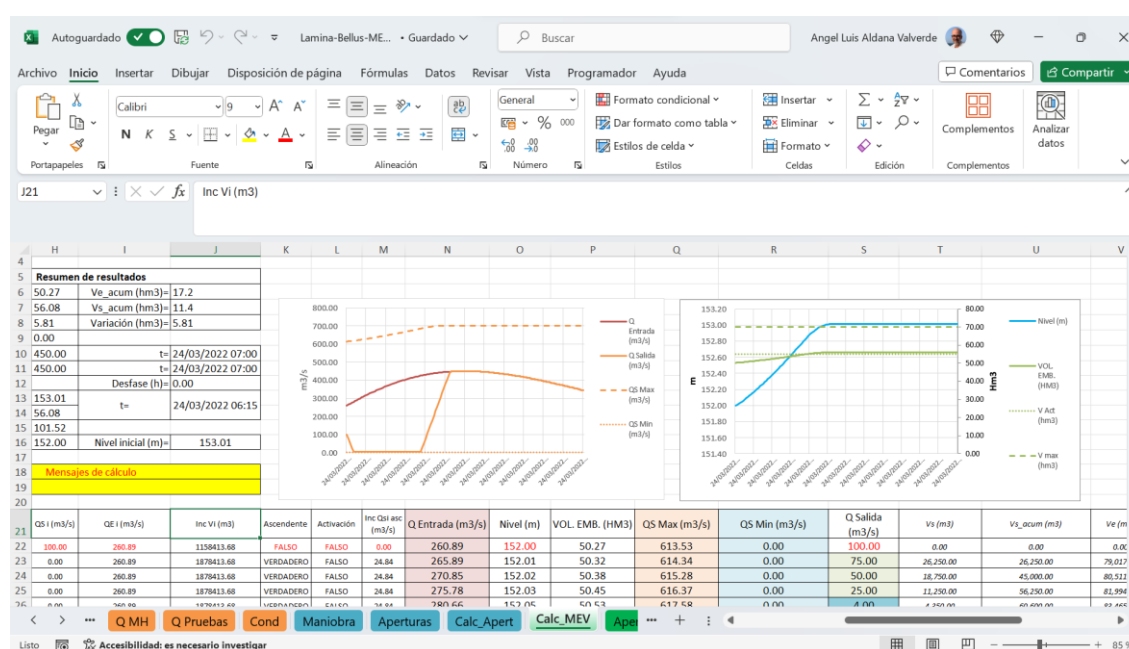


Figura 14-5.- Aplicación del método de Girón en el embalse de Bellús.

En esta implementación, la caracterización de los órganos de desagüe se ha ajustado estrictamente al contenido en la documentación de la presa, con sus tablas y fórmulas.

También se basa en la priorización de uso de órganos de desagüe y realiza los cálculos con algoritmos muy similares a los desarrollados con Python.

Una vez se ha definido una maniobra en términos de caudal de salida, busca una solución en términos de apertura de válvulas y compuertas.

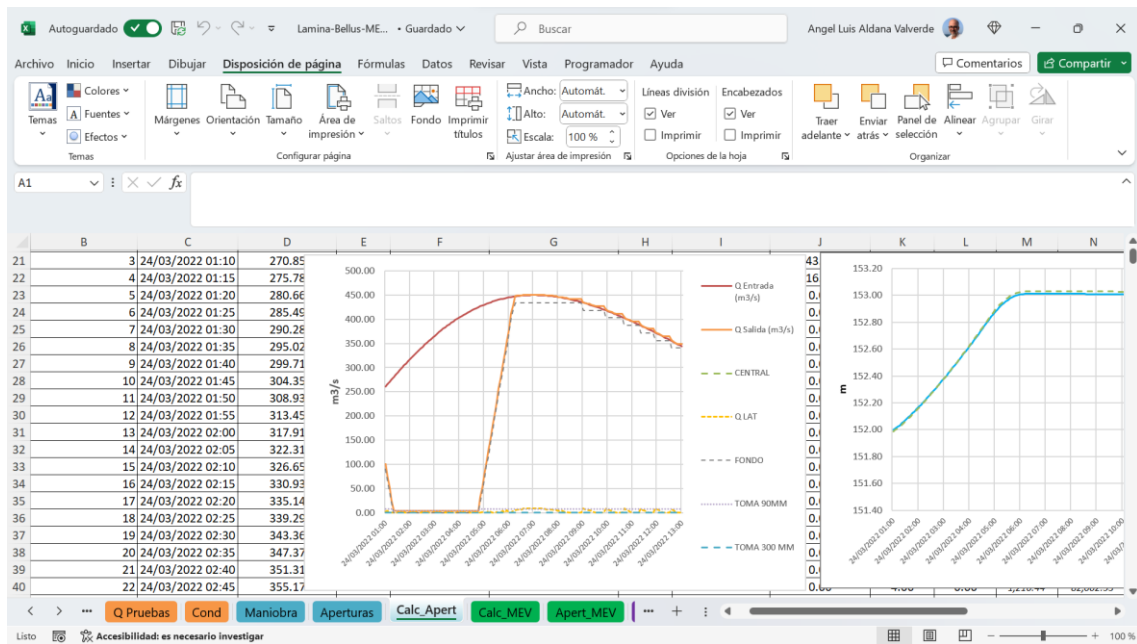


Figura 14-6.- Maniobra de desagüe definido por aperturas de válvulas y compuertas

Las conexiones con el resto de EDAPHI se realizan a través de hojas de cálculo MS-Excel en el formato habitual, usando la opción QS_DAT del módulo PE-XN.

15 EDAPHI MHH-H. Hipermodelos basados en modelos MHH

EDAPHI permite tratar áreas geográficas amplias, que puedan representarse con sistemas hidrológicos complejos, de forma dividida en subsistemas. De ese modo, un sistema complejo puede ser analizado por partes, lo que facilita tareas tales como la calibración de parámetros.

La solución que aquí se presente, con módulos como MHH-H es la de los hipermodelos.

En modo de uso en tiempo real, MHH-H lanza submodelos MHH y controla su ejecución. Los submodelos realizan el análisis en tiempo pasado, calibrando o seleccionando los escenarios que mejor se ajustan a los valores medidos (datos). El hipermodelo usa los parámetros seleccionados o establecidos por los submodelos y los emplea en los cálculos de pronóstico.

Esto es una vía complementaria de solución al problema de la calibración recurriendo a la opción de calibración por zonas de MH (apartado 13.8.9.2).

Otra ventaja de este enfoque es que se basa en procesamiento en paralelo de cada subsistema, lo que reduce los tiempos de cálculo.

Adicionalmente, al usar el hipermodelo, se logra prolongar los tiempos de previsión de acuerdo con el empleo del concepto de divergencia máxima admisible, al propagar los cálculos desde zonas más alejadas.

Nota: Este módulo está actualmente en desuso en los casos en operación, pues se incorporaron capacidades generales en EDAPHI que pueden presentar ventajas al organizar un caso de aplicación complejo. Cabe decir que ahora es posible implementar un hipermodelo sin necesidad de que se use un módulo específico. La solución se basa ahora en la organización de módulos y casos de aplicación y en el empleo de utilidades generales.



Figura 15-1.- EDAPHI-MHH-H opera con procesos en paralelo para el análisis en tiempo pasado con submodelos

15.1 Configuración de un hipermodelo

El hipermodelo MHH-H se configurará de modo análogo al modelo MHH, salvo que no tendrá sentido definir escenarios pasados, pues los análisis en tiempo pasado para las calibraciones se harán en los submodelos. Es decir, solo cuenta con escenarios en tiempo futuro. Por lo mismo, los submodelos se configurarán sólo con escenarios en tiempo pasado (PAS o CAL).

La singularidad estará en la hoja *Sub_Mods* en la que se incluye una tabla con los submodelos MHH, con indicación de sus archivos XLSX de configuración y de los archivos CMD con las órdenes de ejecución.

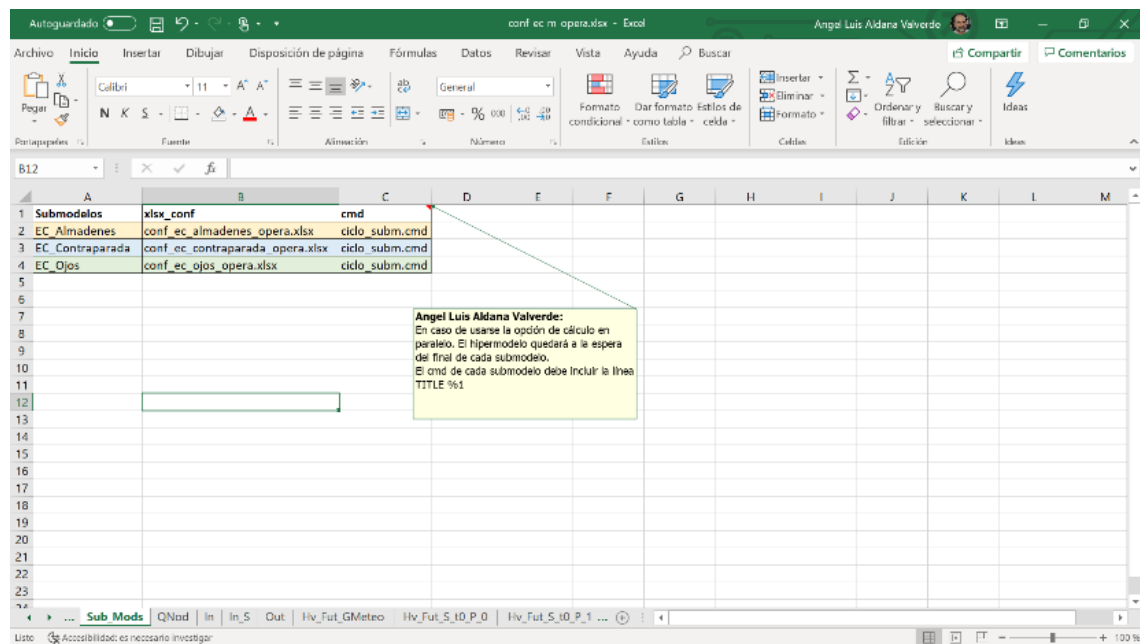


Figura 15-2.- Configuración de un hipermodelo MHH-H

16 EDAPHI-AEsc. Amenazas por escorrentías

16.1 Introducción

En algunos sistemas hidrológicos, los tiempos de respuesta hidrológica son muy cortos (por debajo de 3 horas), ya sea hasta el punto extremo aguas abajo o hasta un punto de interés donde pueda causar afecciones. Por otro lado, cuando los tamaños de sus cuencas de interés son pequeños, la medida, la estimación y el cálculo de precipitaciones en su área receptora tiene grandes incertidumbres, tanto en el caso de lluvias pasadas como futuras (las previstas por modelos meteorológicos).

Lo anterior lleva a que los modelos de pronóstico hidrológico convencionales, que proporcionan caudales y niveles en futuro, cuenten, por un lado, con gran incertidumbre en sus resultados, y, por otro, con grandes dificultades técnicas para que puedan proporcionar los resultados a tiempo. Ello es debido no sólo a tiempos de cálculo, sino también a que hay ciertos retrasos en la recepción de datos.

Por todo ello se opta por una solución que proporcione resultados más simples: una indicación de peligro o amenaza de que se produzcan escorrentías significativas. Este enfoque se basa en partir de información del estado de humedad del terreno y en la combinación de estos datos con la información de lluvias pasadas y futuras para proporcionar una valoración del peligro potencial en el futuro a corto plazo.

Además, hay que tener en cuenta que se presentan muchos problemas por escorrentía directa, sin apenas propagación y acumulación a través de las redes fluviales. Esto es especialmente relevante en ámbitos urbanos.

16.2 Funcionalidad

Todos los datos y resultados de este módulo se estructuran en mallas SIG (sistemas de información geográfica).

Los datos temporales más relevantes son

- Mallas de lluvia en pasado (calculadas a partir de datos SAIH)
- Mallas de lluvia en futuro (resultados de modelos numéricos de previsión del tiempo)
- Mallas de parámetros de escorrentía en función del estado de humedad del terreno

A partir de esta información, la solución implementada genera un conjunto de índices relacionados con las posibilidades de escorrentía, partiendo de la formulación del método de número de curva:

- Índice de umbral de escorrentía
- Índice de retención
- Índice de variación de escorrentía

En función de estos índices, se definen unos niveles de amenaza para el territorio de interés, tanto horarias como totales para el periodo de tiempo considerado, 24 horas en futuro, en función de información de la lluvia en 24 horas pasadas.

En futuro, se calculan los índices y niveles de amenaza para cada intervalo de tiempo (una hora). Los valores para el periodo del horizonte de previsión (24 horas) se calculan como máximos en cada celda de los valores en todos los intervalos.

Se combinan los mapas de amenaza de tal modo que en cada celda se selecciona el valor máximo de las diferentes amenazas, con lo que se llega al mapa de amenazas conjunta.

16.3 Fundamentos metodológicos

16.3.1 Fórmula de partida

La base metodológica es sencilla. Se basa en el método del número de curva para el cálculo de volumen de escorrentía a partir de lluvia, propuesto por el SCS (Soil Conservation Service de los EE.UU., que actualmente es el Natural Resources Conservation Service, NRCS). Se trata de un método ampliamente usado en los modelos hidrológicos.

En la base de la formulación se encuentra la siguiente ecuación:

$$\frac{P - PO_a}{S_a} = \frac{E}{A}$$

Donde S_a representa la máxima retención posible del terreno, P es la lluvia acumulada, PO_a el umbral de escorrentía, E la escorrentía y A la retención real. Todas las variables expresadas en mm.

Al combinar esta ecuación con la de la continuidad:

$$P = E + PO_a + A,$$

resulta la siguiente ecuación, que es la que suele usarse para calcular la escorrentía:

$$E = \frac{(P - P0_a)^2}{(P + S_a - P0_a)}$$

La máxima retención posible S_a se expresa a través del parámetro adimensional “número de curva” que da nombre al método:

$$S_a = \frac{25400}{NCa} - 254$$

En esta exposición se ha usado el subíndice a para expresar que los parámetros que lo llevan dependen del estado de humedad del terreno. No obstante, se cuenta con unos valores de referencia, el denominado número de curva en condiciones normales, cuyo valor para cada punto del terreno se establece en función del tipo de suelo y de su uso, sin depender de las circunstancias concretas del momento. Este es el valor que suele usarse en hidrología de diseño, pero en un caso de solución operacional hay que usar los valores $P0_a$ y S_a según el estado de humedad debido a la lluvia antecedente (8.2.1).

Por coherencia del método completo, incluyendo la obtención de los parámetros $P0_a$ y S_a , se usa un periodo de acumulación de lluvias (P) de 24 horas.

16.3.2 Índices hidrológicos

A partir de la formulación de escorrentía, se define un conjunto de índices que servirá para definir los niveles de amenaza. Todos ellos dependen de la lluvia acumulada en las 24 horas anteriores.

16.3.2.1 Índice de umbral de escorrentía (IPO)

El índice de umbral de escorrentía (IPO) tiene la siguiente expresión:

$$IPO = \min\left(\frac{P0_a}{P}; 1\right)$$

Donde $P0_a$ es el umbral de escorrentía y P la lluvia acumulada.

Cuando IPO alcanza el valor 1 indica que en la zona correspondiente se está generando escorrentía. Según se aproxima a 1 es más probable que se estén produciendo flujos superficiales.

16.3.2.2 Índice de retención (IS)

Se define el índice de retención IS como:

Si $P \leq P0_a$ entonces $IS = 0$

En otro caso: $IS = \min\left(\frac{P-P0_a}{S_a}; 1\right)$

Una vez la lluvia supera el valor $P0_a$, el índice IS irá aumentando con la lluvia hasta alcanzar el valor 1 cuando la escorrentía haya igualado a la retención en el terreno. En esa situación la escorrentía tendrá como valor la mitad de la máxima retención posible.

16.3.2.3 Índice de variación de escorrentía (IdE)

Derivando la ecuación del número de curva con respecto a la lluvia, se llega a:

$$\frac{dE}{dP} = \frac{2 * (P - P0_a) * (P + S_a - P0_a) - (P - P0_a)^2}{(P - P0_a + S_a)^2}$$

Y es el que se denomina índice de variación de escorrentía

$$IdE = \frac{dE}{dP} = \frac{(P + S_s - P0_a)^2 - S_a^2}{(P + S_s - P0_a)^2} = 1 - \left(\frac{S_a}{P + S_a - P0_a}\right)^2$$

El índice IdE cuantifica el ritmo de variación de la escorrentía al aumentar la lluvia acumulada.

16.3.2.4 Explicaciones complementarias acerca de los índices

Variación de los índices con la lluvia

La siguiente gráfica ilustra la variación de los índices con la lluvia en 24 horas para una cuenca en la que, a modo de ejemplo:

$NC_a =$	75.0
$S_a \text{ (mm)} =$	84.7
$c = P0_a / S_a =$	0.20
$P0_a \text{ (mm)} =$	16.9

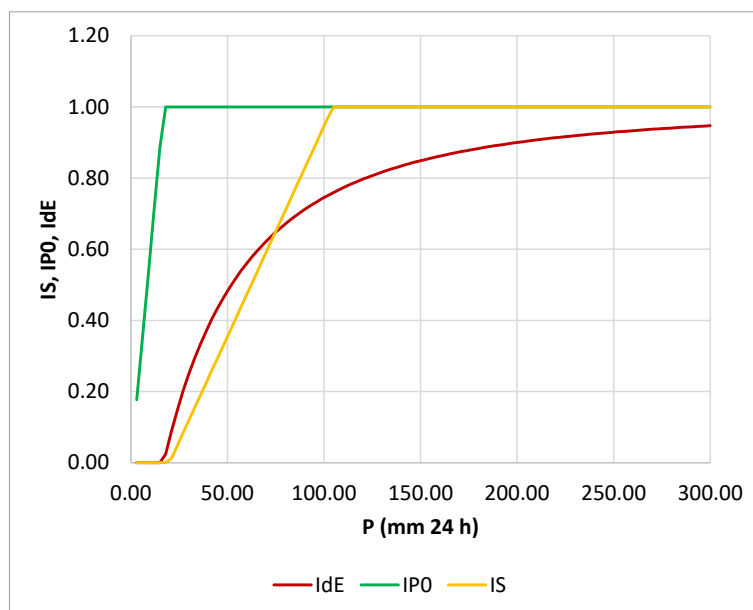


Figura 16-1.- Ejemplo de variación de los índices en función de la lluvia en 24 horas

Ilustración de índices con un episodio sintéticos de tormentas en 2 días

La siguiente ilustración muestra un gráfico con una tormenta de diseño, con un volumen de 30 mm, en un día, supuesto en pasado, y la evolución de los índices.

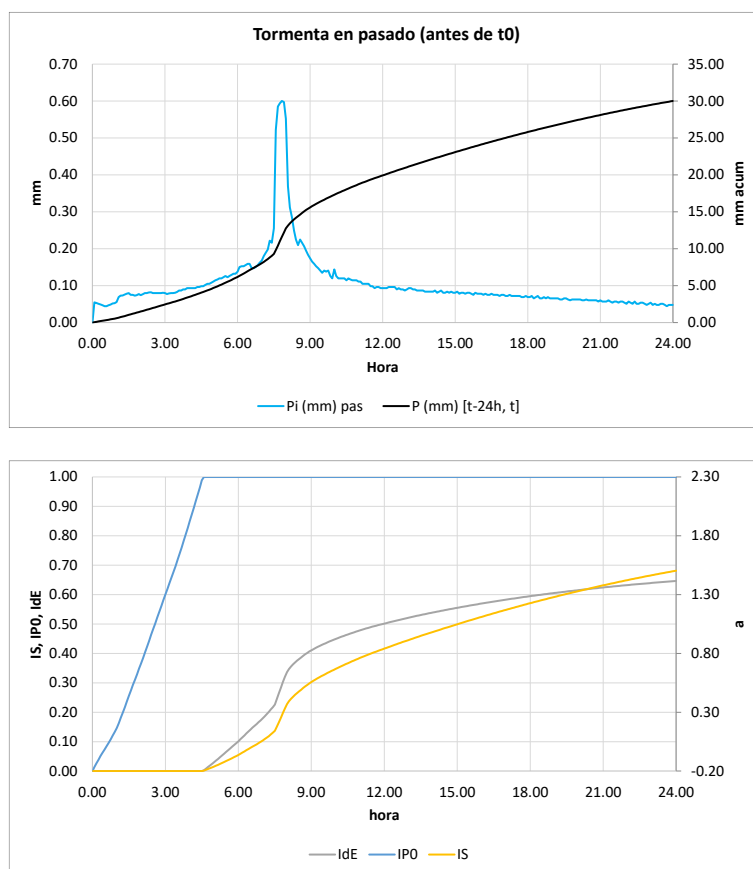


Figura 16-2.- Ejemplo de una tormenta en un día, supuesto en pasado, y la evolución de los índices

Se observa que sube de forma rápida el índice $IP0$, mientras que los otros dos resultan muy parecidos

Si se supone que en las siguientes 24 horas se presenta otra tormenta, de 60 mm, ya en futuro, se tendría lo siguiente:

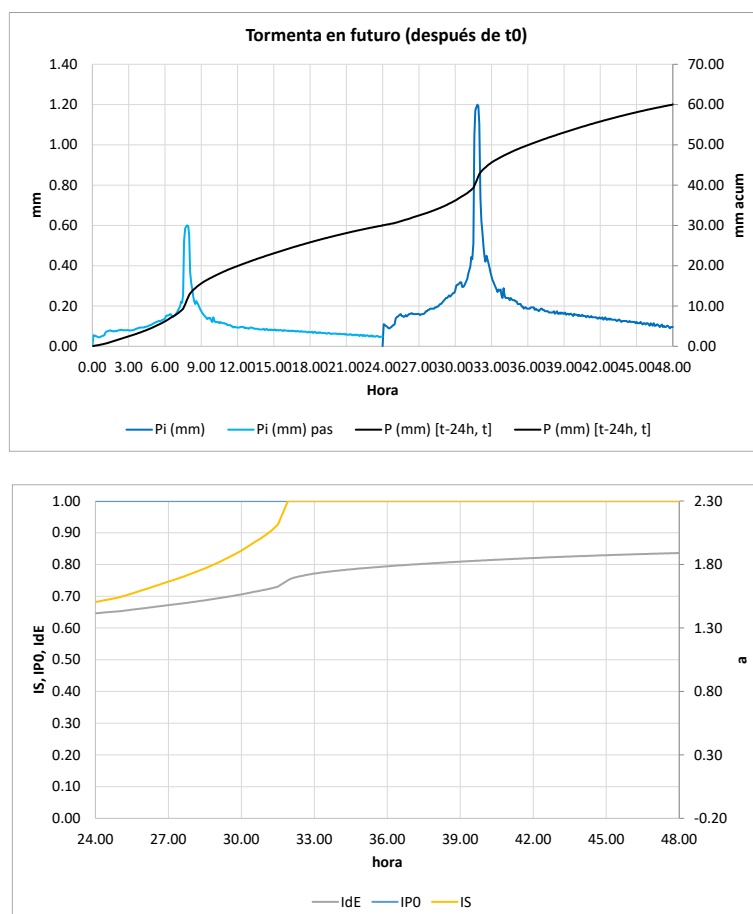


Figura 16-3. Ejemplo de dos tormentas consecutivas en dos días, la segunda mayor que la primera, y la evolución de los índices

Las lluvias acumuladas se calculan en una ventana móvil de 24 horas, no desde el inicio.

Ahora el índice IS alcanza el valor 1 mientras que el IdE sigue aumentando.

Los índices también pueden disminuir si la tormenta en futuro es menor (10 mm en el siguiente ejemplo):

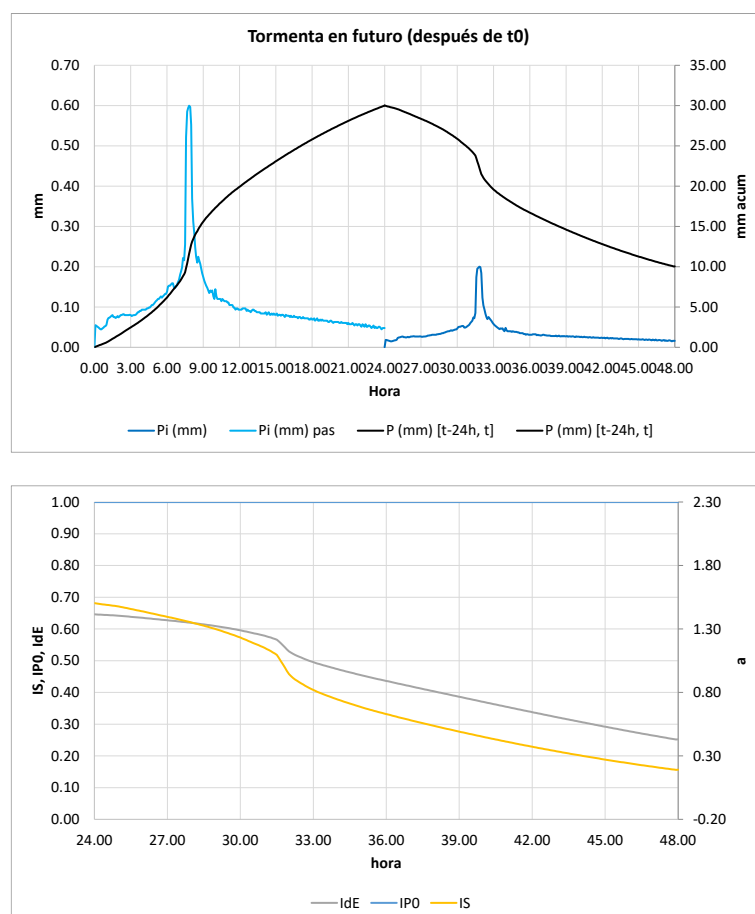


Figura 16-4 Ejemplo de dos tormentas consecutivas en dos días, la segunda menor que la primera, y la evolución de los índices

16.3.3 Niveles de amenaza

Los índices anteriores se transforman en niveles de amenaza según unos umbrales. En principio, se emplean los umbrales que aparecen en las tablas siguientes, pero éstas son configurables.

16.3.3.1 Amenaza por umbral de escorrentía (A-IPO)

A través de la siguiente tabla

A-IPO		
Valor de índice	Color de representación	Valor de mapa de amenaza
0.00		
0.10	Blanco	0
0.50	Verde	1

Tabla 8.- Nivel de amenaza por umbral de escorrentía según su índice

el índice de umbral de escorrentía se transforma en amenaza por umbral de escorrentía

16.3.3.2 Amenaza por retención (A-IS)

La siguiente tabla lleva a la amenaza por retención (A-IS) en función del índice de retención (IS).

A-IS		
Valor de índice	Color de representación	Valor de mapa de amenaza
0.00		
0.10	blanco	0
0.20	verde	1
0.80	amarillo	2

Tabla 9.- Nivel de amenaza por retención según su índice

16.3.3.3 Amenaza por variación de escorrentía (A-IdE)

Y, finalmente, la siguiente tabla lleva a la amenaza por variación de escorrentía (A-IdE):

A-IdE		
Valor de índice	Color de representación	Valor de mapa de amenaza
0.00		
0.10	blanco	0
0.20	verde	1
0.50	amarillo	2
0.70	naranja	3
0.80	rojo	4

Tabla 10.- Nivel de amenaza por variación de escorrentía según su índice

16.3.3.4 Amenaza conjunta (A) por intervalo o periodo

Se combinan los mapas de amenaza de cada tipo de tal modo que en cada celda se selecciona el valor máximo de las diferentes amenazas, con lo que se llega al mapa de amenazas conjunta.

16.3.4 Resultados por hora y de periodo completo

En futuro, se calculan los índices y niveles de amenaza para cada intervalo de tiempo (una hora), según lo indicado anteriormente. Después, los valores de amenazas para el periodo del horizonte de previsión (24 horas) se calculan como máximos en cada celda de los valores en todos los intervalos.

16.4 Datos de entrada

16.4.1 Relacionados con el estado de humedad antecedente

Hay dos mallas fundamentales que son datos de partida y que están relacionados con el método de número de curva (NC) del SCS: $P0_a$ y S_a . Ambas dependen del estado de humedad antecedente actual (más reciente). Este módulo las adapta a las necesidades de los cálculos siguientes.

Estas mallas, al contrario que el resto de los resultados, son las mismas para pasado que para futuro.

$P0_a$ y S_a deben tener la misma geometría o definición geográfica, y será la que definirá la de los resultados.

16.4.2 Relacionados con las lluvias

Los datos relacionados con las lluvias son: las mallas horarias de lluvia prevista (del modelo Harmony-Arome u otro) y las mallas de lluvia calculadas en pasado (a partir de los datos SAIH en pluviómetros, por ejemplo). A partir de estas mallas, se generan mallas de máximos y acumulados, en pasado y en futuro.

Los cálculos se basan en valores acumulados en tiempo, pero se muestran los máximos por el interés que pueden tener en situaciones operacionales.

También se generan resultados basados en las mallas horarias en futuro.

16.4.3 Solución basada en productos en operación

En la implementación actual se usan los resultados de algunos módulos EDAPHI. Concretamente de:

- PaPOS.- Módulo especializado en la contabilización de la lluvia antecedente, en los últimos días, para calcular parámetros de escorrentía.
 - Proporciona $P0_a$, S_a y las mallas en tiempo pasado
- CMHA.- Módulo de enlace de modelos hidrológicos con meteorológicos, obteniendo los resultados de los últimos y procesándolos para que sirvan de entrada para los pronósticos hidrológicos.
 - Proporciona las mallas en tiempo futuro

No obstante, esto se puede modificar usando la tabla de configuración de la aplicación, asignando los valores deseados a las variables de funcionamiento del módulo

Variable	Ejemplo de valor especificado	Descripción
N_ARCH_PO_A	%EDAPHI_DIR_AREA%\PaPOS\Res\P0a.asc	Malla de P0_a
N_ARCH_S_A	%EDAPHI_DIR_AREA%\PaPOS\Res\Sa.asc	Malla de S_a (P0_a y S_a deben tener la misma geometría, la que definirá los resultados)
DIR_RAST_PAS	%EDAPHI_DIR_AREA%\PaPOS\Res\RH	Directorio de mallas de lluvia horaria en pasado
DIR_RAST_FUT	%EDAPHI_DIR_AREA%\CMHA\Res\LLUV\D	Directorio de mallas en futuro

Tabla 11.- Opciones de configuración del módulo relacionadas con el origen de los datos.

16.4.4 Adaptación de datos

El módulo genera otras mallas en función de las mallas datos, de modo tal que se adapten a las necesidades del caso de aplicación, realizando operaciones geográficas y acumulaciones.

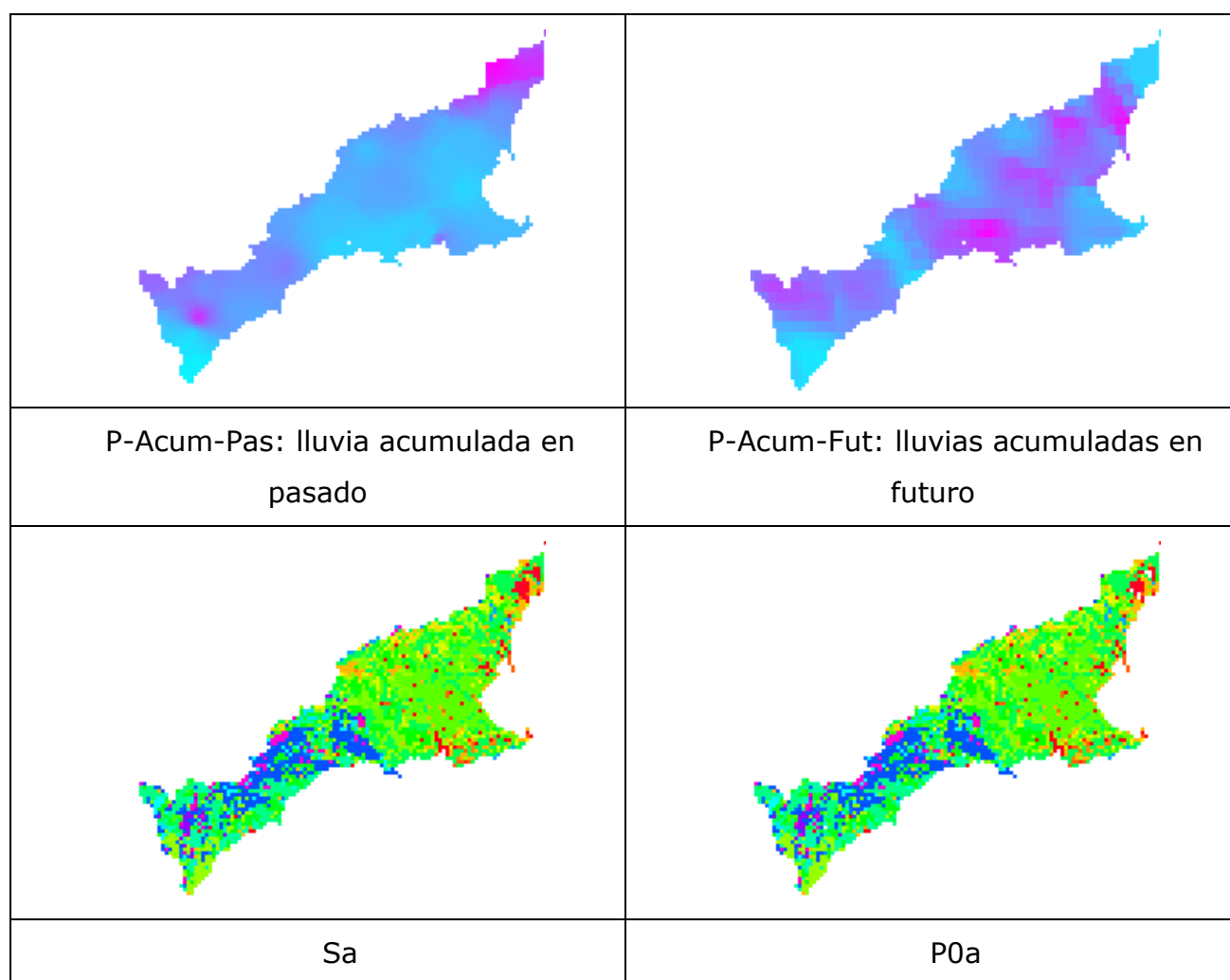


Figura 16-5.- Ejemplos de mallas de datos adaptadas

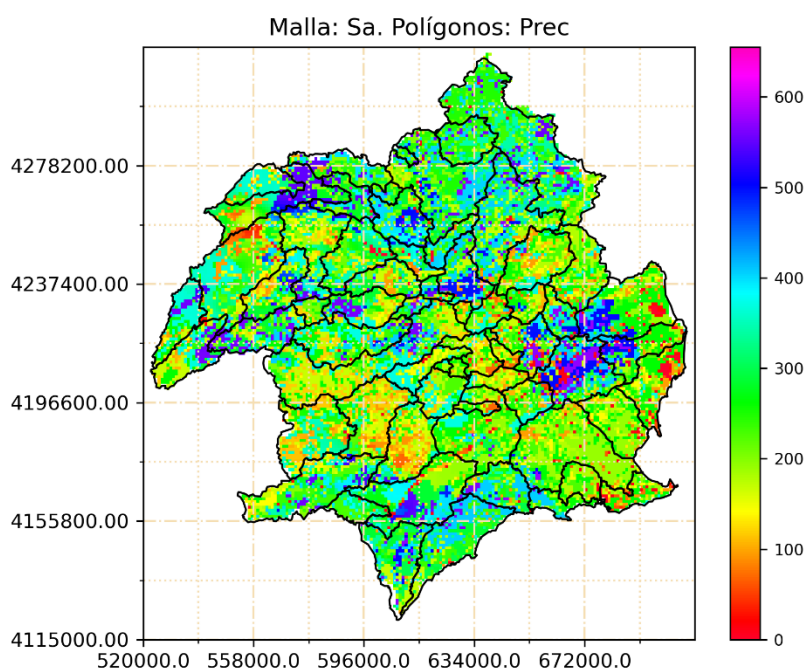


Figura 16-6.- Ejemplo (caso de S_a) de malla original de la que se extrae la correspondiente para el caso de aplicación.

16.5 Resultados

El módulo genera un conjunto amplio de resultados algunos destinados a su integración en un SAD, otros para publicación directa en páginas web.

16.5.1 Formatos

16.5.1.1 Archivos gráficos

Se generan para cada malla un archivo PNG que ilustra su contenido. También se añade un PNG con las tablas de colores (*_cmap.png)

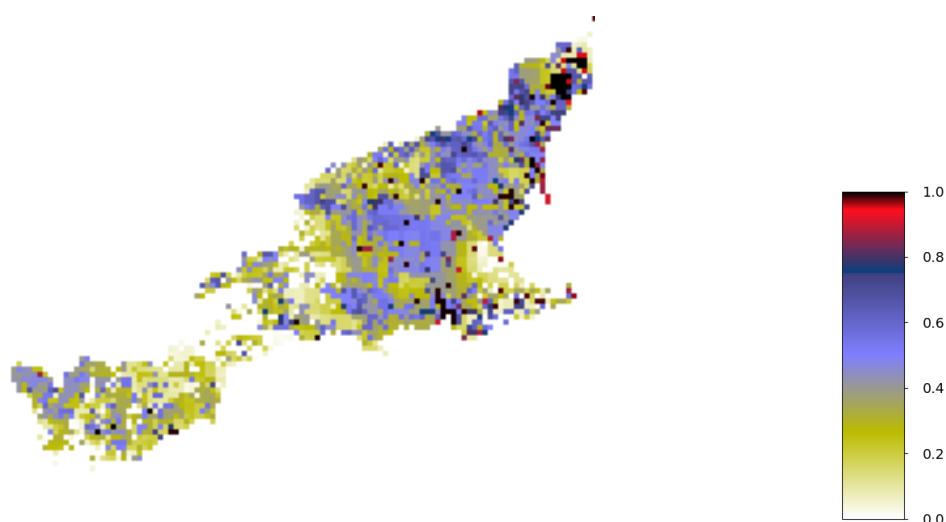


Figura 16-7. Ejemplo de archivos PNG de una malla acompañado del archivo de la tabla de colores.

También genera gráficos en los que se superponen capas vectoriales y se indican coordenadas.

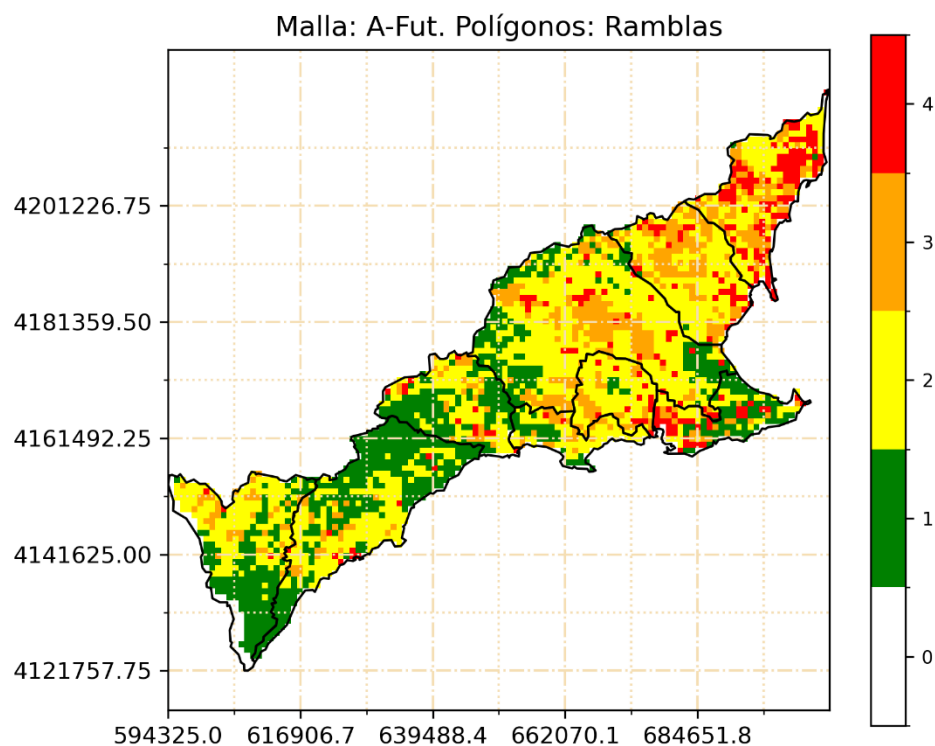


Figura 16-8.- Gráfico de mapa con superposición de capas vectoriales

Otro tipo resultado especialmente interesante para páginas web es el de la representación de las mallas, con cierta transparencia, sobre mapas del terreno.

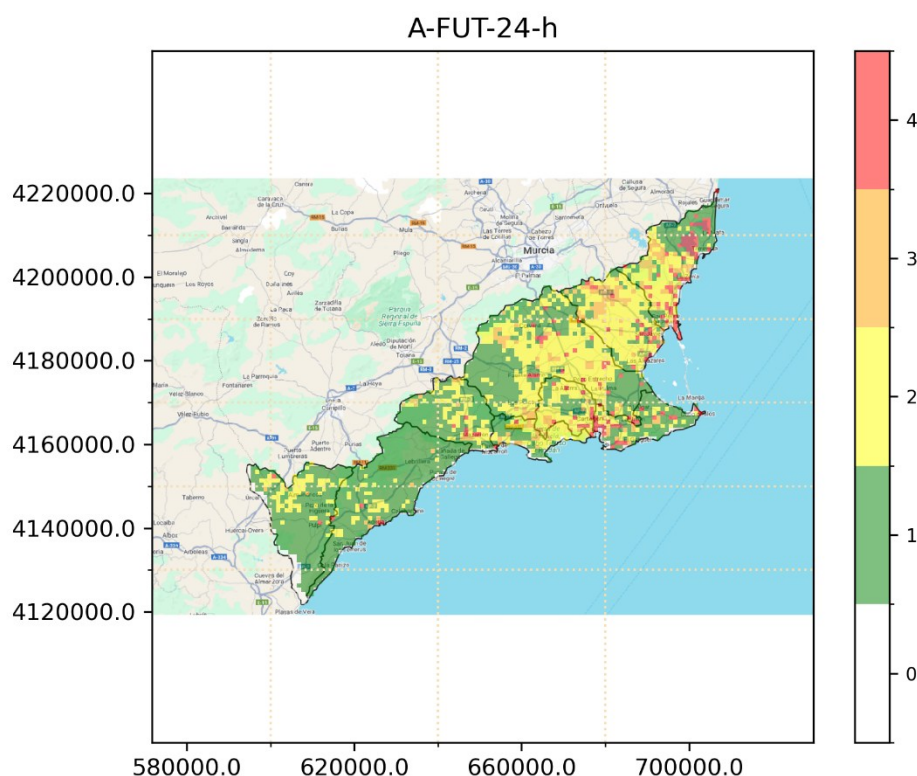


Figura 16-9.- Mallas representadas con cierta transparencia sobre un mapa.

16.5.1.2 Textos con la descripción geográfica de las mallas

Se incluye un archivo de texto con extensión TXT que incluye información como la siguiente:

```
north: 4221094.0000
south: 4121757.7500
east: 707233.5000
west: 594325.0000
rows: 198
cols: 226
null: -1.0000
```

Se trata de la cabecera de una malla en formato ASC de ESRI, un formato de uso muy común.

16.5.1.3 Archivo PRJ

Adicionalmente, se incluye el archivo PRJ, de texto, que guarda los datos del sistema de coordenadas y la proyección cartográfica de las mallas conforme a un estándar de facto en las tecnologías SIG.

16.5.2 Contenidos

16.5.2.1 Relacionados con los datos

Se generan resultados relacionados con los datos:

- Sa (máxima retención posible)
- P0a (umbral de escorrentía)
- P-Acum-Pas (lluvia acumulada en pasado)
- P-Acum-Fut (lluvia acumulada en futuro)
- P-Max-Pas (lluvia máxima en pasado)
- P-Max-Fut (lluvia máxima en futuro)
- Lluvias por intervalo horario en futuro.

16.5.2.2 Relacionado con los índices

Se generan archivos conforme a la siguiente nomenclatura, en la que *XXX* puede ser IP0, IS, IdE, según se refiera a un índice u otro, y *fmt* puede ser PNG, _cmap.PNG, TXT, PRJ o TIF, según el formato:

- *XXX-FUT- nn -h.fmt.*- Mallas (24) del índice IDE en futuro por horas, con $nn = 01, 02, \dots, 24$
- *XXX-Fut. fmt.*- Malla del índice para las 24 horas futuras (máximo de lo encontrado en las 24 horas futuras)
- *XXX-Pas. fmt.*- Malla del índice de las 24 horas pasadas

Son 26 mallas por índice, es decir, 78 archivos de cada tipo (formato), 390 archivos en total.

16.5.2.3 Relacionado con las mallas de amenaza

Para las amenazas conjuntas se generan los archivos (125 en total):

- *A-FUT- nn -h. fmt, ,* con $nn = 01, 02, \dots, 24$ para cada hora en futuro
- *A-Fut. fmt:* Amenaza conjunta en las 24 horas
- Para las relacionadas con cada índice, otros 390 archivos:
- *A-XXX-FUT- nn -h.fmt.*- Mallas (24) del índice IDE en futuro por horas, con $nn = 01, 02, \dots, 24$
- *A-XXX-Fut.fmt.*- Malla del índice para las 24 horas futuras (máximo de lo encontrado en las 24 horas futuras)
- *A-XXX-Pas.fmt.*- Malla del índice de las 24 horas pasadas

16.5.3 Archivos GeoTiff

Algunas salidas de este módulo se han diseñado para facilitar su integración en otros sistemas, como es el caso de los archivos Geotiff, un estándar de hecho en el ámbito de los SIG para almacenar mallas. El mismo archivo incluye la información del sistema de coordenadas y proyección. Para cada malla se genera un archivo de este tipo, muy útil para la integración completa en otros sistemas.

16.6 Comandos

Al escribir `ed_cmd aesc` en la ventana de este módulo aparece lo siguiente, que indica las posibilidades de interacción:

```

Cálculo de mallas de índices de amenaza
Usa el archivo de configuración Conf_pap0s.xlsx
Comandos:
  -desc_r: descripción de las capas raster
  -l_arch: Lista de todos los archivos
  -base: Muestra las capas base
  -calc_r: Calcula o muestra los índices
            /w: Las presenta
            /s: Las guarda en la carpeta Res
            /png: Guarda mapas en PNG
            /pas: Pasado
            /fut: Futuro
  -calc_t: Realiza todos los cálculos y genera todos los resultados
            /p_png: Guarda malla en PNG y archivos auxiliares en
Res\Res_p o en DIR_PUB (Conf)
            /p_tif: Guarda malla en Tif y archivos auxiliares en
Res\Res_p o en DIR_PUB (Conf)

```

17 EDAPHI-Nieve

17.1 Introducción

La evaluación de los recursos hidráulicos en forma de nieve, así como el pronóstico de su evolución a corto plazo, son de gran importancia en un Sistema de Ayuda a la Decisión (SAD), tanto a los efectos de gestión de los recursos hidráulicos como de previsión y alerta temprana ante posibles avenidas e inundaciones. La evaluación de estas cantidades de nieve en zonas de montaña resulta fundamental para la prevención de inundaciones y la mejora de los modelos que permiten su interpretación hidrológica.

Este módulo es una herramienta operacional de definición de la cobertura de nieve en cuencas hidrológicas del ámbito de la CHMS, obtiene superficies y volumen de nieve y de agua equivalente, y calcula las aportaciones de agua por fusión del manto nival. Se trata de un modelo abierto y de uso sencillo.

17.2 Enfoque metodológico

17.2.1 Obtención de la superficie de nieve

El comando para los cálculos de superficie de nieve es: `nieve_modis`

El primer problema que solucionar es la obtención de la cobertura nival, la superficie cubierta de nieve. Para ello es común usar la teledetección. La solución aportada usa el satélite MODIS de la NASA (National Aeronautics and Space Administration de los EEUU de América).

El sensor MODIS permite obtener mapas diarios de nieve.

- Características:
 - Resolución: 500 m
 - Frecuencia: diaria
 - Variable: Snow Covered Area (SCA)
- Productos usados:
 - MOD10A1 → nieve diaria (satélite Terra)
 - MYD10A1 → nieve diaria (satélite Aqua)

Se han realizado pruebas con MOD10A1 y con MYD10A1, aunque se han logrado mejores resultados con MOD10A1, por lo que, por defecto, el sistema funciona con este producto, aunque también puede hacerlo con MYD10A1.

Las capas de información se pueden descargar desde los servidores de NASA Earthdata <https://www.earthdata.nasa.gov/>

Para ello, hay que contar con una cuenta de usuario, que puede obtenerse de <https://urs.earthdata.nasa.gov>

17.2.1.1 Descripción de las imágenes MODIS

La elección entre MOD10A1 (Satélite Terra) y MYD10A1 (Satélite Aqua) depende principalmente de la nubosidad y de la hora del día en la que se necesite estudiar la nieve. Ambos productos ofrecen datos diarios de cobertura nival a una resolución de 500 metros, pero capturan la Tierra en momentos distintos.

El factor decisivo es la nubosidad, el mayor obstáculo para los sensores ópticos de MODIS.

MOD10A1 es apropiado en zonas donde las nubes suelen formarse por la tarde. Terra pasa por la mañana (10:30 AM aprox.), encontrando cielos más despejados.

MYD10A1 puede tener ventajas en zonas con nieblas matutinas que se disipan a mediodía. Aqua pasa por la tarde (1:30 PM aprox.).

Característica	MOD10A1 (Terra)	MYD10A1 (Aqua)
Hora de paso	~10:30 AM (Hora local)	~1:30 PM (Hora local)
Dinámica de nubes	Menos nubes convectivas	Más nubes de evolución
Estado de la nieve	Nieve fría / compacta	Inicio de fusión / nieve húmeda
Salud del sensor	Estable	Fallo histórico en la banda 6 (afecta algoritmos antiguos)*

Tabla 12.- Comparativa MOD10A1 y MYD10A1

El sensor de Aqua (MYD) sufrió un fallo en la banda de infrarrojo cercano (banda 6) al poco de ser lanzado. Aunque los algoritmos modernos de la NASA corrigen esto usando la banda 7, históricamente MOD10A1 (Terra) ha sido considerado ligeramente más robusto y consistente para series temporales largas. Es por ello por lo que se recomienda operar con MOD10A1, aunque la aplicación puede hacerlo con MYD10A1.

Los archivos MODIS, en formato HDF, incluyen varias capas. Se usan las denominadas *NDSI_Snow_Cover*: contienen datos de cobertura de nieve, albedo de nieve, cobertura de nieve fraccionaria y evaluación de calidad (QA). Los datos de cobertura de nieve se basan en un algoritmo de asignación de nieve que emplea un índice de nieve de diferencia normalizada (*NDSI*) y otras pruebas de criterios.

La tabla siguiente presenta las capas de cada archivo HDF

MOD_Grid_Snow_500m:granule_pnt	[2400x2400] granule_pnt MOD_Grid_Snow_500m (8-bit unsigned integer)
MOD_Grid_Snow_500m:NDSI	[2400x2400] NDSI MOD_Grid_Snow_500m (16-bit integer)
MOD_Grid_Snow_500m:NDSI_Snow_Cover	[2400x2400] NDSI_Snow_Cover MOD_Grid_Snow_500m (8-bit unsigned integer)
MOD_Grid_Snow_500m:NDSI_Snow_Cover_Algorithm_Flags_QA	[2400x2400] NDSI_Snow_Cover_Algorithm_Flags_QA MOD_Grid_Snow_500m (8-bit unsigned integer)
MOD_Grid_Snow_500m:NDSI_Snow_Cover_Basic_QA	[2400x2400] NDSI_Snow_Cover_Basic_QA MOD_Grid_Snow_500m (8-bit unsigned integer)
MOD_Grid_Snow_500m:orbit_pnt	[2400x2400] orbit_pnt MOD_Grid_Snow_500m (8-bit integer)
MOD_Grid_Snow_500m:Snow_Albedo_Daily_Tile	[2400x2400] Snow_Albedo_Daily_Tile MOD_Grid_Snow_500m (8-bit unsigned integer)

Tabla 13.- Capas de cada archivo HDF de MODIS

Códigos por píxel de la capa NDSI_Snow_Cover

Cada píxel de la malla *NDSI_Snow_Cover* tiene uno de los valores siguientes:

- 0 – 100: Valor real de NDSI multiplicado por 100. Representa los píxeles con presencia de nieve. Cuanto más alto sea el valor, mayor es la certeza de nieve o espesor en la cubierta. Será denominado *PCN*.
- 201: Sin decisión (No decision). El algoritmo no pudo procesar el píxel.
- 211: Noche (Night). El píxel se encuentra en zona de oscuridad polar o nocturna.
- 237: Agua continental (Inland water). Lagos o ríos principales.
- 239: Océano (Ocean).
- 250: Nubes (Cloud obscured). Píxel cubierto por nubosidad, impidiendo ver el suelo.
- 254: Detector saturado (Detector saturated). Error de lectura del sensor.
- 255: Sin datos / Relleno (Missing data / Fill).

Teselas o bloques de información

Las imágenes MODIS tienen cobertura global, por lo que los datos se separan en boques o teselas (https://modis-land.gsfc.nasa.gov/MODLAND_grid.html).

Este módulo requiere la especificación de las teselas que se desean descargar, y las une en un único archivo por fecha.

España queda cubierta por los bloques denominados: h17v04, h18v04, h17v05 y h18v05.

17.2.2 Modelo de fusión nival

El fenómeno de la fusión nival se modela a menudo con el método de grado día. Se trata de un método sencillo pero que logra una buena representatividad. Este método está incluido en el modelo ASTER que se emplea en España

(<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/erhin/modelizacion-volumen-agua-forma-nieve.html>)

La formulación del método es: $M = Mf * (Ta - Tb)$

Donde:

- M es la profundidad del agua de fusión producida en un incremento de tiempo,
- Mf es el factor de fusión (también denominado DDF, acrónimo de "degree day factor", cuando se trabaja en escala diaria),
- Ta temperatura media del aire,
- Tb la temperatura base.

Habitualmente, se trabaja a escala diaria, y se adopta para Ta la media de las temperaturas máximas y mínimas diarias, aunque el método puede ser también utilizado a escala horaria y mensual. Se usa generalmente el valor de $Tb=0$ °C, aunque puede variar entre 4 y -2 °C. A escala diaria, Mf tiene dimensiones $\text{mm}^\circ\text{C}^{-1}\text{d}^{-1}$, y sus valores pueden variar entre 1 y 6, aunque en nuestro país son comunes valores entre 1 y 3. En algunas zonas es recomendable otro rango, como en el ámbito Miño-Sil, donde los valores más apropiados pueden ser 2 para invierno y 4 (como máximo) para el resto del año.

17.3 Configuración y uso de la aplicación

17.3.1 Comandos específicos

17.3.1.1 Definición de áreas de nieve: nieve_modis

Al escribir `ed_cmd nieve_modis`, aparece en la ventana lo siguiente:

```
Módulo de nieve basado en datos MODIS
Argumento general
  ver=: Versión diaria MOD10A1 (valor por defecto) o MYD10A1
Comandos:
  -down: Descarga datos MODIS
         t_ini= fecha inicial en formato aaaa-mm-dd
         t_fin= fecha inicial en formato aaaa-mm-dd
         teselas= (tiles) Por defecto h17v04 (ejemplo:
h17v04|h18v04|h17v05|h18v05)
  -a_tif: Transforma a tif los archivos descargados
  -a_asc: Transforma a asc los archivos descargados
  -pre_mod: Realiza las operaciones básicas a partir de los archivos
descargados
  -d_pre_mod: Descarga y realiza las operaciones básicas a partir de
los archivos descargados
         t_ini= fecha inicial en formato aaaa-mm-dd
         t_fin= fecha inicial en formato aaaa-mm-dd
         teselas= (tiles) Por defecto h17v04 (ejemplo:
h17v04|h18v04|h17v05|h18v05)
```

```

-areas: Calcula los resultados en áreas
        pcn=: Umbral PCN (valor 50 por defecto)
-calc_t: Realiza todas las operaciones
        t_ini= fecha inicial en formato aaaa-mm-dd
        t_fin= fecha inicial en formato aaaa-mm-dd
        teselas= (tiles) Por defecto h17v04 (ejemplo:
h17v04|h18v04|h17v05|h18v05)
        pcn=: Umbral PCN (valor 50 por defecto)
Ejemplo:
-calc_t t_ini=2026-02-01 t_fin=2026-02-05

```

Así, un comando sería:

```
ed_cmd modis_nieve -calc_t t_ini=2026-02-01 t_fin=2026-02-05
```

Cálculo de fusión nival: módulo nieve

Al escribir `ed_cmd nieve`, la ventana muestra la ayuda del módulo *nieve*:

```

Módulo de fusión nival
Comandos:
  -calc
        dias=: (opción 1) número de días para calcular, tomando
temperaturas medias del mes
        temp=: (opción 2) temperaturas por día separadas por |
Ejemplos:
  -calc dias=7
  -calc temp="8|10|15|5"

```

Un comando de uso común sería:

```
ed_cmd nieve -calc dias=7
```

17.3.2 Comandos generales

EDAPHI cuenta con muchos comandos generales, aunque hay algunos que pueden ser especialmente útiles para este módulo. Así, por ejemplo, si se desean cambiar las franjas de cotas para el cálculo de superficies y volúmenes de nieve y agua, se puede usar el siguiente comando:

```

ed_cmd ráster -franjas v_min=0.0 v_max=2100 v_inc=50.0
n_asc=Sig\mdt.asc n_asc_res=Sig\franjas.asc xlsx_res=Sig\franjas.xlsx

```

17.3.3 Configuración de parámetros

La configuración básica de la aplicación se basa en un libro MS-Excel, en formato XLSX, que tiene la ventaja de que, a la vez que se especifican parámetros, se incluyen textos, gráficos y tablas que contribuyen a facilitar el uso. Es decir, es un soporte autoexplicativo.

Los textos marcados en **verde** son los que el usuario puede modificar. Los que se marcan en **rojo** no deben ser alterados pues los usa la aplicación.

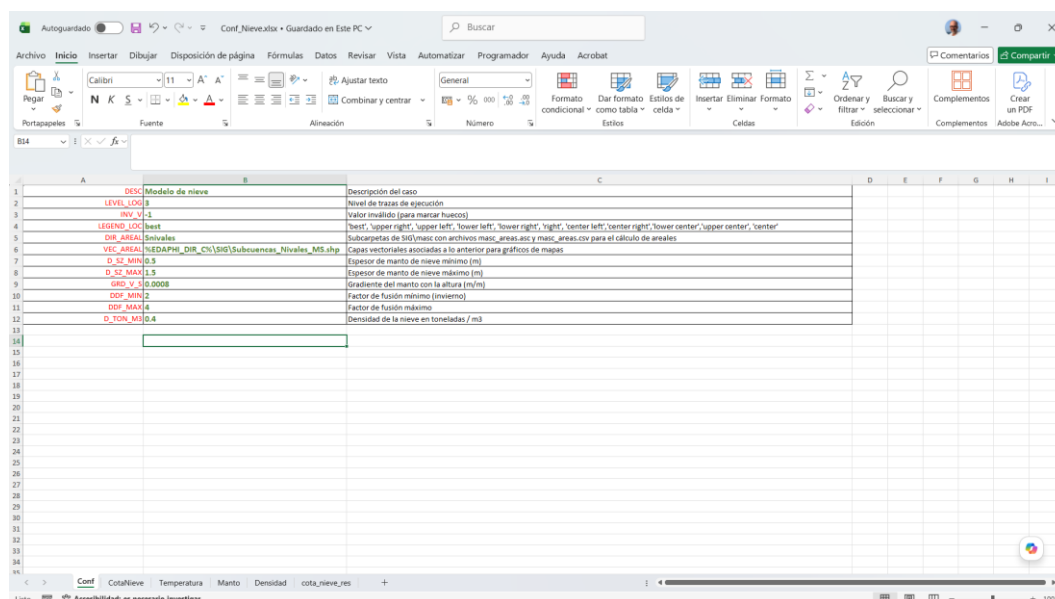


Figura 17-1.- Hoja principal del libro de configuración de la aplicación.

Entre los parámetros destacables en la hoja *Conf* están los de la fórmula de fusión y la densidad de la nieve:

DDF_MIN	2	Factor de fusión mínimo (invierno)
DDF_MAX	4	Factor de fusión máximo
D TON M3	0.4	Densidad de la nieve en toneladas / m3

Tabla 14.- Configuración de los valores del factor de fusión

17.3.3.1 Tabla de cota de nieve auxiliar

La cota de nieve es la altitud mínima en la que se detecta cobertura de nieve.

Los programas podrán usar la tabla de la hoja “CotaNieve” cuando los algoritmos del código no logren obtener, claramente, una cota de nieve a partir de las imágenes de satélite.

Se basa en la siguiente tabla descriptiva:

Época	Cota de nieve aproximada	Situación nival
Octubre-noviembre	1.600-2.000 m	Primeras nevadas en zonas altas: Ancares, Courel, Trevinca, Manzaneda, cabeceras del Sil, Bibei, Cabrera
Diciembre-febrero	800-1.500 m, con episodios más bajos	Máxima probabilidad de nieve; puede bajar puntualmente a 600-800 m en entradas frías

Marzo-abril	1.200-1.800 m	Fase de transición: alternan nevadas con fusión; la nieve se concentra cada vez más en cotas medias-altas
Mayo-junio	>1.800-2.000 m	Fusión avanzada; queda nieve residual en zonas altas y umbrías
Julio-septiembre	Sin nieve habitual	Desaparición casi total del manto salvo restos muy puntuales en años excepcionales

Tabla 15.- Tabla descriptiva que acompaña a la de configuración de la auxiliar de cota de nieve

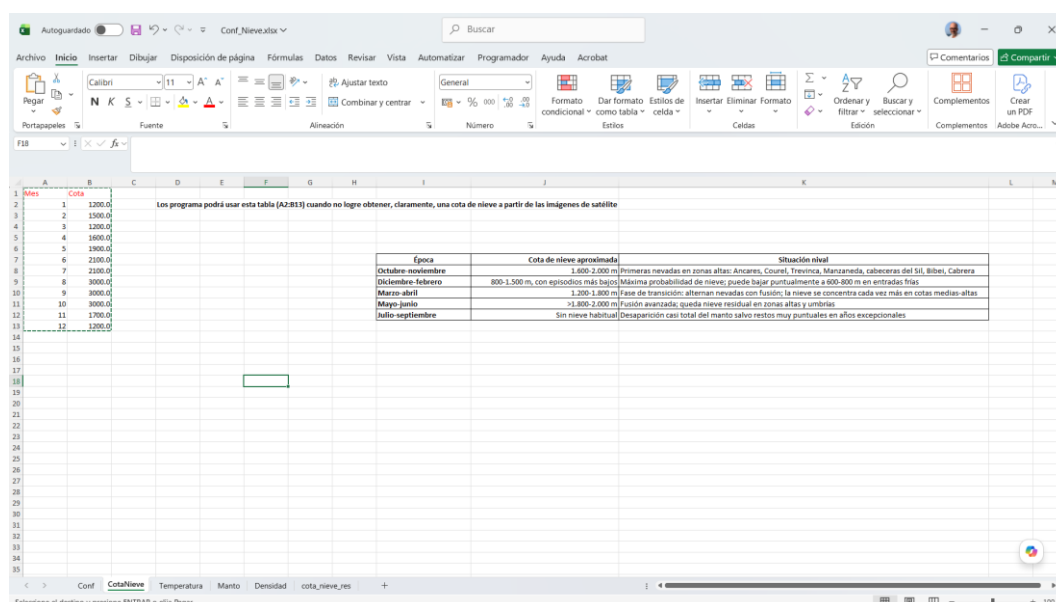


Figura 17-2.- Configuración de la tabla auxiliar de cotas de nieve

17.3.3.2 Tabla auxiliar de temperaturas

Las temperaturas diarias para el cálculo de la fusión se pueden indicar como argumento. En caso de que no se indique, el programa tomará las temperaturas medias del mes, a la altura de referencia.

Se parte de una tabla base que se transforma en función de la fórmula habitual que considera un gradiente térmico vertical, pues la temperatura disminuye con la altitud, y hay que indicar una temperatura a una altura de referencia apropiada para el cálculo de la fusión.

En la siguiente ilustración se muestran la fórmula, el valor del gradiente, la cota de referencia y la tabla base.

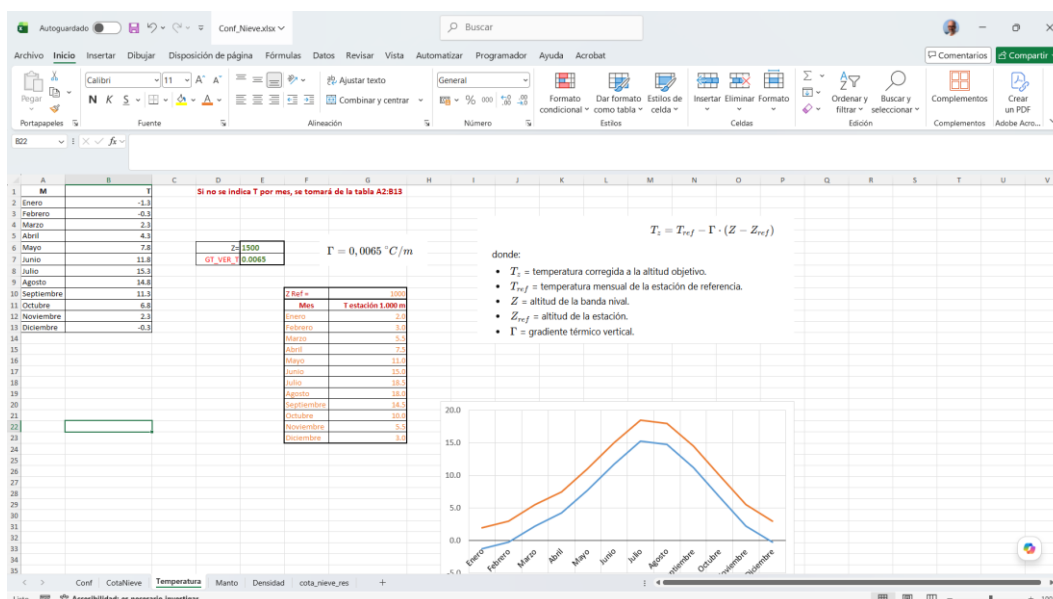


Figura 17-3.- Hoja de configuración de temperaturas con corrección por altitud

17.3.3.3 Manto de nieve

El espesor del manto de nieve se configura en la hoja principal "Conf". Pero se incluye otra hoja (Manto) con el propósito de documentar la influencia de los parámetros, teniendo en cuenta la fórmula incluida en el código.

Se trata de una polilínea definida con un gradiente, un valor mínimo que se fija para la cota de nieve y un valor máximo.

D_SZ_MIN	0.5	Espesor de manto de nieve mínimo (m)
D_SZ_MAX	1.5	Espesor de manto de nieve máximo (m)
GRD_V_S	0.0008	Gradiente del manto con la altura (m/m)

Tabla 16.- Parámetros de definición del manto de nieve que se especifican en la hoja "Conf"

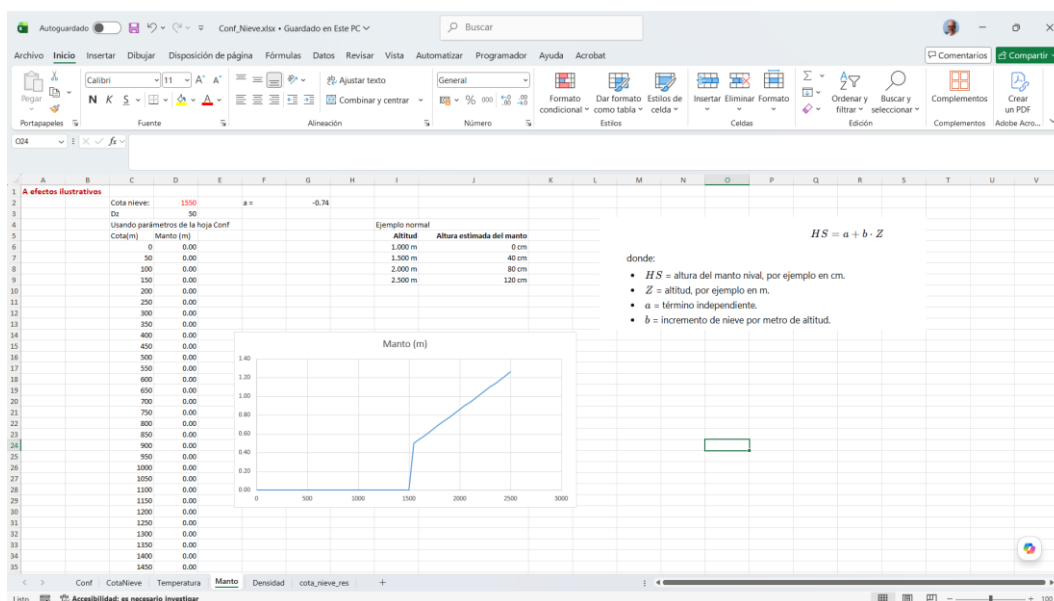


Figura 17-4.- Hoja "Manto" para ilustrar el efecto de los parámetros de definición del manto.

17.3.3.4 Densidad

La densidad de la nieve es otro de los parámetros que se especifican en la hoja "Conf". Con propósitos orientativos, se ha incluido una tabla en la hoja "Densidad".

Tipo de nieve	Densidad aproximada
Nieve recién caída, seca y ligera	50-100 kg/m ³
Nieve reciente algo compactada	100-200 kg/m ³
Nieve húmeda	200-400 kg/m ³
Nieve vieja o transformada	300-500 kg/m ³
Nieve muy compactada / firn	500-800 kg/m ³
Hielo glaciario	850-917 kg/m ³

Tabla 17.- Densidad de la nieve según el tipo

17.3.4 Carpeta SIG

La aplicación se basa en tecnología SIG (sistema de información geográfica), tanto para el tratamiento de las imágenes de satélite como para los cálculos, y también para la presentación de resultados.

17.3.4.1 Capas de configuración

Las capas SIG tipo ráster (matricial) que usa la aplicación se esperan en formato texto (ASC), ya sea el de GIS-GRASS o el de ESRI (ArcGIS). El código reconoce la variante, aunque no se distinga por la extensión.

MDT

La carpeta SIG incluye el archivo *mdt.asc* (formato texto) con la información del MDT (modelo digital del terreno) que se emplea. También se incluye en formato TIFF, pero la aplicación usa el ASC.

MDT en franjas de cota equidistantes

Parte de los cálculos en basan en considerar franjas de cota en el MDT. Pueden definirse cada 100 metros, por ejemplo, pero la configuración actual se basa en intervalos de 50 m. El archivo que contiene esta información es *franjas.asc* (formato texto)

Áreas de cálculo (subcuencas)

Las subcuencas en las que se hacen los cálculos areales y se presentan resultados se definen en la hoja *Conf*

DIR_AREAL	Snivales	Subcarpetas de SIG\masc con archivos masc_areas.asc y masc_areas.csv para el cálculo de areales
VEC_AREAL	%EDAPHI_DIR_C%\SIG\Subcuencas_Nivales_MS.shp	Capas vectoriales asociadas a lo anterior para gráficos de mapas

Tabla 18.- Especificaciones de áreas de cálculo en la hoja "Conf"

En la carpeta *SIG\masc* se almacenan los archivos que se usan en los cálculos en la subcarpeta que se haya indicado en la hoja *Conf*.

Se necesitan dos archivos:

- *masc_areas.asc*.- Capa matricial cuyos valores enteros se asocia a cada área
- *masc_areas.csv*.- Archivo de texto delimitado que contiene la tabla con los campos de cada área

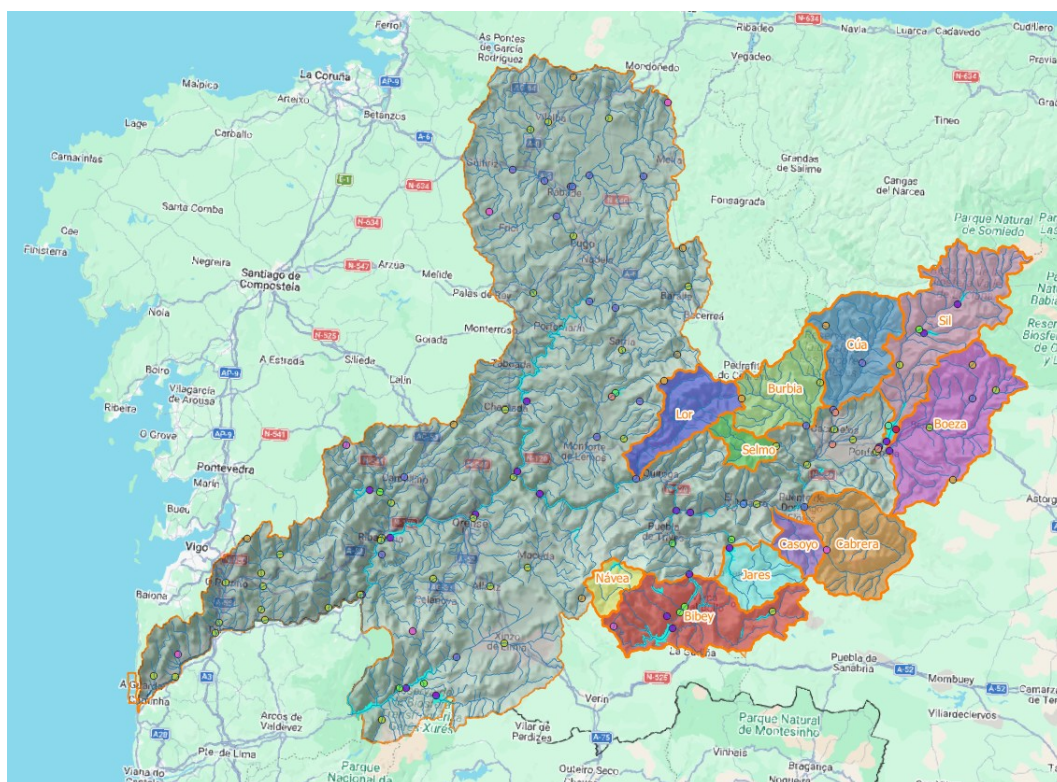


Figura 17-5.- Representación con colores de la capa *masc_areas.asc* para cálculos areales.

El contenido del archivo *masc_areas.csv* es como el siguiente:

```
ID,cat,NOMBRE,area_km2
50,1,Lor,368
51,2,Burbia,433.3
52,3,Cúa,495
53,4,Sil,826.1
54,5,Boeza,831.4
55,6,Cabrera,557.4
56,7,Casoyo,145
57,8,Jares,256.3
58,9,Bibey,729.5
59,10,Navea,129.4
60,11,Selmo,134.2
```

Son obligados los campos *cat*, para relacionarlo con el archivo *masc_areas.asc*, el campo *nombre* y *area_km2* (calculado en el formato vectorial de la capa de áreas, pues es más exacto).

Para modificar las áreas, se sugiere emplear el software GIS-Grass (<https://grass.osgeo.org/>), el cual es abierto y libre.

La configuración que se muestra en este caso de aplicación se definió siguiendo los siguientes pasos en GIS-Grass:


```

g.region ráster=mdt@PERMANENT
v.import input=C:\EDAPHI\MinoSil\Nieve\SIG\Subcuencas_Nivales_MS.shp
layer=Subcuencas_Nivales_MS output=Subcuencas_Nivales_MS snap=0.001 --
overwrite
v.to.rast --overwrite input=Subcuencas_Nivales_MS@PERMANENT
output=Subcuencas_Nivales_MS use=cat -d
v.db.select map=Subcuencas_Nivales_MS@PERMANENT
columns=ID,cat,NOMBRE,area_km2 separator=comma
file=C:\EDAPHI\MinoSil\Nieve\SIG\masc\snivales\masc_areas.csv --overwrite
r.out.ascii -i --overwrite input=Subcuencas_Nivales_MS@PERMANENT
output=C:\EDAPHI\MinoSil\Nieve\SIG\masc\snivales\masc_areas.asc
null_value=-1

```

Se partió de la capa vectorial en formato SHP *Subcuencas_Nivales_MS* que puede encontrarse en la carpeta SIG (también especificada en la hoja *Conf*).

17.4 Proceso de cálculo

17.4.1 Cálculo de superficies de nieve

Los pasos de cálculo que realiza el módulo *nieve_modis* son:

1. Descarga de archivos HDF de MODIS desde el servidor de NASA Earthdata
2. Transformación de las capas NDSI_Snow_Cover en formato ASC
3. Cálculo de estadísticas de las capas NDSI_Snow_Cover según tipos de coberturas
4. Generación de la capas PCN (porcentaje/grado de cobertura nival según el índice NDSI)
5. Cálculo de las estadísticas de las capas PCN en función de las cotas, incluyendo una recta de regresión en el entorno del valor 50 %
6. Cálculo de los valores máximos de los PCN en los días analizados.
7. Cálculo de las estadísticas de la capa de máximos en función de las cotas, incluyendo una recta de regresión en el entorno del valor 50 %
8. Definición de la cota de nieve (cn) en función de la malla de máximos y el valor PCN=50 % para esta capa según la recta de regresión.
9. Selección de valores por encima de PCN=50 % y con cotas por encima de cn.
10. Cálculo de áreas de nieve por franjas de cota

17.4.2 Cálculo de fusión nival

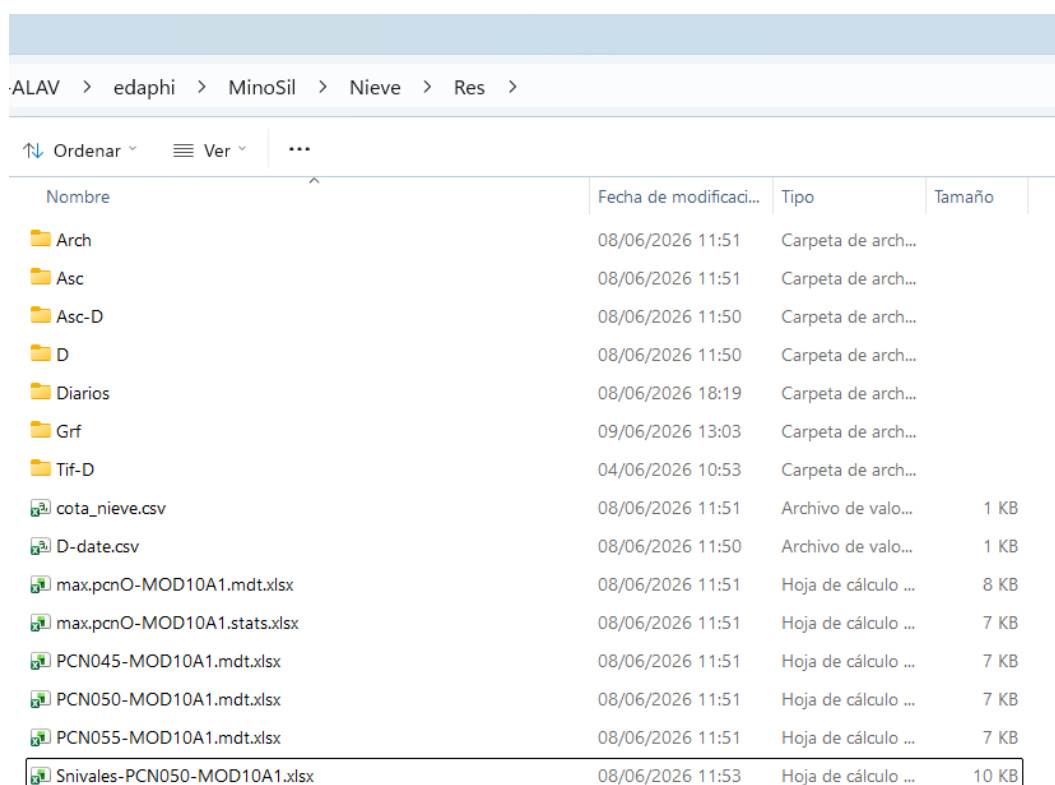
El módulo de fusión nival (*nieve*) parte de los resultados del módulo *nieve_modis* de áreas de nieve por franjas de cota y procede según los siguientes pasos, para cada subcuenca (área) y para el primer día de cálculo:

1. Establecimiento del manto de nieve para cada cota según la configuración.
2. Cálculo del volumen de nieve en cada franja de cota
3. Cálculo del volumen de agua almacenado en forma de nieve (equivalente en agua) según la densidad de la nieve
4. Cálculo de las superficies y volúmenes acumulados en cota
5. Cálculo del descenso del manto por fusión por el método de grado-día con resultado en mm, considerando la compatibilidad de los mm fundidos y los mm de manto supuestos.
6. Cálculo de superficies y volúmenes después de la fusión por franjas
7. Cálculo de las superficies y volúmenes acumulados en cota
8. Cálculo de caudales por reducción de volúmenes de agua en forma de nieve.

Para los siguientes días, el manto de nieve del paso 1 será el manto deducido en el punto 5 de la iteración del día anterior. El resto de los cálculos será igual.

17.5 Resultados

La aplicación genera un gran número de resultados, tanto finales como intermedios de cálculo.



Nombre	Fecha de modificaci...	Tipo	Tamaño
Arch	08/06/2026 11:51	Carpeta de arch...	
Asc	08/06/2026 11:51	Carpeta de arch...	
Asc-D	08/06/2026 11:50	Carpeta de arch...	
D	08/06/2026 11:50	Carpeta de arch...	
Diarios	08/06/2026 18:19	Carpeta de arch...	
Grf	09/06/2026 13:03	Carpeta de arch...	
Tif-D	04/06/2026 10:53	Carpeta de arch...	
cota_nieve.csv	08/06/2026 11:51	Archivo de valo...	1 KB
D-date.csv	08/06/2026 11:50	Archivo de valo...	1 KB
max.pcnO-MOD10A1.mdt.xlsx	08/06/2026 11:51	Hoja de cálculo ...	8 KB
max.pcnO-MOD10A1.stats.xlsx	08/06/2026 11:51	Hoja de cálculo ...	7 KB
PCN045-MOD10A1.mdt.xlsx	08/06/2026 11:51	Hoja de cálculo ...	7 KB
PCN050-MOD10A1.mdt.xlsx	08/06/2026 11:51	Hoja de cálculo ...	7 KB
PCN055-MOD10A1.mdt.xlsx	08/06/2026 11:51	Hoja de cálculo ...	7 KB
Snivales-PCN050-MOD10A1.xlsx	08/06/2026 11:53	Hoja de cálculo ...	10 KB

Figura 17-6.- Carpeta de resultados

Algunos archivos están referidos a un día concreto, en cuyo caso su nomenclatura incluye al inicio la fecha (aaaa-mm-dd, año-mes-día, ej: 2012-04-05).

17.5.1 Módulo de superficie de nieve (*nieve_modis*)

El módulo de superficie de nieve genera los siguientes resultados:

- Archivos tipo *D\MOD10A1.A2012097.h17v04.061.2021206182759.hdf*.- Archivos MODIS descargados (formato HDF)
- Archivos tipo *Asc-D\2012-04-06-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.asc*.- Transformación de la capa NDSI_Snow_Cover, en formato ASC, de los archivos MODIS HDF descargados.
- Archivos tipo *Asc\2012-04-06-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.pcnO.asc* con los porcentajes de nieve originales de las imágenes MODIS
- Archivos tipo *Grf\2012-04-06-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.pcnO.png* con la representación de los anteriores (extensión ASC).
- Archivos tipo *Arch\2012-04-06-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.stats.xlsx*. - Estadísticas de tipos de cobertura de cada capa MODIS
- Archivos tipo *Arch\2012-04-08-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.pcnO.mdt.xlsx*. - Estadísticas de tipos de cobertura de cada capa MODIS en función de las cotas.
- Archivo tipo *2012-04-08-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.pcnO.mdt.png*.- Representación de las estadísticas de la relación entre porcentaje de nieve y las cotas.
- Archivos tipo *Asc\2012-04-06-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.nv.asc*.- Mallas SIG con valores no válidos de las imágenes MODIS
- Archivos tipo *Grf\2012-04-06-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.nv.png*.- Representación de los archivos tipo *Asc\2012-04-06-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.nv.asc*
- *max.pcnO-MOD10A1.asc*.- Máximo de los porcentajes de nieve en los días analizados
- *Grf\max.pcnO-MOD10A1.png*.- Representación gráfica de *max.pcnO-MOD10A1.asc*
- *max.pcnO-MOD10A1.mdt.xlsx*.- Estadísticas de la relación de la malla *max.pcnO-MOD10A1.asc* en función de la cota.
- *max.pcnO-MOD10A1.stats.xlsx*.- Estadísticas de la relación de la malla *max.pcnO-MOD10A1.asc* según tipo de cobertura.
- *Grf\max.pcnO-MOD10A1.mdt.png*.- Representación de las estadísticas de PNC frente a cota de la capa de máximos PCN
- Archivos tipo *PCN050-MOD10A1.ASC*.- Malla ASC de celdas con porcentaje de nieve superior al 50 % y por encima de la cota de nieve.
- *Grf\PCN050-MOD10A1.PNG*.- Representación de *PCN050-MOD10A1.ASC* en formato gráfico (PNG)
- *Snivales-PCN050-MOD10A1.xlsx*.- Resultado final del módulo *nieve_modis*
 - Hoja "Nieve".- Áreas de nieve por franjas de cota
 - Hoja "Areas".- Áreas de cada subcuenca por franjas de cota

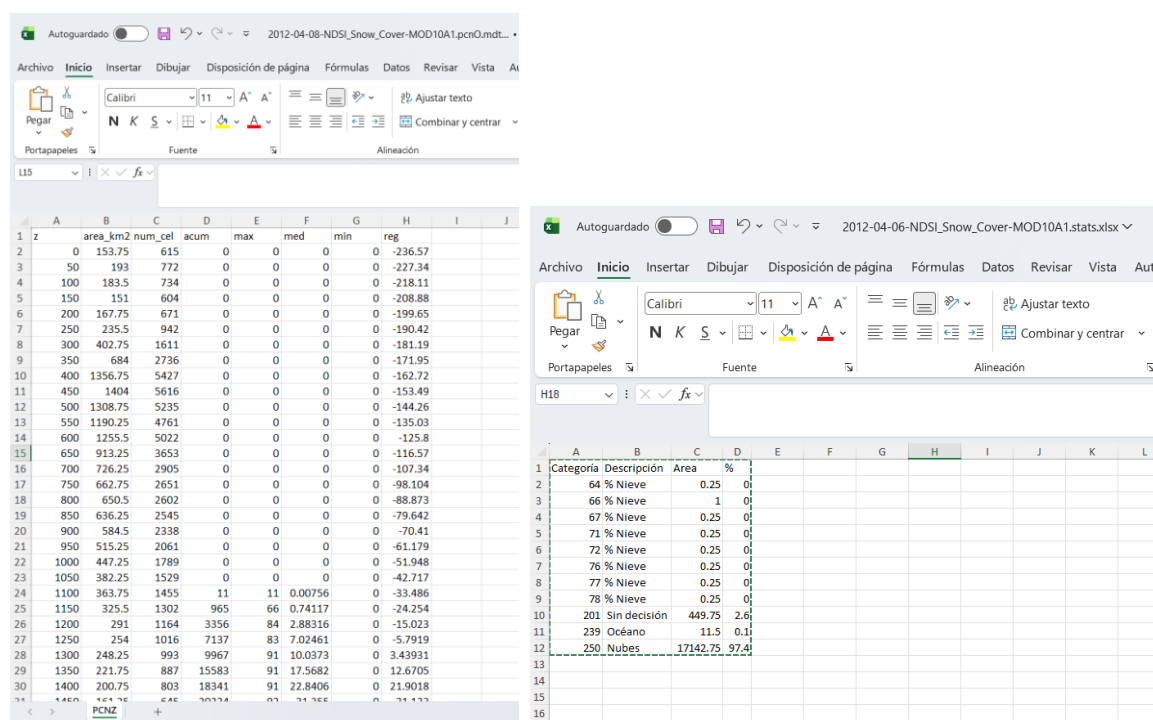


Figura 17-7.- Archivos tipo 2012-04-08-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.pcnO.mdt.xlsx, con estadísticas por franja de cota del MDT, y tipo 2012-04-06-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.stats.xlsx con estadísticas por tipo de cobertura de las imágenes MODIS.

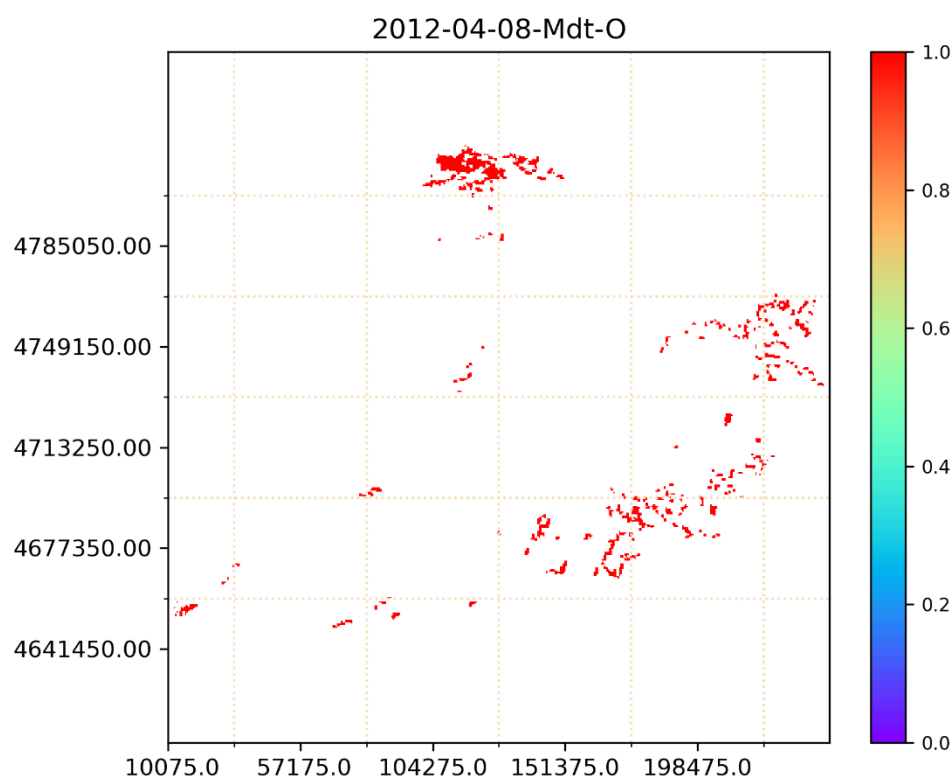


Figura 17-8.- Representación de un archivo ASC tipo 2012-04-08-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.nv (valores no válidos) en formato gráfico (PNG)

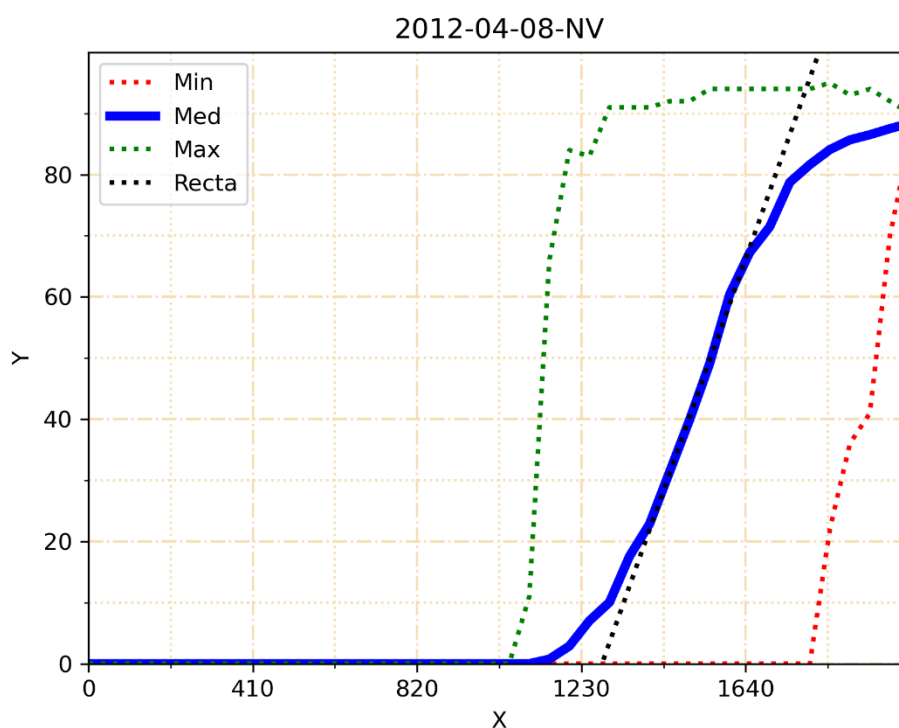


Figura 17-9.- Ejemplo de archivo tipo 2012-04-08-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.pcnO.mdt.png con la representación de las estadísticas de la relación entre porcentaje de nieve y las cotas

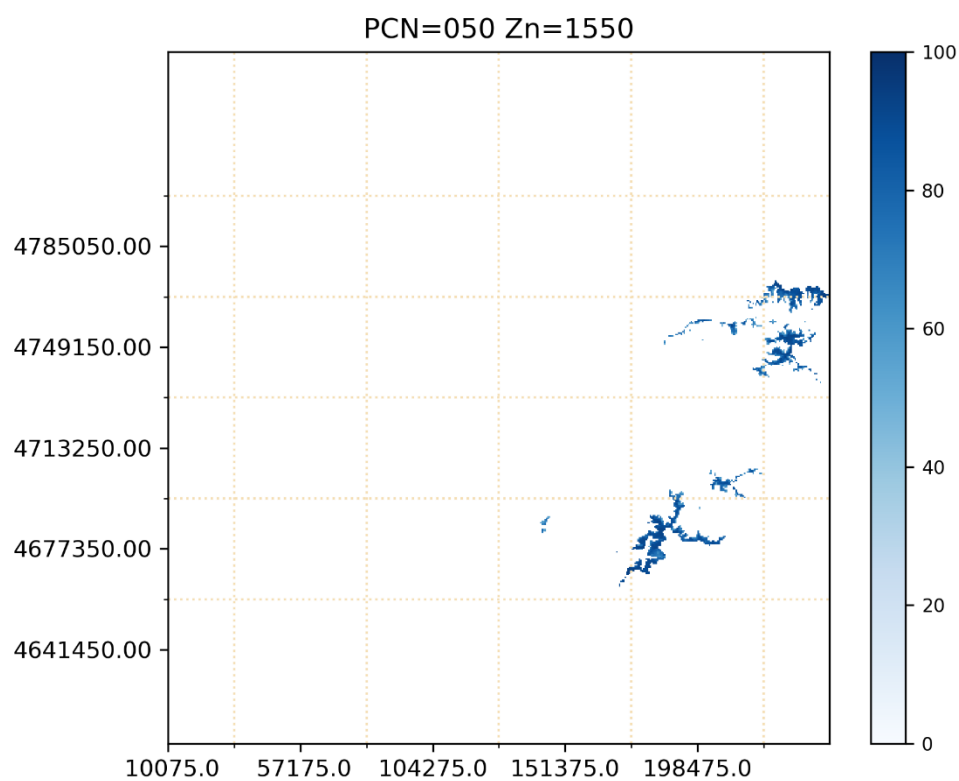


Figura 17-10 Representación de un archivo ASC tipo PCN050-MOD10A1 (Celdas con porcentaje de nieve superior al 50 % y por encima de la cota de nieve) en formato gráfico (PNG)

[illegible]

Figura 17-11.- Hoja "Nieve" del archivo Snivales-PCN050-MOD10A1.xlsx

Además, hay otros dos archivos en formato CSV:

- *Cota_nieve.csv*, con un contenido como el siguiente:

1550, Cota de nieve a partir de Max PCN ($z = 1598.6$), t_ini=2012-04-06, t_fin=2012-04-10

- *D-date.csv*, con información de los archivos descargados y sus fechas:

MOD10A1.A2012097.h17v04.061.201206182759.hdf,2012-04-06
MOD10A1.A2012098.h17v04.061.201206191940.hdf,2012-04-07
MOD10A1.A2012099.h17v04.061.201206230223.hdf,2012-04-08
MOD10A1.A2012100.h17v04.061.201207014254.hdf,2012-04-09
MOD10A1.A2012101.h17v04.061.201207065305.hdf,2012-04-10

17.5.2 Módulo de fusión nival (*nieve*)

El módulo de fusión nival genera resultados diarios (en la carpeta Res\Diarios) para cada iteración (día) y para cada subcuenca:

- Archivos XLSX con el nombre de la subcuenca.- Tabla |Día|Km² nieve|Hm³ agua|Caudal m³/s
- Archivos tipo *Snivales-PCN050-MOD10A1.004.vq.xlsx*.- Incluye un tabla por subcuenca para cada día con las variables antes y después de la fusión, y otra tabla resumen de todas las subcuencas.
- Gráficos en formato PNG:
 - *Nombre-A.png*.- Evolución de las áreas de nieve de la subcuenca “nombre”.
 - *Nombre-V.png*.- Evolución de los volúmenes de agua en forma de nieve de la subcuenca “nombre”.
 - *Nombre-Q.png*.- Evolución de los caudales de fusión.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Día	Km2 nieve	Hm3 agua	Caudal m3/s				
2	0	193.94	48.07344	27.83398148				
3	1	193.94	45.668584	27.83398148				
4	2	193.94	43.263728	27.83398148				
5	3	193.94	40.858872	27.83398148				
6	4	193.94	38.454016	27.83398148				
7	5	193.94	36.04916	27.83398148				
8	6	193.94	33.644304	27.83398148				
9	7	193.94	31.239448	27.83398148				
10	8	193.94	28.834592	27.83398148				
11	9	193.94	26.429736	27.83398148				
12	10	193.94	24.02488	27.83398148				
13	11	193.94	21.620024	27.83398148				
14	12	193.94	19.215168	27.83398148				
15	13	193.94	16.810312	27.83398148				
16	14	193.94	14.405456	27.83398148				
17	15	193.94	12.0006	27.83398148				
18	16	193.94	9.595744	27.83398148				
19	17	167.77	7.475324	24.56273148				
20	18	134.87	5.630056	21.33643519				
21	19	102.71	4.073444	18.01634259				
22	20	102.71	2.79984	14.74078704				
23	21	73.54	1.887944	10.55435185				
24	22	45.87	1.219544	7.796111111				
25	23	30.66	0.729848	5.867777778				
26	24	15.45	0.374	4.118611111				
27	25	15.45	0.18242	2.217361111				
28	26	6.48	0.084128	1.137638889				
29	27	2.49	0.030908	0.615972222				
30	28	0.5	0.0064	0.283657407				
31	29	0.5	0.0002	0.071759259				
32	30	0	0	0.002314815				
33								
34								
35								

Figura 17-12.- Ejemplo de archivo de resultados de cálculo de fusión por subcuena

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	z:	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	
2	MM nieve antes:	500	540	580	620	660	700	740	780	820	860	900	
3	MM nieve después:	469	509	549	589	629	669	709	749	789	829	869	
4	Km2 nieve antes:	26.17	32.9	32.16	29.17	27.67	15.21	15.21	8.97	3.99	1.99	0.5	
5	Km2 nieve después:	26.17	32.9	32.16	29.17	27.67	15.21	15.21	8.97	3.99	1.99	0.5	
6	Hm3 nieve antes:	13.085	17.766	18.6528	18.0854	18.2622	10.647	11.2554	6.9966	3.2718	1.7114	0.45	
7	Hm3 nieve después:	12.27373	16.7461	17.65584	17.18113	17.40443	10.17549	10.78389	6.71853	3.14811	1.64971	0.4345	
8	Hm3 acum nieve antes:	13.085	30.851	49.5038	67.5892	85.8514	96.4984	107.7538	114.7504	118.0222	119.7336	120.1836	
9	Hm3 acum nieve después:	12.27373	29.01983	46.67567	63.8568	81.26123	91.43672	102.22061	108.93914	112.08725	113.73696	114.17146	
10													
11													

Figura 17-13.- Ejemplo de tabla por subcuena de cada iteración de cálculo de fusión nival

Autoguardado Snivales-PCN050-MOD10A1.001.vq.xlsx

Archivo Inicio Insertar Dibujar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Automatizar

Calibri 11 A⁺

Pegar Fuente Alineación

J21

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Nombre	km2 antes	km2 después	hm3 nieve antes	hm3 nieve después	hm3 agua antes	hm3 agua después	m3/s	
1	Lor	0	0	0	0	0	0	0	
2	Burbia	0.25	0.25	0.175	0.16725	0.07	0.0669	0.03587963	
3	Cúa	16.44	16.44	9.5756	9.06596	3.83024	3.626384	2.359444444	
4	Sil	193.94	193.94	120.1836	114.17146	48.07344	45.668584	27.83398148	
5	Boeza	31.25	31.25	19.305	18.33625	7.722	7.3345	4.484953704	
6	Cabrera	74.64	74.64	48.7948	46.48096	19.51792	18.592384	10.71222222	
7	Casoyo	24.5	24.5	14.97	14.2105	5.988	5.6842	3.516203704	
8	Jares	23.46	23.46	14.0676	13.34034	5.62704	5.336136	3.366944444	
9	Bibey	78.57	78.57	47.2174	44.78173	18.88696	17.912692	11.27625	
10	Návea	1.75	1.75	0.945	0.89075	0.378	0.3563	0.251157407	
11	Selmo	0	0	0	0	0	0	0	
12									
13									
14									
15									

Figura 17-14.- Ejemplo de tabla resumen de cada iteración de cálculo de fusión nival

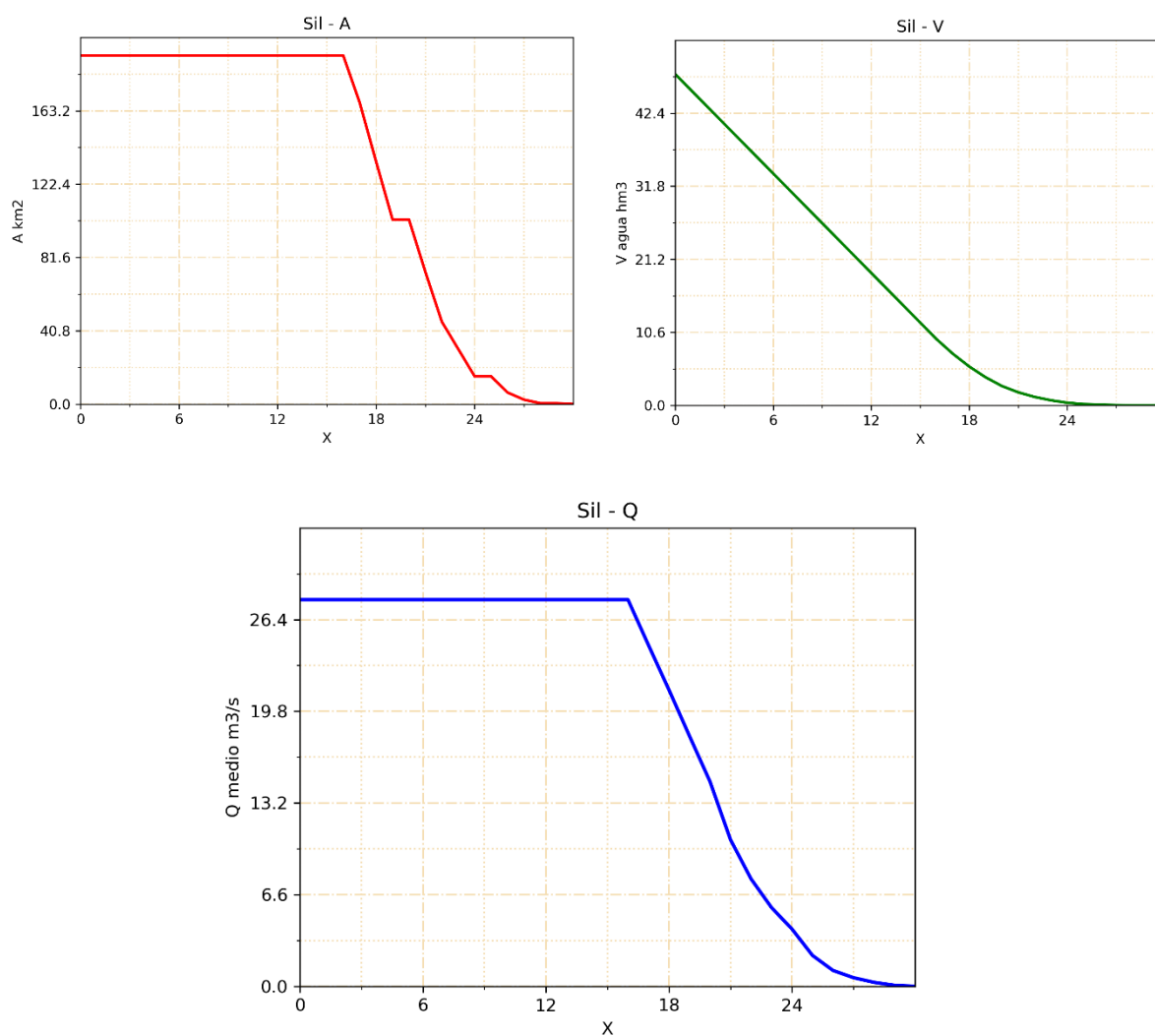


Figura 17-15.- Ejemplos de gráficos de evolución de subcuencas por fusión nival

17.5.3 Uso de herramienta SIG

Muchos de los resultados pueden representarse en mapas con herramientas SIG como QGIS (<https://www.qgis.org>). Ello facilitará la interpretación de resultados y el contraste con fuentes de información varias.

La carpeta SIG incluye un archivo con extensión QGZ de un proyecto QGIS que incorpora los datos y algunos resultados.

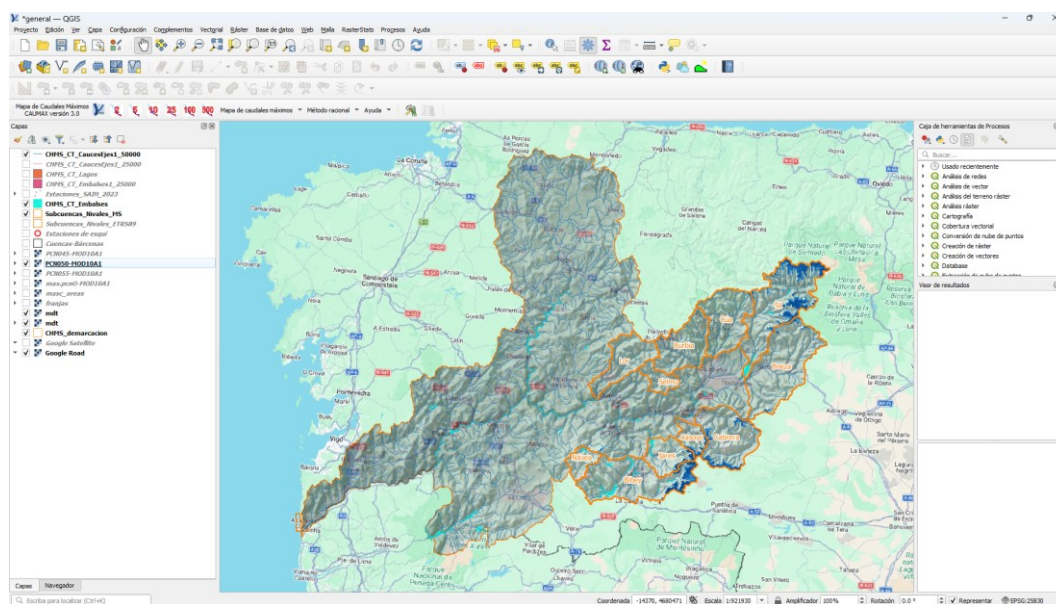


Figura 17-16.- Proyecto QGIS incluyendo la capa de resultado final PCN50 en colores azules.

17.6 Recomendaciones generales de uso

La aplicación se ha concebido para obtener superficies de nieve a partir de las imágenes de varios días, suponiendo que no hay grandes cambios en la cobertura en esos días. Ello con el propósito de superar las dificultades derivadas de la nubosidad.

1.- Hay que asegurarse que hay al menos una imagen con una curva cota-PCN (archivos tipo *2012-04-08-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.pcnO.mdt.png*) en forma de S, tal que muestre una correcta captación de cobertura, lo que se observará también en la representación espacial de valores no válidos (archivos tipo *2012-04-08-NDSI_Snow_Cover-MOD10A1.nv.png*).

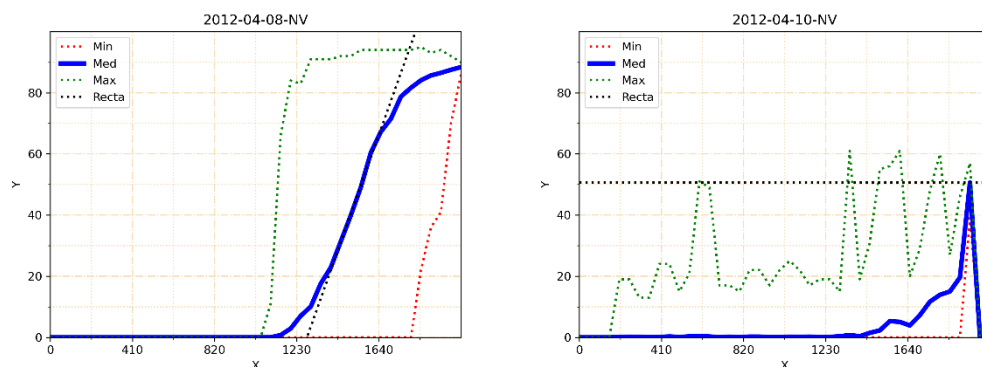


Figura 17-17.- La gráfica de la izquierda presenta una distribución de PCN con la cota que indica que recopiló información coherente de nieve en función de la altura. La de la derecha muestra gráfica de un día con dificultades para medir la nieve

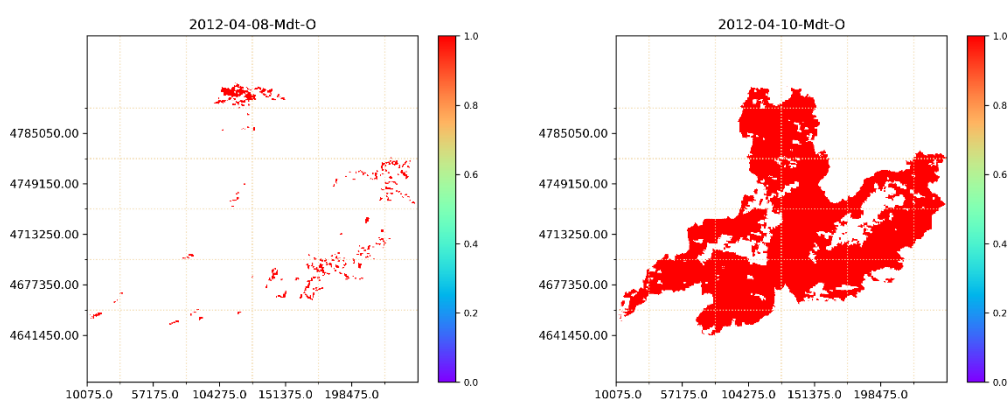


Figura 17-18.- Las imágenes de valores no válidos se corresponden con los días de la figura anterior.

- 2.- Utilizar fuentes de observación externa, mientras no se cuente con pértigas y otros instrumentos de medida, para disponer de información sobre el manto de nieve.
- 3.- Contrastar las superficies con información externa de campo. Para ello puede ser útil el empleo de SIG.
- 4.- Hacer análisis de sensibilidad de resultados finales ante las principales fuentes de incertidumbre del cálculo de fusión nival: manto, temperatura, densidad.
5. Antes de cada ejecución de un comando de cálculo hay que cerrar todos los archivos de resultados si han sido abiertos con aplicaciones como MS-Excel o QGIS.

18 EDAPHI-V Extremos. Análisis de valores máximos anuales

18.1 Introducción

El análisis de valores máximos anuales para la obtención de relaciones de un valor de caudal o lluvia con la probabilidad de no ser superado es una tarea habitual de un hidrólogo. También resulta útil en la hidrología operacional, pues este tipo de análisis puede proporcionar valores útiles para la definición de umbrales, por ejemplo, o para la valoración cuantitativa de una magnitud asociada a una crecida.

18.2 Enfoque metodológico

El enfoque que se sigue se basa en:

- Varias funciones de distribución.
- Diferentes métodos de ajuste.
- Combinar distribuciones y ajustes.
- Indicadores de calidad de los ajustes.
- Gráficas P, T, P-P y Q-Q para la valoración de ajustes.
- Ranking de valoraciones ponderadas en función de algunos indicadores.

También es posible valorar la influencia de la fórmula empleada para las probabilidades empíricas, pues se ha desarrollado un código que admite varias opciones.

18.2.1 Funciones de distribución, cuantiles y períodos de retorno

Una función de distribución acumulada representa una función que representa la probabilidad de no excedencia de un determinado valor xt

$$F(x) = P(X \leq xt)$$

X será la variable aleatoria.

También se usa la función de densidad de probabilidad, que es la derivada de la función de distribución (acumulada). Las primeras suelen denominarse con letra minúsculas (f) y las segundas con mayúsculas (F).

Ambas pueden ser reconocidas por los acrónimos FDA y FDP, respectivamente, o por los que se corresponden a la terminología en inglés: CDF (Cumulative Distribution Function) y PDF (Probability Density Function).

Si la variable es de máximos anuales, la probabilidad de no excedencia asociada a un período de retorno T es:

$$F_T = 1 - \frac{1}{T}$$

El cuantil de diseño se obtiene mediante:

$$X_T = F^{-1}\left(1 - \frac{1}{T}\right)$$

T (años)	Probabilidad anual de excedencia	No excedencia
2	0,500	0,500
10	0,100	0,900
25	0,040	0,960
50	0,020	0,980
100	0,010	0,990
500	0,002	0,998

Un período de retorno de 100 años no significa que el evento ocurra exactamente una vez cada 100 años, sino que tiene una probabilidad del 1 % de ser superado en cualquier año, bajo hipótesis de estacionariedad e independencia.

La extrapolación debe evaluarse con cautela. Si la longitud de la serie es n , la incertidumbre suele aumentar con la relación T/n . Para T muy superior a n , conviene complementar el ajuste local con información regional, histórica, paleocrecidas o modelación hidrometeorológica.

18.2.1.1 Período de retorno en análisis de máximos anuales

El concepto de periodo de retorno tiene pleno sentido en el ámbito del análisis anual. Se trata simplemente de la inversa de la probabilidad de que un valor (lluvia o caudal) sea superado. Si x_t está asociado a un periodo de retorno T , la probabilidad de excedencia (de que $x > x_t$) es $p = 1 / T$ (la probabilidad de que sea superada en un año). Pero en teoría de probabilidad se usan funciones de distribución de probabilidad acumulada (F) de que $x \leq x_t$, es decir, la complementaria ($1 / T = 1 - F$), lo que puede complicar, aún más, la interpretación.

18.2.1.2 Probabilidad de presentación en un número de años

Este apartado pretende contribuir al entendimiento del concepto de T que a menudo se interpreta de forma errónea al aplicarlo a un intervalo de tiempo.

Se supone que la probabilidad de que no se presente un evento mayor en un intervalo de un año es independiente de que se no presente en otro intervalo. Bajo esta hipótesis, como la probabilidad de que no se presente en un año un evento $x > x_t$ es $1 - p$, entonces la probabilidad de que tal evento no ocurra durante n periodos consecutivos es el producto de las probabilidades individuales, es decir,

$$(1 - p)^n$$

Por tanto, la probabilidad de que un evento de esta magnitud o mayor se presente al menos una vez durante estos n años es:

$$1 - (1 - p)^n$$

La aplicación de esta fórmula permite construir las siguientes tabla y gráfico

p=1/T	T	n=1 años	n=5 años	n=10 años	n=25 años	n=50 años	n=100 años	n=500 años	n=1000 años
0,5000	2	0,5000	0,9688	0,9990	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,2000	5	0,2000	0,6723	0,8926	0,9962	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,1000	10	0,1000	0,4095	0,6513	0,9282	0,9948	1,0000	1,0000	1,0000
0,0400	25	0,0400	0,1846	0,3352	0,6396	0,8701	0,9831	1,0000	1,0000
0,0200	50	0,0200	0,0961	0,1829	0,3965	0,6358	0,8674	1,0000	1,0000
0,0100	100	0,0100	0,0490	0,0956	0,2222	0,3950	0,6340	0,9934	1,0000
0,0020	500	0,0020	0,0100	0,0198	0,0488	0,0953	0,1814	0,6325	0,8649
0,0010	1000	0,0010	0,0050	0,0100	0,0247	0,0488	0,0952	0,3936	0,6323
0,0001	10000	0,0001	0,0005	0,0010	0,0025	0,0050	0,0100	0,0488	0,0952

Tabla 19.- Probabilidades de que un evento de determinado periodo de retorno se presente en un número de años.

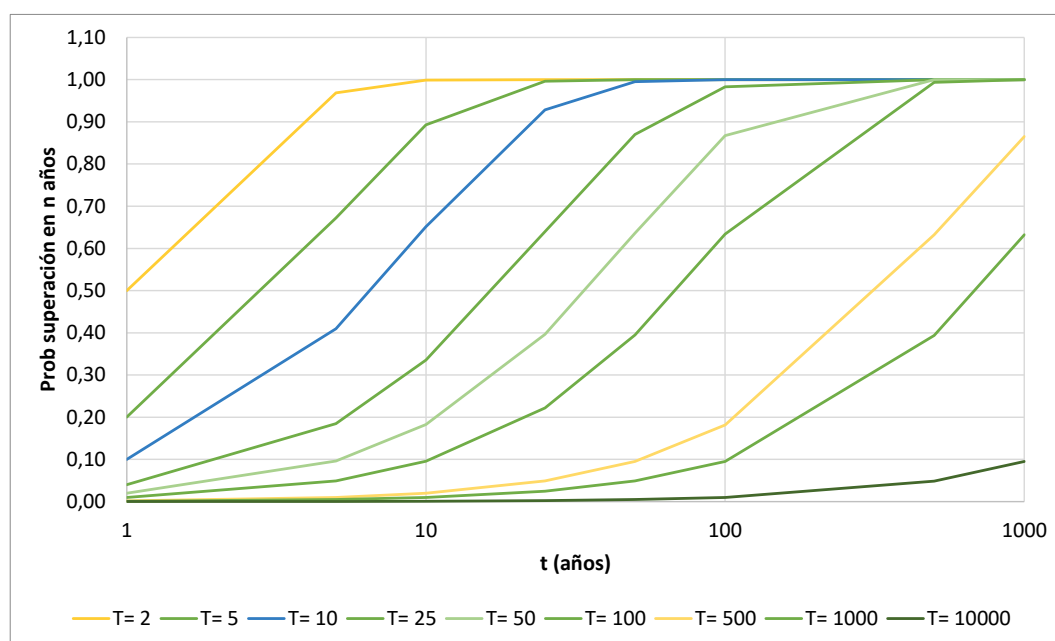


Figura 18-1.- Probabilidades de que un evento de determinado periodo de retorno se presente en un número de años

Obsérvese que, por ejemplo, la probabilidad de que un evento de $T=500$ años se presente en $n=500$ años es del 63 % (0,6340).

18.2.2 Serie de máximos anuales y probabilidades empíricas

Se parte de una serie $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$, donde cada valor es el mayor caudal, o lluvia, observado en un año hidrológico. Los momentos ordinarios se calculan directamente sobre los datos, asignando a cada observación el mismo peso $1/n$.

$$\text{Media: } \bar{Q} = (1/n) \sum Q_i$$

$$\text{Varianza central: } m_2 = (1/n) \sum (Q_i - \bar{Q})^2$$

$$\text{Asimetría por momentos: } g = m_3 / m_2^{(3/2)}$$

Las posiciones de trazado se asignan después de ordenar la muestra y se utilizan para gráficos probabilísticos, evaluación empírica y métodos basados en cuantiles. No deben incorporarse a los momentos ordinarios como pesos.

Método	Probabilidad empírica de no excedencia F_i
Weibull	$i / (n + 1)$
Gringorten	$(i - 0,44) / (n + 0,12)$
Hazen	$(i - 0,5) / n$
Cunnane	$(i - 0,4) / (n + 0,2)$

Tabla 20.- Métodos de cálculo de probabilidad empírica

Gringorten es habitual para máximos; Cunnane ofrece un comportamiento general equilibrado. La selección del método de posición de trazado puede afectar ligeramente a las métricas P-P y Q-Q, pero no a los parámetros estimados por momentos ordinarios o máxima verosimilitud.

18.2.3 Distribuciones consideradas

18.2.3.1 Normal

La distribución Normal es simétrica y se utiliza principalmente como referencia. Puede resultar inadecuada para series positivas con asimetría elevada y, además, asigna probabilidad a valores negativos.

Si $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, su función de densidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad -\infty < x < \infty$$

Su función de distribución es:

$$F(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

El cuantil asociado al período de retorno T es:

$$X_T = \mu + \sigma \Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{T}\right)$$

18.2.3.2 Lognormal

La opción implementada en el módulo V-Extremos es la de dos parámetros, aunque se expone a continuación también la opción de tres parámetros.

Lognormal de dos parámetros

Se define mediante:

$$\ln X \sim N(\mu, \sigma^2), \quad X > 0$$

La densidad es:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad x > 0$$

La función de distribución es:

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)$$

El cuantil es:

$$X_T = \exp\left[\mu + \sigma \Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]$$

Lognormal de tres parámetros

Con desplazamiento loc :

$$\ln(X - loc) \sim N(\mu, \sigma^2), \quad X > loc$$

La densidad es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - loc)\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln(x - loc) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

La CDF puede escribirse como:

$$F(x) = \Phi\left[\frac{\ln\left(\frac{x - loc}{scale}\right)}{s}\right]$$

Y el cuantil es:

$$X_T = loc + scale \exp \left[s \Phi^{-1} \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

18.2.3.3 Gumbel

La distribución Gumbel es un modelo clásico de valores extremos con dos parámetros. Su función de distribución es:

$$F(x) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{x-u}{\alpha} \right) \right], \quad \alpha > 0$$

La densidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[-\frac{x-u}{\alpha} - \exp \left(-\frac{x-u}{\alpha} \right) \right]$$

El cuantil para período de retorno T es:

$$X_T = u - \alpha \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

Es sencilla y estable, pero su asimetría teórica es fija y puede no representar adecuadamente series con colas diferentes de la Gumbel.

18.2.3.4 Generalizada de Valores Extremos (GEV)

Usando la convención hidrológica con parámetro de forma ξ , escala $\sigma > 0$ y localización μ :

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}$$

con la condición:

$$1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) > 0$$

Para $\xi \neq 0$, el cuantil es:

$$X_T = \mu + \frac{\sigma}{\xi} \left\{ \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{-\xi} - 1 \right\}$$

Cuando $\xi \rightarrow 0$, la GEV converge a Gumbel.

Puede encontrarse la formulación en función de un parámetro $c = -\xi$.

18.2.3.5 Pearson tipo III

La Pearson III puede expresarse como una Gamma desplazada. Una forma general es:

$$f(x) = \frac{1}{|\beta|\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\frac{x-\gamma}{\beta}\right]$$

para valores de x compatibles con el signo de β , donde α es el parámetro de forma, β el de escala y γ el de posición.

En la formulación hidrológica por media, desviación estándar y asimetría, el cuantil se escribe normalmente como:

$$X_T = \bar{X} + K_T s_X$$

El factor de frecuencia K_T depende de la probabilidad y del coeficiente de asimetría.

18.2.3.6 Log-Pearson tipo III

Se define una variable transformada:

$$Y = \log_{10} X$$

Se supone que Y sigue una Pearson tipo III. El cuantil en el espacio logarítmico es:

$$Y_T = \bar{Y} + K_T s_Y$$

Y , al volver a la escala original:

$$X_T = 10^{Y_T}$$

Por tanto:

$$X_T = 10^{\bar{Y} + K_T s_Y}$$

Si se utiliza logaritmo natural en lugar de logaritmo decimal, la transformación inversa es $X_T = e^{Y_T}$.

18.2.3.7 SQRT-ET max

La SQRT-ET max (Square-Root Exponential Type Distribution of Maximum) es una distribución de dos parámetros desarrollada para máximos hidrológicos, especialmente precipitaciones máximas. También puede aplicarse a caudales máximos cuando su uso se justifica mediante ajuste y coherencia hidrológica.

Una formulación habitual de la función de distribución es:

$$F(x) = \exp[-k(1 + \sqrt{\alpha x})\exp(-\sqrt{\alpha x})], \quad x \geq 0$$

con parámetros:

$$\alpha > 0, \quad k > 0$$

La densidad para $x > 0$ es:

$$f(x) = \frac{k\alpha}{2} \exp(-\sqrt{\alpha x}) \exp[-k(1 + \sqrt{\alpha x})\exp(-\sqrt{\alpha x})]$$

Para obtener el cuantil, se plantea:

$$F(X_T) = 1 - \frac{1}{T}$$

Definiendo:

$$z = \sqrt{\alpha X_T}$$

se obtiene:

$$(1 + z)e^{-z} = -\frac{\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)}{k}$$

La solución puede expresarse mediante la rama -1 de la función de Lambert W :

$$z = -1 - W_{-1}\left[-\frac{1 - \ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)}{e k}\right]$$

Finalmente:

$$X_T = \frac{z^2}{\alpha}$$

La formulación presenta $F(0)=\exp(-k)$, por lo que matemáticamente existe una masa puntual en cero. Para series de máximos estrictamente positivos, normalmente esta masa es muy pequeña si k es suficientemente alto, pero debe revisarse.

18.2.4 Métodos de ajuste

Los métodos de ajuste de las distribuciones (funciones de probabilidad) persiguen obtener la combinación de parámetros que logre para la mejor representatividad de los valores teóricos.

18.2.4.1 Momentos ordinarios (MOM)

El método iguala momentos muestrales y teóricos: media, varianza y, cuando procede, asimetría. Es sencillo y transparente, pero sensible a valores extremos. Para aplicar MOM correctamente, los momentos se calculan directamente sobre los datos, sin usar Gringorten, Weibull u otras posiciones de trazado como pesos.

18.2.4.2 Máxima verosimilitud (MLE)

La máxima verosimilitud selecciona los parámetros que maximizan la probabilidad conjunta de la muestra:

$$\ell(\theta) = \sum \ln f(Q_i; \theta)$$

Es asintóticamente eficiente, pero puede ser inestable en series cortas o con parámetros de forma difíciles de identificar. En GEV debe comprobarse la validez del soporte y la estabilidad del parámetro ξ . En SQRT-ET max conviene optimizar $\log(a)$ y $\log(k)$, usar varios puntos iniciales y conservar la solución con mayor log-verosimilitud.

18.2.4.3 Momentos-L (LMOM)

Los momentos-L son combinaciones lineales de estadísticos ordenados. Resultan especialmente útiles en hidrología porque son menos sensibles a valores extremos y suelen estimar de forma más estable los parámetros de forma en muestras cortas.

$$L\text{-CV} = \tau = \lambda_2/\lambda_1; \quad L\text{-asimetría} = \tau_3 = \lambda_3/\lambda_2; \quad L\text{-curtosis} = \tau_4 = \lambda_4/\lambda_2$$

- GEV: se estiman localización, escala y forma a partir de λ_1 , λ_2 y τ_3 .
- Gumbel y Normal: bastan λ_1 y λ_2 .
- Pearson III: se emplean λ_1 , λ_2 y τ_3 .
- Log-Pearson III: los momentos-L se calculan en la escala logarítmica.
- SQRT-ET max: se igualan numéricamente λ_1 y λ_2 o su cociente.

18.2.4.4 PWM

En el método PWM (*Probability Weighted Moments* o momentos ponderados por probabilidad), los momentos muestrales insesgados se estiman mediante:

$$b_r = \frac{1}{n} \sum_{i=r+1}^n \frac{\binom{i-1}{r}}{\binom{n-1}{r}} x^{(i)}$$

Los momentos-L son combinaciones lineales de estos PWM:

$$\lambda_1 = b_0, \lambda_2 = 2b_1 - b_0, \lambda_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0$$

Por ello, un ajuste PWM basado en los estimadores insesgados producirá esencialmente el mismo resultado que un ajuste por momentos-L construido con esos mismos estimadores.

Esta opción no se ha implementado en el código, al entenderse que no aportaría al estar implementada la opción LMOM

18.2.4.5 Comparación práctica de métodos

La siguiente tabla expone de forma resumida una comparación de métodos de ajuste o de estimación de parámetros

Método	Ventajas	Limitaciones
MOM	Simple, interpretable y rápido	Sensible a extremos; forma inestable
PWM	Adecuado para extremos; formulación ordenada	Suele coincidir con LMOM si se transforma
LMOM	Robusto; muy usado en hidrología regional	Requiere formulaciones específicas
MLE	Eficiente con muestras largas; permite AIC/BIC	Convergencia y sensibilidad a iniciales

Tabla 21.- Comparativa de métodos de ajuste de distribuciones

18.2.5 Gráficos P-P y Q-Q

18.2.5.1 Gráfico P-P

El gráfico P-P compara la probabilidad empírica de no excedencia con la probabilidad teórica evaluada en cada valor observado.

Los puntos próximos a la diagonal $y=x$ indican coherencia probabilística. Este gráfico suele enfatizar la parte central de la distribución y puede disimular errores importantes en la cola superior.

18.2.5.2 Gráfico Q-Q

El gráfico Q-Q compara los cuantiles teóricos correspondientes a las posiciones empíricas con los valores observados.

- Puntos sobre la diagonal: ajuste adecuado.
- Puntos superiores a la diagonal: el modelo subestima los caudales observados.
- Puntos inferiores: el modelo sobreestima los cuantiles observados.
- Curvatura sistemática: forma o asimetría inadecuada.

- Desviación exclusiva en los últimos puntos: problema específico de cola.

Para avenidas máximas, el Q-Q suele ser más informativo que el P-P, ya que muestra los errores directamente en unidades de caudal y facilita examinar la esquina superior derecha.

18.2.6 Combinaciones de distribuciones y métodos de ajuste

El enfoque que ha condicionado la implementación de este módulo se basa en combinar métodos de ajuste, de estimación de parámetros, con diferentes funciones de distribución.

18.2.7 Comparación y selección del mejor ajuste

La selección debe combinar métricas globales, métricas de cola, inspección gráfica y plausibilidad (integridad) hidrológica. Ningún criterio aislado garantiza el mejor modelo para extrapolación.

18.2.7.1 Indicadores

Con la solución implementada se hace una valoración de los ajustes con los indicadores siguientes:

Indicador	Interpretación	Mejor valor
RMSE_Q	Raíz del error cuadrático medio entre los cuantiles observados y teóricos, expresada en unidades de la muestra. Penaliza especialmente los errores grandes.	Lo más cercano posible a 0
MAE_Q	Error absoluto medio entre muestra observados y cuantiles teóricos. Es más fácil de interpretar que el RMSE porque mantiene las unidades de la muestra.	Lo más cercano posible a 0
Sesgo_Q	Diferencia media entre muestra observados y teóricos. Un valor positivo indica subestimación del modelo; uno negativo, sobreestimación.	Lo más cercano posible a 0
RMSE_Q_rel	Raíz del error cuadrático medio relativo entre cuantiles observados y teóricos. Permite comparar series con distintas magnitudes.	Lo más cercano posible a 0
MAE_Q_rel	Error absoluto medio relativo entre cuantiles observados y teóricos. Puede expresarse como porcentaje multiplicando por 100.	Lo más cercano posible a 0
R2_QQ	Medida de correspondencia entre cuantiles observados y teóricos en el gráfico Q-Q. Valores altos indican mejor ajuste global.	Lo más cercano posible a 1
RMSE_P	Raíz del error cuadrático medio entre las probabilidades empíricas y las probabilidades teóricas.	Lo más cercano posible a 0

MAE_P	Error absoluto medio entre probabilidades empíricas y teóricas.	Lo más cercano posible a 0
KS	Estadístico de Kolmogorov–Smirnov: máxima diferencia absoluta entre la distribución empírica y la teórica.	Lo más cercano posible a 0
Cramer_von_Mises	Medida global de la distancia cuadrática entre la distribución empírica y la teórica. Considera todo el rango de probabilidades.	Lo más cercano posible a 0
Anderson_Darling	Estadístico de bondad de ajuste que da más peso a las colas de la distribución. Es especialmente útil en análisis de extremos.	Lo más cercano posible a 0
RMSE_cola	Raíz del error cuadrático medio calculada únicamente sobre los mayores muestra de la muestra. Evalúa el comportamiento en la cola superior.	Lo más cercano posible a 0
MAE_cola	Error absoluto medio de los mayores muestra de la muestra.	Lo más cercano posible a 0
Error_rel_cola	Error absoluto relativo medio en la cola superior. Permite medir el error de los máximos en términos porcentuales.	Lo más cercano posible a 0
Sesgo_cola	Diferencia media entre muestra observados y teóricos en la cola superior. Positivo implica subestimación; negativo, sobreestimación.	Lo más cercano posible a 0
Error_maximo_rel	Error relativo del mayor valor teórico respecto al mayor de los observados. Positivo indica sobreestimación del máximo y negativo subestimación.	Lo más cercano posible a 0

Tabla 22.- Indicadores de la calidad del ajuste

El sesgo de cola puede definirse como promedio de $Q_{observado} - Q_{teórico}$ en los m mayores valores. Por tanto:

- Sesgo de cola positivo: la distribución subestima los mayores caudales.
- Sesgo de cola negativo: la distribución sobreestima los mayores caudales.
- Sesgo próximo a cero: ausencia de desviación sistemática importante.

18.2.7.2 Ranking ponderado

Con una selección de indicadores y con una ponderación de éstos cabe elaborar un ranking que ayude en la selección del ajuste más apropiado.

La siguiente tabla presenta la selección y unos pesos propuestos que son configurables fácilmente en la aplicación.

Indicador	Peso
RMSE_Q	0.15
MAE_Q_rel	0.10
RMSE_P	0.05

KS	0.10
Anderson_Darling	0.15
RMSE_cola	0.25
Error_rel_cola	0.20

Tabla 23.- Indicadores y sus pesos para la elaboración del ranking

Esta propuesta asigna un 45 % a métricas específicas de cola. Los pesos deben adaptarse al objetivo del estudio.

18.2.7.3 Recomendaciones en la selección de distribución y tipo de ajuste

Con las posibilidades que ofrece esta aplicación, cabe analizar un número elevado de opciones para lograr el ajuste más apropiado. Aunque se ofrece un método automatizado basado en un ranking, se recomienda lo siguiente:

- No seleccionar únicamente la distribución con menor RMSE global.
- Comprobar el Q-Q en la esquina superior derecha.
- Revisar que no exista subestimación sistemática de máximos.
- Comparar la estabilidad de Q100, Q200 y Q500 entre métodos.
- Examinar parámetros de forma físicamente plausibles y numéricamente estables.
- Comprobar si la selección cambia al usar Gringorten, Cunnane, Weibull o Hazen.
- Una distribución puede considerarse robustamente seleccionada si queda bien posicionada con varios métodos de trazado y estimación, mantiene un comportamiento adecuado de cola y produce cuantiles coherentes con la hidrología regional.

18.2.8 Detalle sobre fundamentos. Expresiones de los momentos para ajustes hidrológicos

A modo de anexo, por la importancia que tienen en la implementación de la solución, se incluye este apartado con las expresiones de los momentos.

18.2.8.1 Esperanza matemática y varianza

Las siguientes expresiones generales sirven como punto de partida para obtener los momentos teóricos de una distribución. Se incluyen la forma discreta, la forma continua y, para variables hidrológicas positivas, la forma restringida al soporte $x \geq 0$.

Esperanza matemática

Para una variable aleatoria discreta:

$$E[X] = \sum_x x P(X = x)$$

Para una variable aleatoria continua con densidad $f_X(x)$:

$$E[X] = \int_{-\infty}^{\infty} x f_X(x) dx$$

Si la variable está definida únicamente para $x \geq 0$:

$$E[X] = \int_0^{\infty} x f_X(x) dx$$

Segundo momento no central

El segundo momento respecto al origen es:

$$\mu'_2 = E[X^2]$$

Para una variable continua:

$$E[X^2] = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f_X(x) dx$$

Para una variable positiva:

$$E[X^2] = \int_0^{\infty} x^2 f_X(x) dx$$

Varianza

La varianza se define como el segundo momento central:

$$Var[X] = E[(X - E[X])^2]$$

La expresión equivalente en términos de momentos no centrales es:

$$Var[X] = E[X^2] - (E[X])^2$$

Utilizando la notación de momentos respecto al origen:

$$\mu'_1 = E[X]$$

$$\mu'_2 = E[X^2]$$

$$Var[X] = \mu'_2 - (\mu'_1)^2$$

Para una variable continua positiva, puede escribirse directamente:

$$\text{Var}[X] = \int_0^{\infty} x^2 f_X(x) dx - \left[\int_0^{\infty} x f_X(x) dx \right]^2$$

Aplicación al ajuste por momentos

En el método de momentos, estas cantidades teóricas se igualan a sus equivalentes muestrales. Así, la media teórica $E[X]$ se iguala a la media muestral y la varianza teórica $\text{Var}[X]$ a la varianza muestral. Para distribuciones con un tercer parámetro de forma, puede añadirse la igualación de la asimetría teórica y muestral.

$$E[X] = \bar{x}$$

$$\text{Var}[X] = m_2$$

18.2.8.2 Momentos ordinarios

Momentos poblacionales respecto al origen

El momento de orden r respecto al origen se define como:

$$\mu'_r = E[X^r] \text{ (media)}$$

El primer momento respecto al origen es la media:

$$\mu = \mu'_1 = E[X]$$

Momentos centrales

El momento central de orden r es:

$$\mu_r = E[(X - \mu)^r]$$

En particular:

$$\mu_1 = 0$$

$$\mu_2 = \text{Var}(X) = \sigma^2$$

$$\sigma = \sqrt{\mu_2}$$

El coeficiente de asimetría poblacional es:

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}}$$

El coeficiente de curtosis estandarizado es:

$$\beta_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2}$$

El exceso de curtosis es:

$$\gamma_2 = \beta_2 - 3$$

El coeficiente de variación es:

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu}$$

18.2.8.3 Momentos muestrales ordinarios

Para una muestra $x_1, x_2, \dots, x_n$, la media muestral utilizada en el método de momentos es:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

El momento muestral respecto al origen de orden r es:

$$m'_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^r$$

El momento central muestral de orden r es:

$$m_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^r$$

La varianza usada para igualación de momentos ordinarios es:

$$m_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

La desviación típica correspondiente es:

$$s_m = \sqrt{m_2}$$

La asimetría por momentos ordinarios es:

$$g_1 = \frac{m_3}{m_2^{3/2}}$$

El coeficiente de variación muestral asociado es:

$$C_{v,m} = \frac{s_m}{\bar{x}}$$

Nota. En el método de momentos se han usado momentos muestrales con divisor n , porque se igualan directamente a los momentos teóricos de la distribución. Esto es distinto del estimador insesgado usual de la varianza con divisor $n - 1$.

18.2.8.4 Momentos ponderados por probabilidad (PWM)

Una forma habitual de los momentos ponderados por probabilidad es:

$$\beta_r = E[X F(X)^r]$$

o, en forma integral mediante la función cuantil $Q(p) = F^{-1}(p)$:

$$\beta_r = \int_0^1 Q(p) p^r dp$$

Para datos ordenados de menor a mayor,

$$x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)},$$

el estimador muestral insesgado empleado es:

$$b_r = \frac{1}{n} \sum_{i=r+1}^n \frac{\binom{i-1}{r}}{\binom{n-1}{r}} x_{(i)}$$

Los primeros PWM son:

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{(i)} = \bar{x}$$

$$b_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=2}^n \frac{i-1}{n-1} x_{(i)}$$

$$b_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=3}^n \frac{(i-1)(i-2)}{(n-1)(n-2)} x_{(i)}$$

18.2.8.5 Momentos-L

Los momentos-L pueden expresarse como combinaciones lineales de los PWM.

El primer momento-L es:

$$\lambda_1 = \beta_0$$

El segundo momento-L es:

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0$$

El tercer momento-L es:

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0$$

El cuarto momento-L es:

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0$$

En forma muestral:

$$l_1 = b_0$$

$$l_2 = 2b_1 - b_0$$

$$l_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0$$

$$l_4 = 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0$$

El L-coeficiente de variación es:

$$\tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

La L-asimetría es:

$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2}$$

La L-curtosis es:

$$\tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2}$$

18.2.8.6 Relación entre PWM y momentos-L

Para los estimadores muestrales utilizados:

$$\begin{aligned} l_1 &= b_0, \\ l_2 &= 2b_1 - b_0, \\ l_3 &= 6b_2 - 6b_1 + b_0, \\ l_4 &= 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0. \end{aligned}$$

Por esta razón, un ajuste denominado PWM que transforma b_r en momentos-L antes de estimar los parámetros puede coincidir numéricamente con un ajuste LMOM basado en los mismos estimadores insesgados.

18.2.8.7 Momentos de la variable logarítmica

Para distribuciones ajustadas en escala logarítmica se define, por ejemplo:

$$Y = \ln X$$

o, para Log-Pearson III con logaritmo decimal:

$$Y = \log_{10} X$$

La media logarítmica muestral es:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

La varianza por momentos en escala logarítmica es:

$$m_{2,Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$$

La desviación típica logarítmica es:

$$s_Y = \sqrt{m_{2,Y}}$$

La asimetría logarítmica por momentos es:

$$g_Y = \frac{m_{3,Y}}{m_{2,Y}^{3/2}}$$

18.2.8.8 Lognormal de dos parámetros por momentos

Si

$$\ln X \sim N(\mu, \sigma^2),$$

la media teórica de X es:

$$E[X] = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right)$$

La varianza teórica es:

$$\text{Var}(X) = (\exp(\sigma^2) - 1)\exp(2\mu + \sigma^2)$$

Igualando la media muestral m y la varianza muestral v con esos momentos, se obtiene:

$$\sigma^2 = \ln\left(1 + \frac{v}{m^2}\right)$$

$$\mu = \ln(m) - \frac{\sigma^2}{2}$$

En la parametrización de `scipy.stats.lognorm` de dos parámetros (usada en los desarrollos):

$$\text{loc} = 0, \quad \text{scale} = e^{\mu}, \quad s = \sigma$$

18.2.8.9 Gumbel: relaciones de momentos

Para una distribución de Gumbel de máximos con parámetros de localización u y escala α :

$$E[X] = u + \gamma\alpha$$

$$\text{Var}(X) = \frac{\pi^2}{6} \alpha^2$$

Por tanto:

$$\alpha = s_m \frac{\sqrt{6}}{\pi}$$

$$u = \bar{x} - \gamma\alpha$$

con $\gamma \approx 0.5772156649$.

18.2.8.10 Pearson tipo III por momentos

En una parametrización basada en media, desviación típica y asimetría, el ajuste por momentos iguala:

$$\mu_X = \bar{x}$$

$$\sigma_X = s_m$$

$$\gamma_{1,X} = g_1$$

Para Log-Pearson III, las mismas igualaciones se realizan sobre la variable transformada $Y = \log_{10} X$.

18.2.8.11 GEV por momentos ordinarios

En el ajuste por tres momentos ordinarios, el parámetro de forma se obtiene haciendo coincidir la asimetría teórica de la GEV con la asimetría muestral:

$$\gamma_{1,\text{GEV}}(\xi) = g_1$$

Una vez estimado ξ , la escala y la localización se obtienen igualando la desviación típica y la media:

$$\sigma_{\text{GEV}}(\xi, \sigma) = s_m$$

$$\mu_{\text{GEV}}(\xi, \mu, \sigma) = \bar{x}$$

En `scipy.stats.genextreme` se utiliza habitualmente el convenio:

$$c_{\text{SciPy}} = -\xi_{\text{hidrológico}}$$

18.2.8.12 SQRT-ET max: momentos ordinarios reducidos

Para la formulación

$$F(x) = \exp[-k(1 + \sqrt{\alpha x})\exp(-\sqrt{\alpha x})],$$

con el cambio

$$y = \sqrt{\alpha x},$$

puede definirse el momento reducido de orden r como:

$$I_r(k) = \int_0^\infty y^{2r} k y e^{-y} \exp[-k(1 + y)e^{-y}] dy$$

Entonces:

$$E[X^r] = \frac{I_r(k)}{\alpha^r}$$

En particular:

$$E[X] = \frac{I_1(k)}{\alpha}$$

$$E[X^2] = \frac{I_2(k)}{\alpha^2}$$

$$\text{Var}(X) = \frac{I_2(k) - I_1(k)^2}{\alpha^2}$$

El coeficiente de variación depende únicamente de k :

$$C_v(k) = \frac{\sqrt{I_2(k) - I_1(k)^2}}{I_1(k)}$$

Esto permite estimar primero k igualando el coeficiente de variación teórico y muestral, y después obtener α mediante la media.

18.2.8.13 SQRT-ET max: PWM y momentos-L

Los PWM teóricos pueden escribirse a partir del cuantil:

$$\beta_r(k, \alpha) = \int_0^1 Q(p; k, \alpha) p^r dp$$

Como la escala satisface

$$Q(p; k, \alpha) = \frac{Q(p; k, 1)}{\alpha},$$

se cumple:

$$\beta_r(k, \alpha) = \frac{\beta_r(k, 1)}{\alpha}$$

Por tanto, cocientes como

$$\frac{\beta_1}{\beta_0}$$

o el L-coeficiente de variación

$$\tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

dependen de k y no de α . Esto permite estimar primero k y después recuperar α mediante el primer momento o el primer momento-L.

18.3 Configuración de la aplicación

La aplicación sólo requiere la modificación de los pesos de los indicadores que se emplean en el ranking, lo que se puede hacer a través de un libro Excel.

18.4 Datos de entrada

El argumento principal para el uso del módulo es el nombre del archivo con los datos de las observaciones (valores máximos anuales). En principio, cabe usar una estructura tan simple como una secuencia de números en una fila. Pero el código también reconoce, de forma automática, el formato de archivo LEMA, en cuyo caso leerá los datos que corresponda.

Los archivos LEMA son el estándar de la base de datos hidrológica del CEDEX y del Ministerio para la Transición Ecológica, utilizado para codificar y almacenar series temporales de datos de estaciones de aforo, meteorológicas y de embalses. Su definición se encuentra en la documentación de la aplicación CHAC (<https://ceh.cedex.es/web/chac.htm>).

Obviamente, el uso por programación dentro de EDAPHI ofrece muchas otras formas de obtener los datos de entrada: datos remotos, archivos XLSX, bases de datos, etc.

18.5 Cálculos y resultados

El módulo realiza una combinatoria de cada distribución con los diferentes métodos de ajuste. Hace una valoración de cada ajuste, un ranking ponderado y una selección automática, que debe ser supervisada. En cualquier caso, ofrece toda la información necesaria para hacer la selección de forma manual teniendo en cuenta más criterios que los usados en el ranking.

En este apartado no se presentan imágenes de todos los gráficos, pues el módulo genera una combinatoria muy extensa.

18.5.1 Archivo MS-Excel con toda la información alfanumérica

Genera un archivo XLSX con toda la información alfanumérica:

- Definición de los indicadores
- Tabla de valoraciones con los indicadores
- Pesos usados para el ranking
- Datos válidos empleados
- Probabilidades empíricas
- Parámetros de ajuste por método y distribución
- Cuantiles por método de ajuste y distribución
- Indicadores por método de ajuste y distribución
- Ranking por método, por tipo de ajuste y completo (combinatoria método-distribución)
- Selección automática

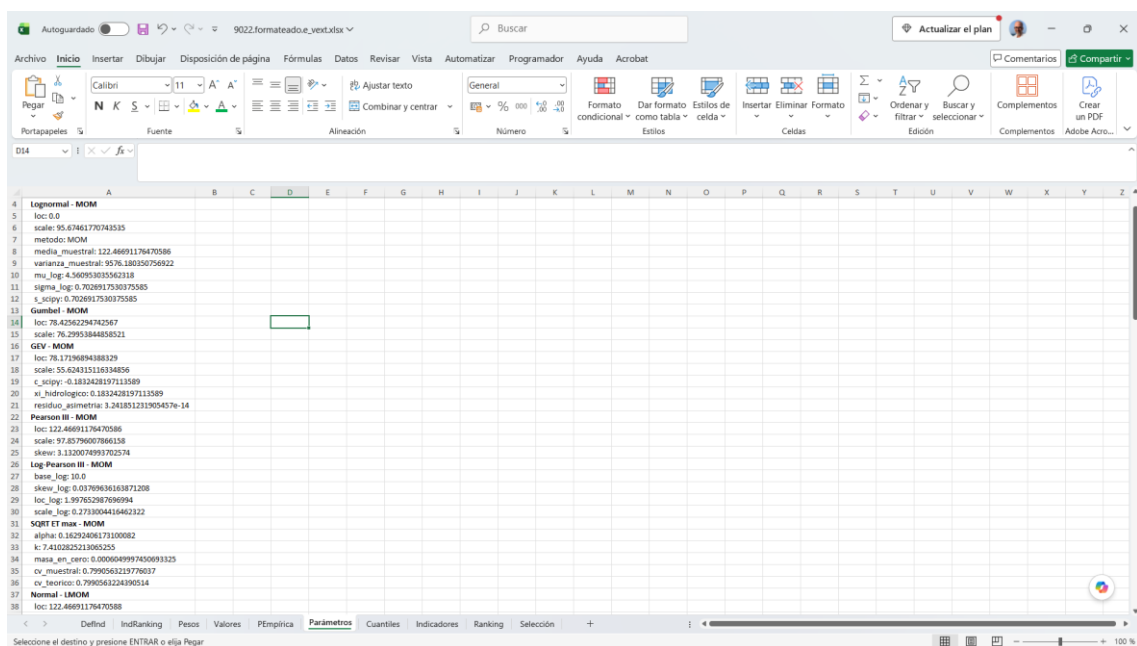


Figura 18-2.- Hoja con los parámetros de los ajustes

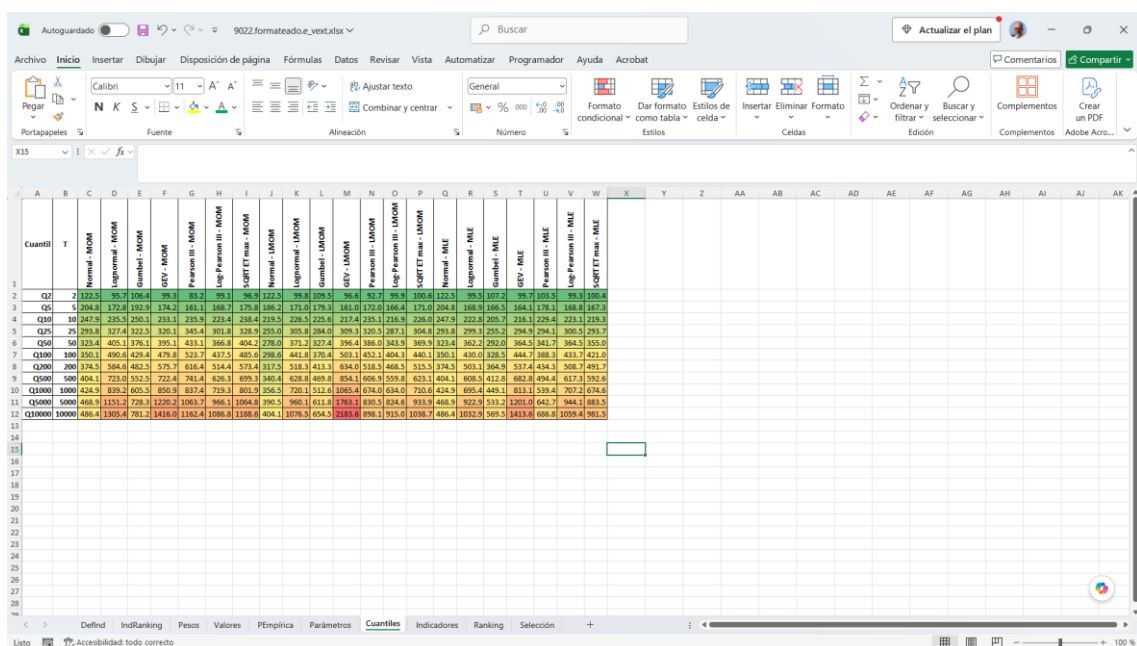


Figura 18-3.- Hoja con la tabla de cuantiles para cada combinación de distribución con métodos de ajuste

Indicador	Normal - MOM	Lognormal - MOM	Gumbel - MOM	EV - MOM	Pearson III - MOM	Log-Pearson III - MOM	Log-ET max - MOM	Normal - LMOM	Lognormal - LMOM	Gumbel - LMOM	EV - LMOM	Pearson III - LMOM	Log-Pearson III - LMOM	Log-ET max - LMOM	Normal - MLE	Lognormal - MLE	Gumbel - MLE	EV - MLE	Pearson III - MLE	Log-Pearson III - MLE	Log-ET max - MLE
1 RMSE_Q	59.36	38.89	42.46	30.10	28.00	33.10	30.16	57.17	32.85	43.50	25.80	32.69	37.08	33.02	59.36	34.01	48.17	31.98	40.35	33.56	34.95
2 MAE_Q	42.74	16.04	29.84	16.79	18.55	13.92	17.67	31.95	14.51	21.71	10.88	17.33	13.63	14.40	42.74	14.08	18.42	11.84	18.61	14.00	13.39
3 Seng_Q	0.00	1.23	0.54	1.28	1.17	2.02	1.11	0.00	0.97	0.43	2.01	0.84	3.62	0.93	0.00	2.18	4.61	2.68	0.55	2.09	2.43
4 RMSE_Q_rel	1.21	0.34	0.61	0.20	0.40	0.12	0.18	0.09	0.12	0.27	0.14	0.29	0.12	0.12	1.21	0.12	0.34	0.11	0.14	0.12	0.12
5 MAE_Q_rel	0.57	0.12	0.34	0.14	0.22	0.09	0.14	0.08	0.09	0.18	0.08	0.16	0.08	0.09	0.57	0.09	0.09	0.07	0.12	0.09	0.08
6 Seng_Q_rel	0.63	0.91	0.81	0.91	0.92	0.89	0.91	0.86	0.89	0.80	0.93	0.89	0.86	0.89	0.63	0.88	0.76	0.89	0.83	0.88	0.87
7 RMSE_P	0.12	0.05	0.08	0.05	0.09	0.03	0.06	0.10	0.04	0.08	0.03	0.05	0.03	0.04	0.12	0.03	0.04	0.03	0.05	0.03	0.03
8 MAE_P	0.10	0.05	0.08	0.04	0.07	0.03	0.05	0.09	0.03	0.05	0.02	0.05	0.03	0.03	0.10	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02
9 Seng_P	0.20	0.10	0.14	0.09	0.18	0.06	0.11	0.19	0.07	0.12	0.05	0.10	0.06	0.07	0.20	0.06	0.09	0.05	0.10	0.06	0.06
10 ES	0.90	0.20	0.49	0.18	0.52	0.08	0.23	0.66	0.09	0.24	0.05	0.20	0.06	0.09	0.90	0.08	0.11	0.05	0.17	0.08	0.06
11 Cramer_von_Mises	5.52	1.34	3.20	1.22	42.27	0.66	1.47	4.49	0.71	1.80	0.50	9.79	0.57	0.66	5.52	0.85	0.90	0.39	1.19	0.66	0.52
12 Anderson_Darling	103.45	61.35	81.03	63.50	54.11	72.03	61.32	115.45	71.29	92.23	56.08	69.56	81.05	71.68	103.45	74.05	105.10	69.94	86.88	73.05	76.33
13 RMSE_cola	80.22	48.93	68.09	49.70	42.09	49.21	51.55	70.12	50.64	61.28	37.27	53.17	49.91	50.60	80.22	49.95	55.80	44.17	60.33	49.58	49.14
14 MAE_cola	0.30	0.19	0.27	0.19	0.17	0.16	0.20	0.21	0.17	0.20	0.12	0.19	0.15	0.17	0.30	0.16	0.14	0.13	0.20	0.16	0.15
15 Seng_cola	-1.00	-8.06	-12.62	-4.87	-11.99	8.80	-9.90	29.22	5.50	15.35	5.24	-2.39	18.53	6.20	-1.08	10.25	37.43	13.82	10.17	9.54	14.22
16 Error_maximo_rel	-0.41	-0.14	-0.26	-0.16	-0.09	-0.24	-0.15	-0.49	-0.23	-0.36	-0.11	-0.22	-0.30	-0.23	-0.41	-0.25	-0.44	-0.22	-0.33	-0.25	-0.27
17 N_cola	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00

Figura 18-4.- Hoja con los indicadores de valoración de la combinatoria de distribuciones con métodos de ajuste

18.5.2 Combinatoria de gráficos

Se generan los gráficos que se mencionan en los apartados siguientes en una combinatoria que incluye:

- Para los ajustes y las distribuciones
 - Ajustes por método
 - Ajustes por distribución
 - Caso de una distribución y un ajuste
- Para los ranking:
 - Por método
 - Por distribución
 - Para todas combinaciones de método y distribución

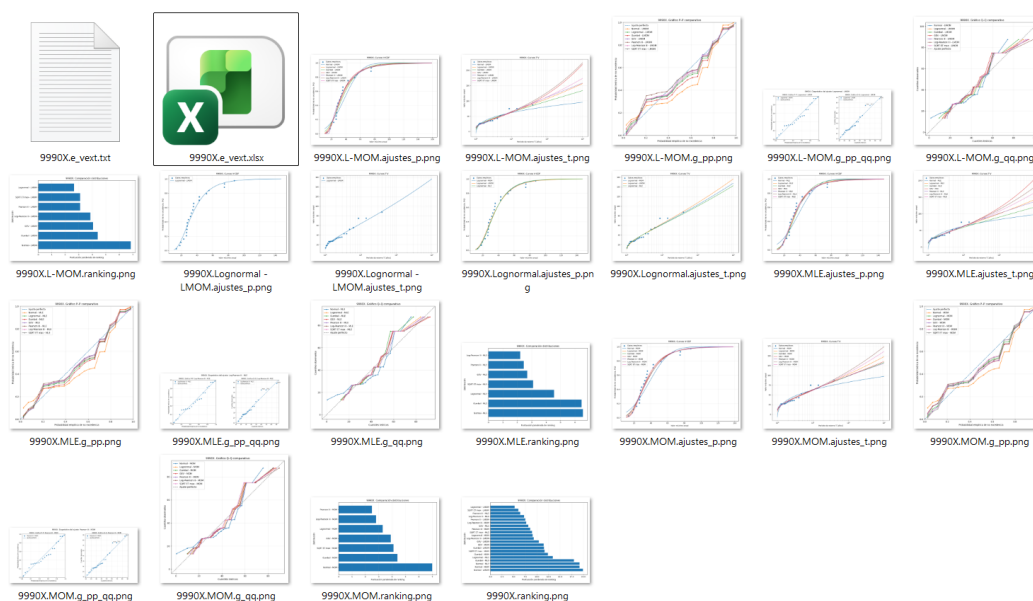


Figura 18-5.- Ejemplo de carpeta de resultados

18.5.3 Gráficos de ajustes P

Presenta gráficos de los resultados que facilitan la interpretación y la supervisión de los cálculos. Uno de ellos es el de los ajustes de distribución con abcisas y ordenadas dadas por el valor máximo anual y la probabilidad de excedencia.

Se incluyen los puntos de probabilidad empírica

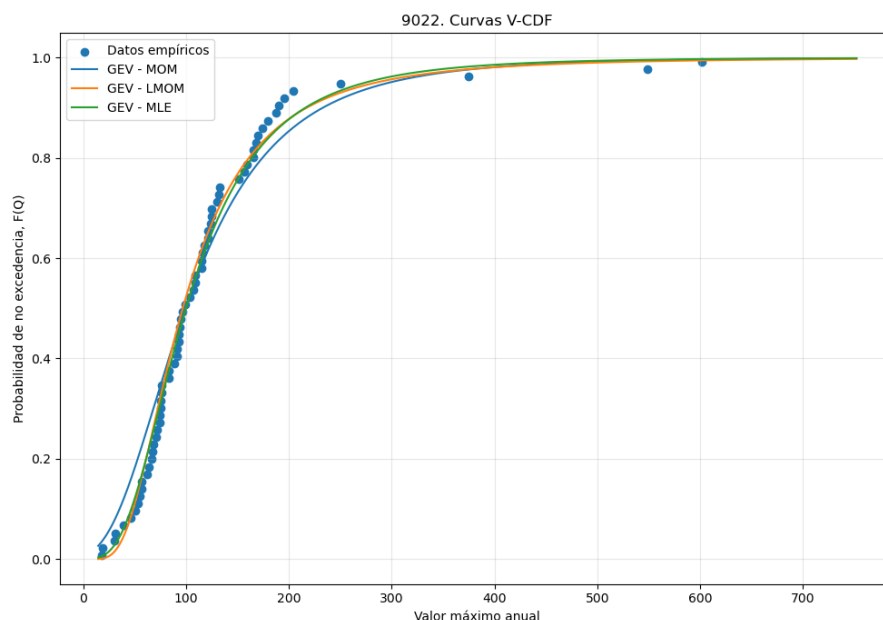


Figura 18-6.- Gráfico de ajuste P para la distribución GEV

18.5.4 Gráficos de ajustes T

Genera gráficos con las mismas posibilidades que los de ajustes P, pero usando escala logarítmica para las abscisas, en las que se representan los periodos de retorno, frente a los valores correspondientes que se presentan en las ordenadas.

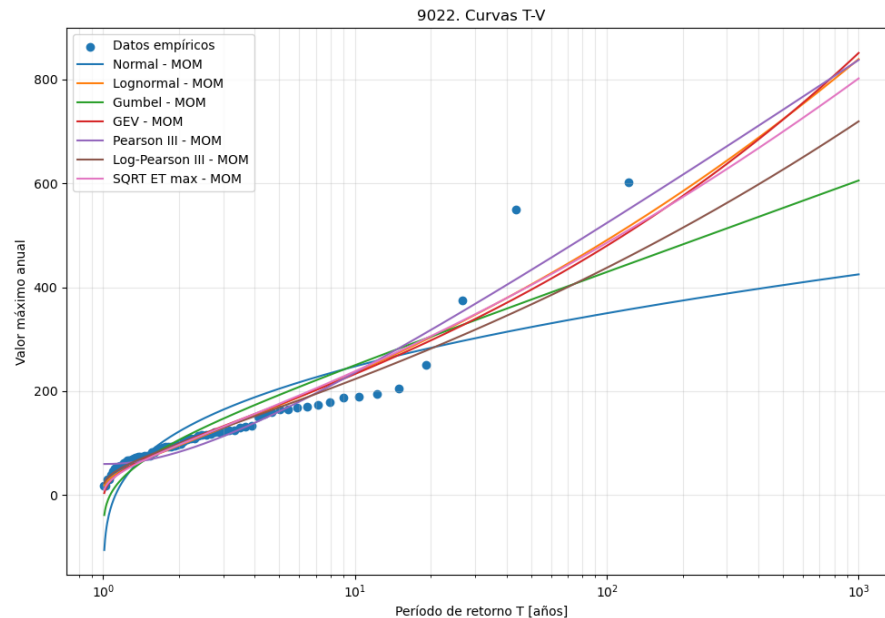
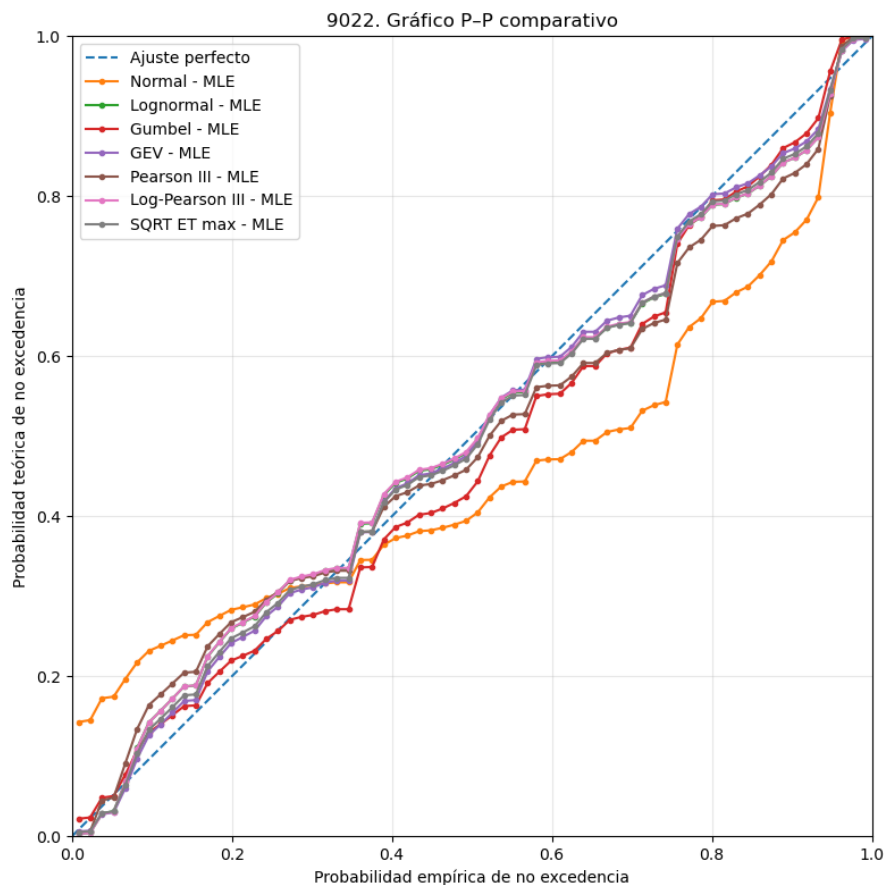


Figura 18-7.- Gráfico de ajuste T para el método de ajuste MOM

18.5.5 Gráficos P-P

Genera gráficos P-P para comparar las probabilidades teóricas (las dadas por cada distribución y ajuste) con las empíricas.



<Figura 18-8.- Gráfico P-P para el método de ajuste MLE

18.5.6 Gráfico Q-Q

Genera gráficos Q-Q para comparar los cuantiles teóricos (asociados a cada distribución y ajuste) con los observados.

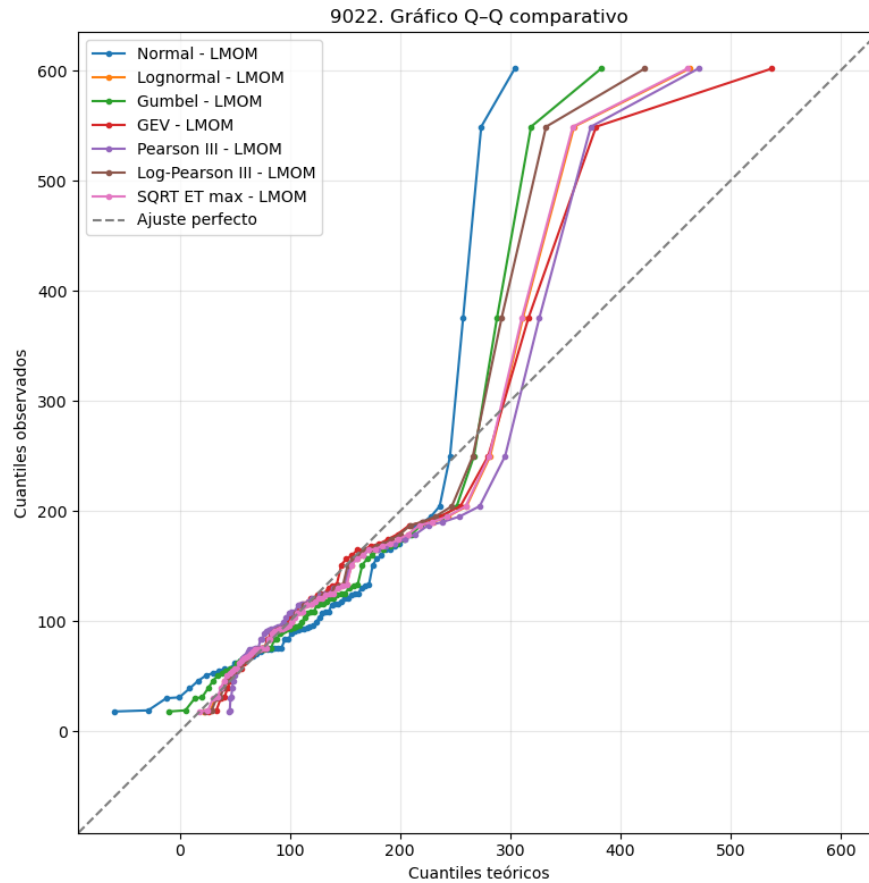


Figura 18-9.- Gráfico Q-Q para el método de ajuste LMOM

18.5.7 Gráfico compuesto P-P Q-Q

Para una de las combinaciones distribución-ajuste, la seleccionada, se presenta una imagen que compone dos gráficos (P-P y Q-Q).

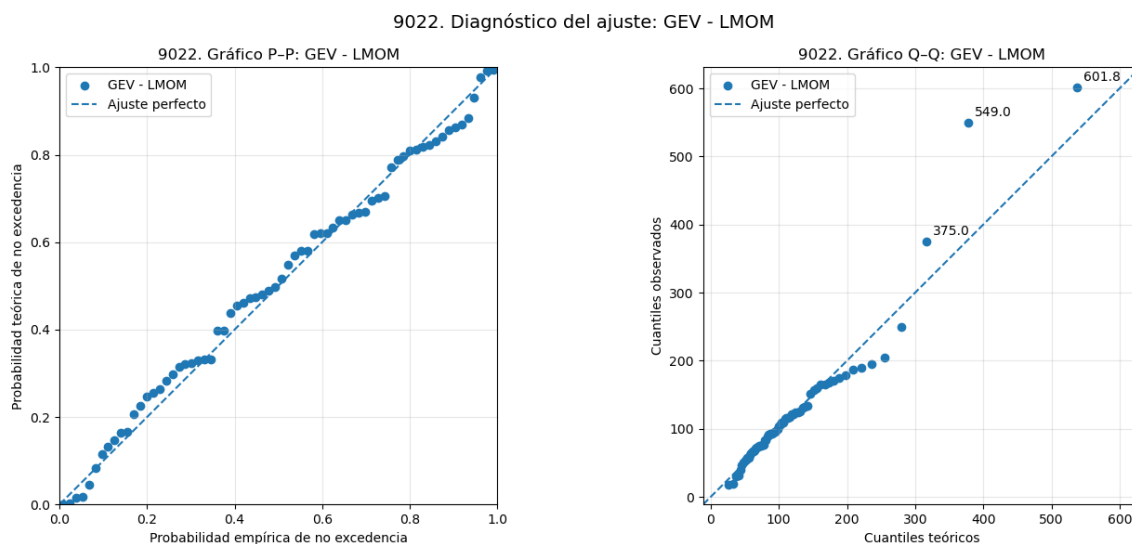


Figura 18-10.- Imagen de gráficos P-P y Q-Q para la combinación seleccionada

18.5.8 Gráfico de ranking

Los gráficos de ranking ilustran las valoraciones con la ponderación de cada combinación distribución-ajuste. Genera gráficos de ranking total o ranking parcial (por método o por ajuste).

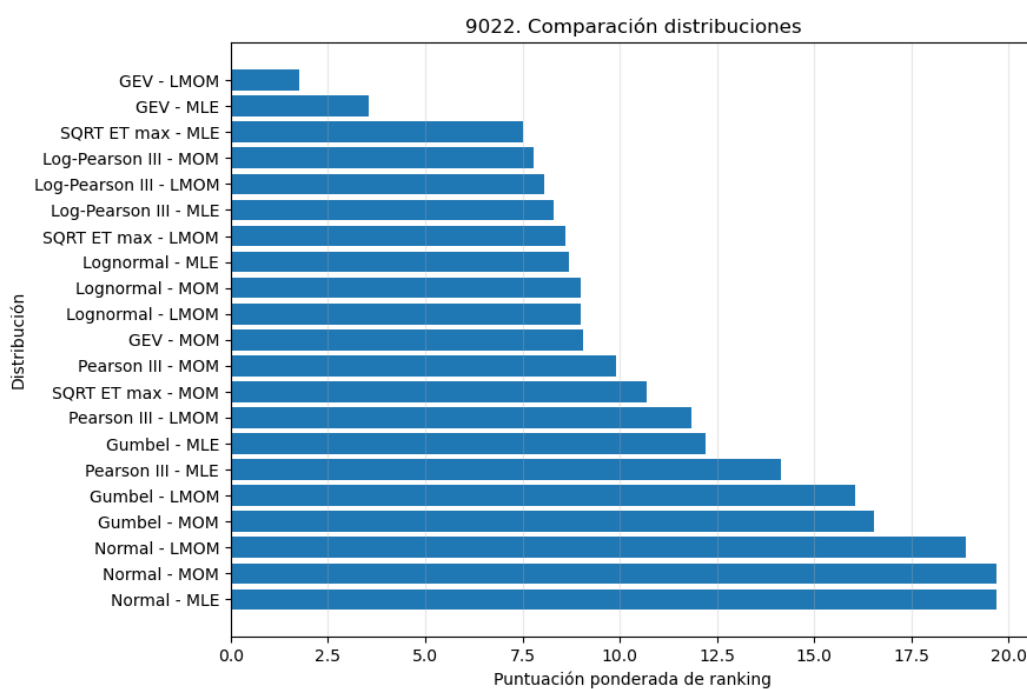


Figura 18-11.- Gráfico de ranking total

19 EDAPHI-EGrassPy3

En la versión anterior de EDAPHI, módulos como GHR (capítulo 24), MTG (capítulo 24.7), GCuencas (capítulo 16) o GMeteo (capítulo 11.4), se programaron con el Python de GIS-Grass, que en su día era una versión 2. Con ello, el código de estos módulos no estaba del todo integrado con el resto de los módulos. Posteriormente surgió una versión de Grass basada en Python 3. Fue el momento de cambiar el modo en cómo se realiza la conexión, en uso por comandos, pero, sobre todo en código, entre las dos plataformas. Por ello surgió la idea de EgrassPy3, como una interfase, tanto para código como para comandos, del Python de Grass para EDAPHI.

La versión de GCuencas que se presenta en este documento se reprogramó usando esta interfase, a la vez que se ampliaron sus funcionalidades.

El comando *egrass_py3* aparece en el listado de comandos comunes.

19.1 Configuración de un módulo que vaya a usar GIS-Grass

Una aplicación que tenga que usar GIS-Grass debe tener una subcarpeta *Grass* (con la base de datos GIS-Grass) en la carpeta de caso y un archivo *egrass.conf* cuyo contenido puede ser como el que sigue, en el que se usa la terminología habitual de GIS-Grass:

```
grassbat,C:\Program Files\GRASS GIS 8.3\grass83.bat
gisdbase,C:\edaphi\Segura\GCuencasV20\Cuencas2024\Grass
mapset,PERMANENT
location,Segura
```

Si no se encuentra dicho archivo, la instrucción *egrass_py3* devuelve el siguiente mensaje:

```
- No se encuentra el archivo egrass.conf
- No se ha declarado la variable de entorno GISBASE
- No se ha declarado la variable de entorno EDAPHI_GRASS
- No se ha declarado la variable de entorno EDAPHI_GRASS_LOCATION
- No se ha declarado la variable de entorno EDAPHI_GRASS_MAPSET

Interfase de la solución EGrass
Requiere una base de datos Grass y la definición de unas variables de
entorno o un archivo egrass.conf
Ver documentación de EGrassPy3
```

19.2 Comandos

Esta interfase es algo singular en cuanto a los comandos que ofrece. El mensaje directo de ayuda que ofrece es:

```

Comandos:
  -l: Listado de instrucciones (funciones o comandos)
  -hi: Ayuda de una instrucción
      Argumento:
          nombre de la instrucción
  -e: Ejecuta una instrucción
      -e comando_edaphi_grass
"arg_pos1|arg_pos2|arg1_nombre@=valor2|arg2_nombre@=valor2"
  @= sustituye a = en argumentos con nombre (clave-valor)
  Si se desea incluir el caracter | debe ir precedido de @.
Ejemplo sep='@|'
      Los resultados también usarán | como separador
Ejemplos:
  -l
  -hi color_tables
  -e r_list
  -e r_list "PERMANENT|p_*"
  -e geo_gms_to_dec "20|30|30"
  -e geo_gms_to_dec "s@=30|g@=20|m@=30"
  -e geo_dec_to_gms "20.5083333333"
  -e rc_acum "r1,r2,r2|resultado"
  -e v_fields "Cuencas_Puntos"
  -e v_xy "654049|4172541|cuencas_pfafstetter"
  -e v_recs "cuencas_pfafstetter|substr(PfafRio, 1, 7) = '2001428'
and pfafcuen >=2001428595"
  -e r_xy "MDT200|651577|4168092|-999.999"
  De forma general, pueden usarse comandos del tipo (argumentos con
  clave-valor
      -e read_command "g.region|flags@=p"
      -e read_command
"v.what|flags@=a|coordinates@=651577,4168092|map@=cuencas_pfafstetter"

```

Pero, a su vez, el comando `-l` ofrece un cierto número de comandos:

```

color_tables
dt_to_fmt_grass
env_grass
fmt_to_dt_grass
gen_png
gen_png_areal
geo_dec_to_gms
geo_gms_to_dec
geo_gms_to_gms_n
sew
mapset_change
r_cat_area
r_color_name
r_color_txt
r_copy
r_desc
r_exists
r_export_tiff
r_export_txt
r_import_txt
r_list
r_remove

```

```

r_remove_p
r_rename
r_xy
r_z_rect
rc_acum
rc_diff
rc_minmax
rc_tlineal
rc_zero_neg
read_command
run_command
t_exists
t_list
v_copy
v_exists
v_export_shp
v_fields
v_fields_type
v_fields_type_sq
l_nw
v_i_field
v_import
v_import_txt_p

```

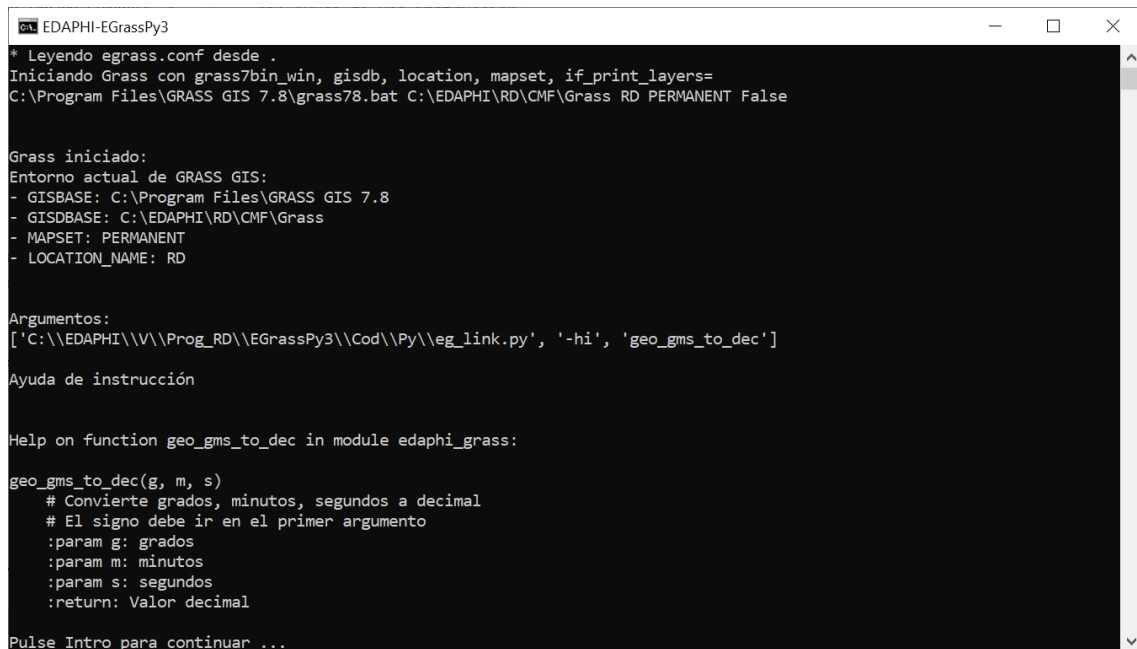
```

v_list
v_points_fromg
v_points_tog
v_recs
v_recs_all
v_recs_catsinfil
e
v_recs_update
v_remove
v_remove_p
v_xy
v_xy_p
vc_gen_parallel
vc_gen_sec
vc_intersect_l_l
vr_areal
vr_areal_conv
vr_profile
vr_v_to_r
vr_z_extremes

```

Los comandos pueden estar indicados por posición o por nombre. Se recomienda usar argumentos por nombre.

Si se escribe `egrass_py3 -hi geo_gms_to_dec`, surge una ventana emergente con la ayuda:



```

c:\EDAPHI-EGrassPy3
* Leyendo egrass.conf desde .
Iniciando Grass con grass7bin_win, gisdb, location, mapset, if_print_layers=
C:\Program Files\GRASS GIS 7.8\grass78.bat C:\EDAPHI\RD\CMF\Grass RD PERMANENT False

Grass iniciado:
Entorno actual de GRASS GIS:
- GISBASE: C:\Program Files\GRASS GIS 7.8
- GISDBASE: C:\EDAPHI\RD\CMF\Grass
- MAPSET: PERMANENT
- LOCATION_NAME: RD

Argumentos:
['C:\\EDAPHI\\V\\Prog_RD\\EGrassPy3\\Cod\\Py\\eg_link.py', '-hi', 'geo_gms_to_dec']

Ayuda de instrucción

Help on function geo_gms_to_dec in module edaphi_grass:

geo_gms_to_dec(g, m, s)
    # Convierte grados, minutos, segundos a decimal
    # El signo debe ir en el primer argumento
    :param g: grados
    :param m: minutos
    :param s: segundos
    :return: Valor decimal

Pulse Intro para continuar ...
  
```

Figura 19-1.- Ventana emergente de ayuda de un comando de `egrass_py3`

A la hora de usar el comando por nombres, se usará una sintaxis como la siguiente:

```
-e geo_gms_to_dec "s@=30|g@=20|m@=30"
```

En el ejemplo se aprecia que los argumentos se separan por "|", y que el nombre del valor se separa por "@=".

19.3 Uso de una carpeta Tmp

En la carpeta de caso tiene que existir una subcarpeta *Tmp*, algo habitual en varios módulos de EDAPHI, donde se almacenan archivos temporales. Este módulo genera dos archivos relacionados con el comando reciente, que puede ser útil en caso de un error al construir una instrucción. Uno de ellos es *egrass_in.csv*:

```

['C:\\EDAPHI\\V\\Prog_RD\\EGrassPy3\\Cod\\Py\\eg_link.py', '-e',
'geo_gms_to_dec', 's@=30|g@=20|m@=30']
Comando: -e
Instrucción: geo_gms_to_dec
Argumentos de posición []
Argumentos por nombre {'s': '30', 'g': '20', 'm': '30'}
  
```

Y otro está relacionado con la salida de resultados, *egrass_out.csv*:

20.50833333333333

19.4 Configuración de EGrassPy3

Este módulo no necesita más configuración que la que depende del módulo para el que hace interfase. Pero sí es necesario que exista la carpeta *EGrassPy3* dentro de la carpeta EDAPHI.

19.5 Instalación

Requiere la instalación de GIS-Grass 8.3.

20 EDAPHI-GCuenas. Caracterización y parametrización de cuencas y tramos de ríos

20.1 Introducción

Uno de los trabajos previos a la modelación es la caracterización de cuencas y tramos de ríos. Este tipo de tareas implicaba una gran parte del trabajo del hidrólogo, con un consumo alto de tiempo y de recursos.

En la actualidad, gracias a la información disponible y a herramientas como GCuenas, es posible realizar esos trabajos en tiempos mucho menores.

En concreto, esta utilidad funciona a partir de lugares de interés de la red hidrográfica, tales una estación de aforos o un embalse. Automáticamente, dada esa colección de puntos, esta aplicación dividirá el territorio en un conjunto de cuencas que drenan a ellos, acompañadas de sus tramos de ríos principales. Y calculará para ellos magnitudes de interés hidrológico (morfológicos, de parámetros de escorrentías, de propagación, estadísticas, ...).

La que se presenta aquí es la segunda versión de GCuenas, que sigue usando GIS-Grass pero a través de EGrassPy (ver capítulo 18). Su principal novedad es que es capaz de obtener las divisorias de subcuencas que drenan a puntos de interés, y la red hidrográfica, a partir de un MDT (modelo digital del terreno) o a partir de capas vectoriales de cuencas y ríos clasificados según Pfafstetter.

20.2 Funcionalidad de la aplicación

Las funcionalidades de la aplicación se resumen en lo siguiente

- Definición de cuencas y tramos principales de ríos conforme a la topología determinada por los puntos de interés (puntos de medida, por ejemplo)
 - Caracterización de cuencas
 - Superficies
 - Parámetros orográficos (altitud media, etc)
 - En función de la información cargada en la base de datos SIG:
 - Parámetros hidrológicos (número de curva, umbral de escorrentía, ...)
 - Estadísticos: precipitaciones asociadas a periodos de retorno
 - Otros
- Caracterización de tramos

- Perfil longitudinal, pendiente media y longitud

20.3 Datos de partida

La aplicación puede trabajar a partir de dos tipos de información básica, lo que da lugar a dos formas de trabajo y sus respectivas necesidades de datos:

a) Opción 1.- Análisis vectorial

i) Capas vectoriales

(1) Tramos de ríos de clasificados según Pfafstetter

(2) Subcuencas clasificadas según Pfafstetter

ii) MDT (modelo digital del terreno)

b) Opción 2.- Análisis ráster

- i) MDT con precisión suficiente para el uso de algoritmos de delimitación de subcuencas

En ambos casos, se debe definir y cargar en la base de datos GIS-Grass una capa de puntos: la de puntos de interés de drenaje de las cuencas.

El aspecto del archivo debe ser como el siguiente:

```
east|north|cat|id|desc|tipo
277428.400|2147080.600|0|E. Mao|Embalse Mao|Embalse
313719.283|2130052.674|1|EH Los Pilonos|Estación hidrométrica Los
Pilonos|Observación Q
316819.312|2136153.833|2|E. Bao|Embalse Bao|Embalse
319261.438|2138944.214|3|E. López Angostura|Embalse López
Angostura|Embalse
313318.309|2156343.132|4|Santiago de los Caballeros|Río Yaque del
Norte en Santiago de los Caballeros|Población
```

Aunque esa capa de puntos puede definirse directamente en GIS-Grass (ver el apartado 20.6 para conocer el nombre de esta capa de puntos).

Para el modo vectorial de trabajo, las subcuencas de la capa de partida deben tener un tamaño suficientemente pequeño como para que su agregación sea compatible con la precisión deseada para los resultados.

En el caso de uso en modo ráster, el MDT debe tener un tamaño de celda pequeño en comparación con el tamaño de las subcuencas que se desean obtener y, quizás más importante, debe tener asegurada una precisión en cota compatible con las pendientes del área de trabajo. La principal dificultad en el trazado de divisorias y red hidrográfica suele estar en la precisión vertical del MDT.

El resto de la información es opcional, según disponibilidad de información e interés en los resultados

Este módulo se ha aplicado en dos casos, trabajando en cada uno de ellos en modos distintos (vectorial y ráster). A continuación, se describen los datos de partida para cada caso.

20.3.1 Caso de la cuenca del Segura. Modo vectorial

En el caso español, aplicado a la cuenca del río Segura, la aplicación se usó en modo vectorial (con ríos y subcuencas con clasificación Pfafstetter).

Se preconfiguró a partir de las siguientes capas públicas de información:

- Tramos de ríos de España clasificados según Pfafstetter modificado (fuente 1)
- Subcuencas de ríos completos clasificadas según Pfafstetter modificado (fuente 1)
- Capas de Caumax (fuente 2):
 - Umbral de escorrentía P0
 - Precipitaciones asociadas a períodos de retorno: t2, t5 , t10, t25, t100 y t500
- Modelo Digital del Terreno - MDT200 (fuente 3)

Las fuentes son:

- Fuente 1: MAPAMA 2018 / Ministerio para la transición ecológica
 - <http://www.mapama.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/default.aspx>
- Fuente 2: MAPAMA 2018 / Ministerio para la transición ecológica. Mapa de caudales máximos en régimen natural
 - <http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/Mapa-de-caudales-maximos>
- Fuente 2: Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica
 - <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

Los datos se cargaron en una base de datos Grass, situada en la correspondiente subcarpeta. Después, se han generado otras capas conforme a lo siguiente (ver también metadatos en las capas de Grass):

20.3.1.1 Máxima infiltración S

Para ello se usó el comando Grass:

```
r.mapcalc expression=s = p0@PERMANENT / 0.2
```

Previamente, la capa P0 se modificó con una disminución del tamaño de celda:

```
r.resamp.interp input=p0_caumax@PERMANENT output=p0
```

20.3.1.2 Número de curva NC

La capa número de curva resultó de la operación dada por el comando Grass:

```
r.mapcalc expression=NC = 1000.0 / ( ( s@PERMANENT / 25.4 ) + 10.0 )
```

20.3.2 Caso de la cuenca del río Albaida. Modo ráster de alta resolución

Este módulo se ha usado también en una experiencia piloto en la cuenca del Júcar, más concretamente en la del río Albaida.

En este caso se hicieron comprobaciones con distintas fuentes de información, a distintas escalas y usando tanto el modo vectorial como el ráster. Finalmente se optó por los resultados del método ráster obtenidos a partir del parte de un MDT de resolución alta, el MDT25 (celda de 25 metros) descargada del Centro de Descargas (<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas>) del CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica).

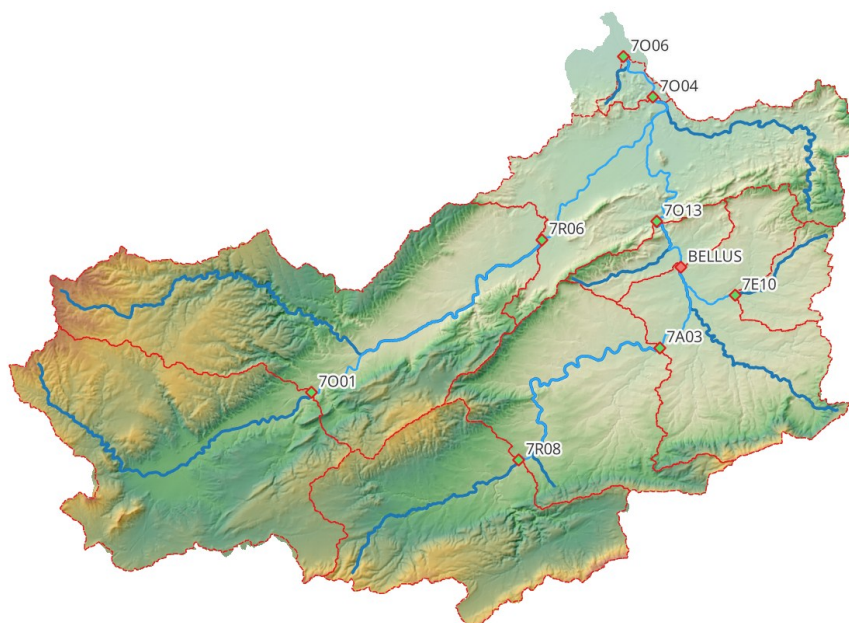


Figura 20-1.- División en subcuencas y tramos realizados con GCuencas según enfoque matricial a partir de un MDT de celda de 25 metros. Tramos principales en color azul oscuro y de conexión (transporte) entre puntos en color más claro.

Una ventaja de trabajar en modo ráster, con MDT de detalle, es que facilita obtener perfiles longitudinales de los ríos útiles para la caracterización de tramos

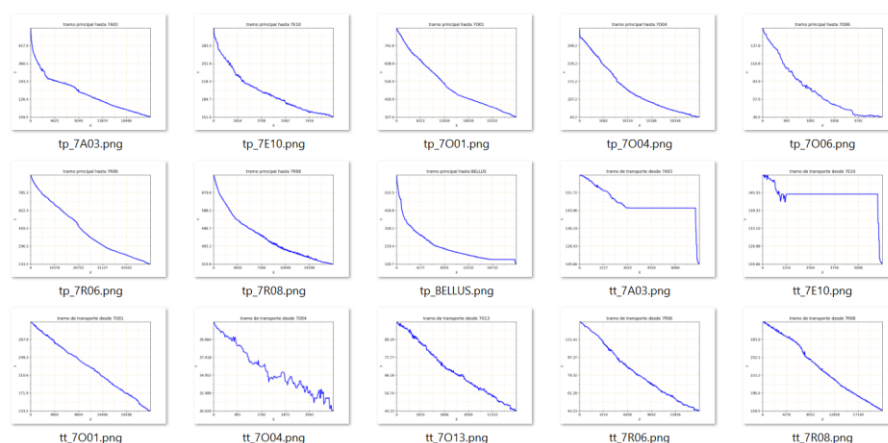


Figura 20-2.- Perfiles longitudinales obtenidos por el método matricial

Se usaron las mismas fuentes que en el caso de la cuenca del río Segura para la caracterización de cuencas.

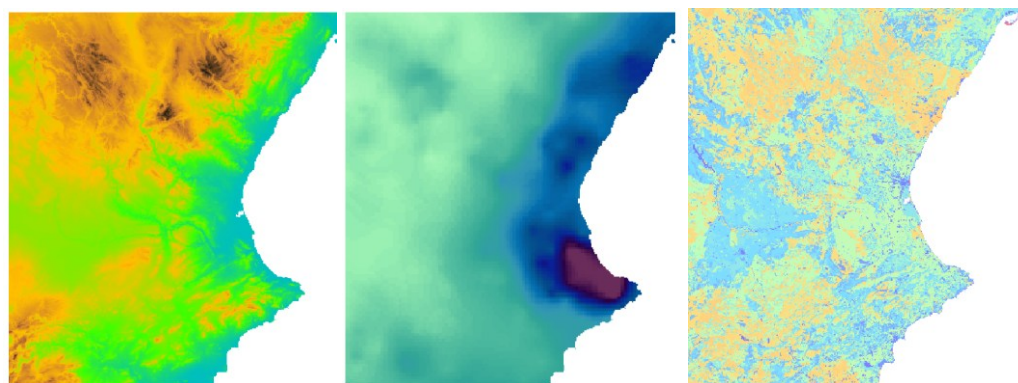


Figura 20-3.- Algunas capas de interés procedentes de la aplicación CAUMAX: MDT500, P_T500 (lluvia de periodo de retorno de 500 años) y parámetro P0

20.3.3 Caso República Dominicana. Modo ráster con capas globales

En este caso, se usó el módulo en modo ráster, realizando las operaciones básicas de definición de subcuencas a partir del MDT

- Modelo digital del terreno
 - MDT-STRM.
 - Información en: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1-arc?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
 - Descarga desde: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Números de curva
 - Archivos GCN (números de curva globales)

- Origen:
https://figshare.com/articles/GCN250_global_curve_number_datasets_for_hydrologic_modeling_and_design/7756202
- Información en: Jaafar, H.H., Ahmad, F.A. & El Beyrouthy, N. GCN250, new global gridded curve numbers for hydrologic modeling and design. Sci Data 6, 145 (2019).
<https://doi.org/10.1038/s41597-019-0155-x>
- Ver también en <https://www.nature.com/articles/s41597-019-0155-x>

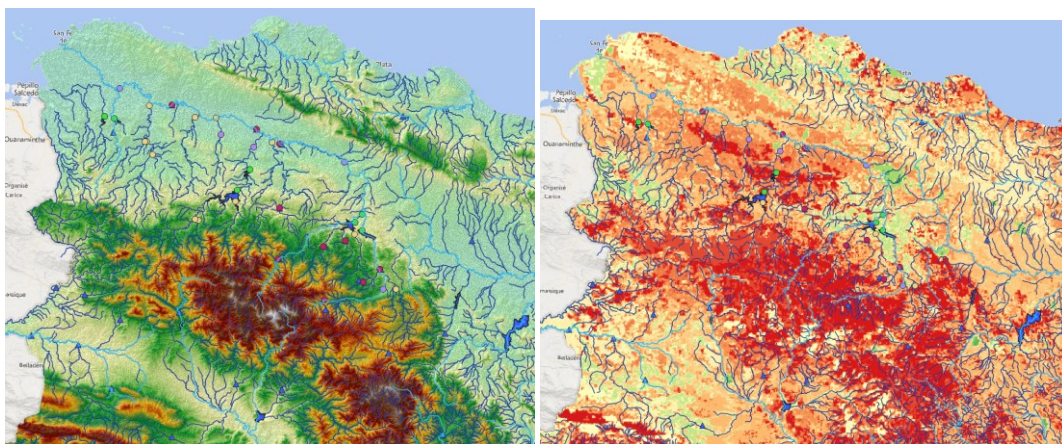


Figura 20-4.- Superposición de información existente para el empleo de GCuencas en la cuenca de Yaque del Norte (República Dominicana).

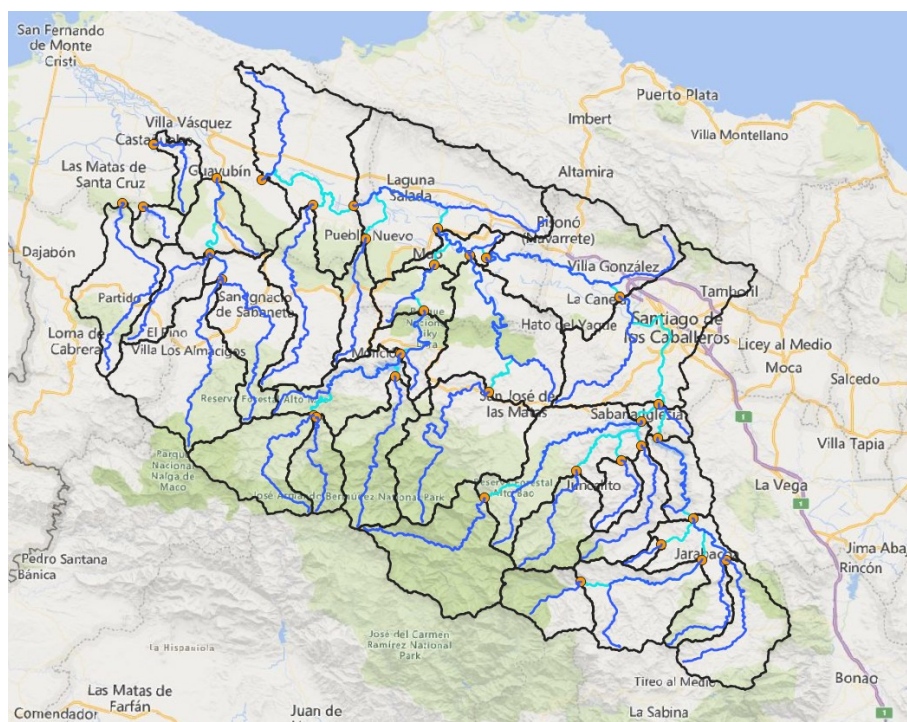


Figura 20-5.- Subcuencas y tramos resultantes en el caso de la cuenca de Yaque del Norte en República Dominicana

20.4 Configuración

GCuencas se configura con un archivo de nombre fijo *gcuencas_conf.xlsx*, el cual presenta pocos parámetros de configuración:

En caso de que se use en modo vectorial (ejemplo del caso español), se puede configurar de modo análogo al ejemplo de la figura siguiente:

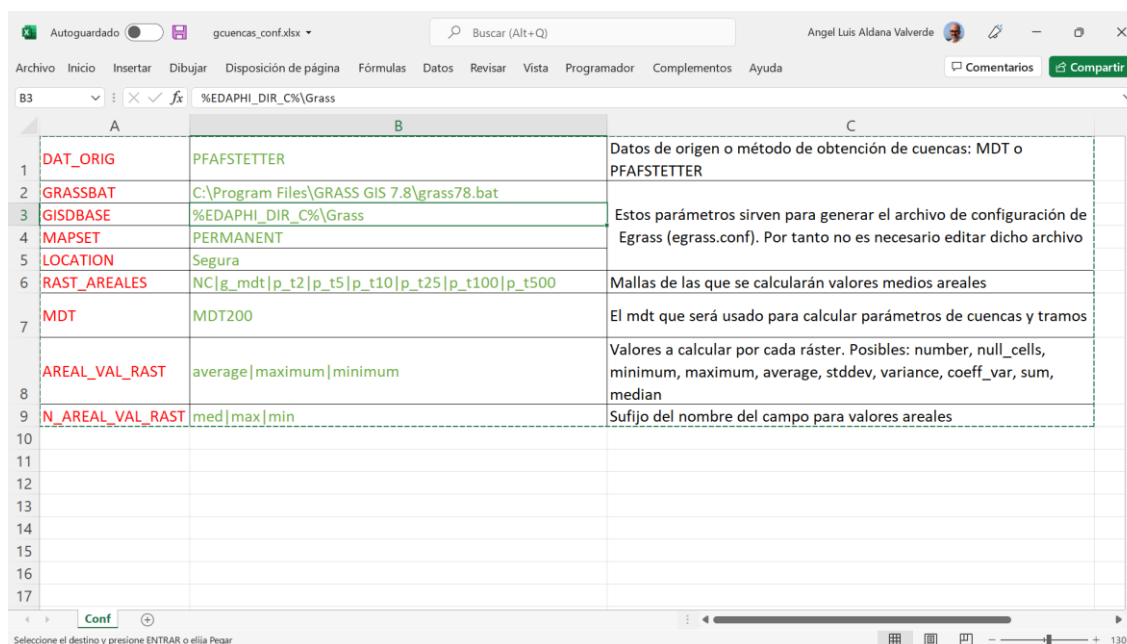


Figura 20-6.- Configuración de GCuencas para el modo vectorial

Mientras que, si se van a realizar todas las operaciones básicas desde un MDT, la configuración sería como la siguiente:

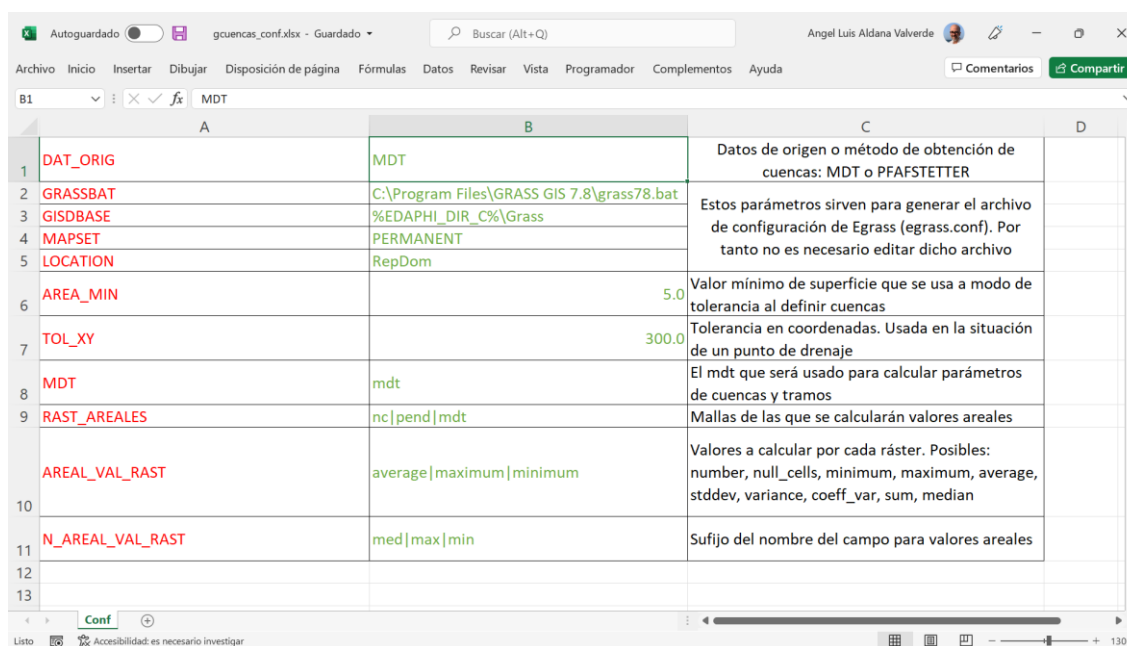


Figura 20-7.- Configuración de GCuencas para el modo ráster

En ambos casos, como este módulo usa EGrassPy3, será necesario un archivo *egress.conf* en la carpeta de caso, con contenido como el siguiente (para un caso de aplicación almacenado en C:\EDAPHI\RD\GCuencasV20\YaqueNorte):

```
grassbat,C:\Program Files\GRASS GIS 7.8\grass78.bat
gisdbase,C:\EDAPHI\RD\GCuencasV20\YaqueNorte\Grass
mapset,PERMANENT
```

location,RepDom

20.5 Comandos

Según el modo de trabajo, el cual se indica en una línea de la hoja *Conf* del archivo *gcuencas_conf.xlsx*, el módulo ofrecerá dos opciones de listas de comandos.

DAT_ORIG	PFAFSTETTER	Datos de origen o método de obtención de cuencas: MDT o PFAFSTETTER
----------	-------------	---

Nota: Aparecen distintas opciones de comandos según se configure la aplicación. Por lo tanto, el primer paso es el de definir el archivo gcuencas_conf.xlsx

20.5.1 Comandos en modo vectorial

La orden `ed_cmd gcuencas` proporciona la información siguiente:

```
Comandos generales:
  -conf: Lee y establece la configuración y muestra los resultados
  -p_xy_a: Se pasan las últimas coordenadas de -basin_xy_ a una capa
de puntos
      cat=: Valor cat de la entidad a modificar
  -nvp_tog: Carga un archivo de puntos a Grass
      n_arch=: Nombre del archivo
  -nvp_tos: Exporta desde Grass la capa de puntos en formato SHP a
Res\Shp
  -l_archs: Listado de capas y archivos
  -grf_pl: Gráfico de perfil longitudinal
      /s_all: Almacena los gráficos de todos los perfiles en
Res\Grf
      Sin argumentos funcionará en modo interactivo
mostrando una ventana
Comandos para método basado en condificación Pfasftetter:
  -basin_xy_p: Indica los datos Pfafstetter de la cuenca que incluye
el punto x, y
      x=: coordenada x
      y=: coordenada y
  -list_up_basins: Muestra la selección de cuencas aguas arriba
      pfafrio=: Código Pfafstetter del río
      pfafcuen=: Código Pfafstetter de la cuenca
  -list_up_reaches: Muestra la selección de ríos aguas arriba
      pfafrio=: Código Pfafstetter del río
      pfafcuen=: Código Pfafstetter de la cuenca
  -list_down_reaches: Muestra la selección de ríos aguas abajo
      pfafrio=: Código Pfafstetter del río
      pfafcuen=: Código Pfafstetter de la cuenca
  -list_down_basins: Muestra la selección de cuencas aguas abajo
      pfafrio=: Código Pfafstetter del río
      pfafcuen=: Código Pfafstetter de la cuenca
  -basin_up_xy_p: Define la cuenca total que drena al punto x, y
      x=: coordenada x
      y=: coordenada y
      nom_vec=: nombre del polígono resultante. Por defecto
(recomendado): cuenca_xy_p
  -reach_down_xy_p: Define el tramo aguas abajo del punto x, y
      x=: coordenada x
      y=: coordenada y
      nom_vec=: nombre de la línea resultante. Por defecto
(recomendado): tramo_xy_p
```



```

-basins_vp_comp_p: Define las cuencas totales que drenan a puntos
(x, y) definidos en un CSV
    /no_shp: Si NO se desea generar archivos shp
-basins_vp_p: Define las cuencas, creando una partición, que drenan
a puntos
    /no_shp: Si NO se desea generar archivos shp
-basins_attr_p: Calcula las propiedades de las cuencas generadas
con -basin_vp_p
-reaches_m_p: Genera los tramos principales de cada cuenca generada
con basin_part_xy_csv
    /no_shp: Si NO se desea generar archivos shp
-reaches_attr_p: Obtiene las características de los tramos
principales
-all_vp_p: Cuencas según partición con sus tramos principales y
atributos de ambos
    /no_shp: Si NO se desea generar archivos shp
Los argumentos de coordenadas también pueden indicarse del modo
coords=246683.5,2163328.7
Puede ser conveniente el uso de los comandos de ayuda específica
(los muestra la instrucción comandos)

```

El comando que tiene mayor utilidad es `-cuencas_csv_part` que se emplea para generar una capa de subcuencas que drenan a puntos dato, de tal modo que se crean particiones: cuando un punto está dentro de la cuenca que drenan a otro (situado, por tanto, aguas abajo), se descuenta de la cuenca de este último el área drenante al punto aguas arriba.

El comando `-cuencas_csv_comp` ofrece como resultado las cuencas completas que drenan a cada punto. Cabe, por tanto, la posibilidad de que haya superposiciones de áreas.

Para ambos comandos hay que preparar un archivo CSV, cuyo nombre será argumento, y cuyo contenido será análogo al siguiente:

ID	Descripcion	XETRS89	YETRS89
05A02	Marco de Control en la Escarihuela-Rbla Charcones	613333	4149505
05A03	Marco de Control en Pulpí - Rbla Charcones	611159	4141798
05A04	Marco de Control en Rambla del Pinar	609409	4136938
05A05	Marco de Control en Rambla de Guazamara	607810	4134042
05A06	Marco de Control en Rambla las Gachas	608299	4132149
05A07	Marco de Control en Rambla Canalejas (Los Lobos)	609367	4129960
06A01	Marco de Control en La Puebla - Rbla Albuji3n	683680	4176662
06A02	Marco de Control en Pozo Estrecho - Rbla Albuji3n	677961	4176904
06A03	Marco de control en Rambla del Albuji3n	671928	4176679
06A04	Marco de Control en El Estrecho - Rbla Albuji3n	666478	4176907
06A05	Marco de Control en Fuente lamo - Rbla Albuji3n	660977	4176639
06A06	Marco de Control en Los Cegarras - Rbla de la Murta	663344	4179947

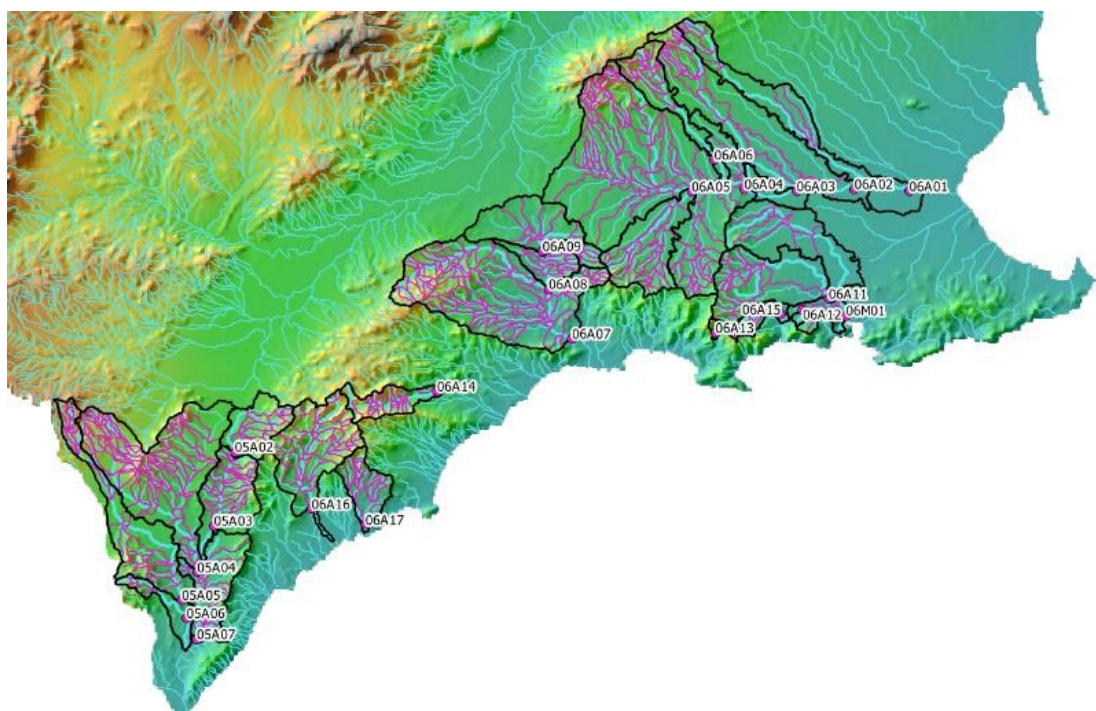


Figura 20-8.- Resultado del comando `cuenclas_csv_part` que da lugar a subcuencas que forma una partición

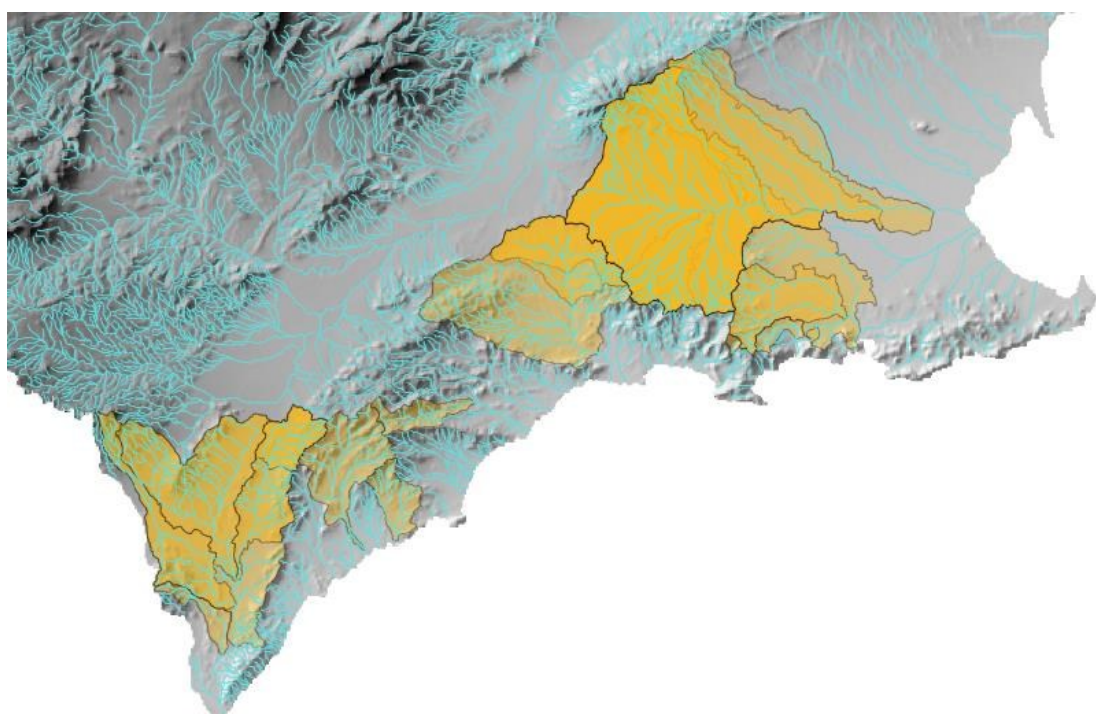


Figura 20-9.- Resultado del comando `cuenclas_csv_comp` que genera las subcuencas completas que drenan a cada punto dato

Debe tenerse en cuenta que las subcuencas resultado se obtienen por agregación de las subcuencas de pequeño tamaño contenida en la capa fuente. Por tanto, el punto de drenaje no será exactamente el punto dato, pero la diferencia en área será, generalmente, menor. Siempre cabe la posibilidad de modificar manualmente el extremo aguas abajo de las subcuencas

20.5.2 Comandos en modo ráster

Si se va a usar la aplicación en modo ráster, a partir del DMT, al escribir `gcuenca` aparece lo siguiente:

```
Comandos generales:
  -conf: Lee y establece la configuración y muestra los resultados
  -p_xy_a: Se pasan las últimas coordenadas de -basin_xy_ a una capa
de puntos
      cat=: Valor cat de la entidad a modificar
  -nvp_tog: Carga un archivo de puntos a Grass
      n_arch=: Nombre del archivo
  -nvp_tos: Exporta desde Grass la capa de puntos en formato SHP a
Res\Shp
  -l_archs: Listado de capas y archivos
  -grf_pl: Gráfico de perfil longitudinal
      /s_all: Almacena los gráficos de todos los perfiles en
Res\Grf
      Sin argumentos funcionará en modo interactivo
mostrando una ventana
Comandos para método basado en MDT:
  -basin_xy_r: Cuenca aguas arriba de unas coordenadas
      x=: coordenada x
      y=: coordenada y
      /no_re_xy: Si no se desea usar la tolerancia en coordenadas
  -basins_vp_r: Cuencas que drenan a una capa de puntos
      ip_ini=: Si se desea continuar el proceso anterior de
obtención de cuencas
      /no_re_xy: Si no se desea usar la tolerancia en coordenadas
      /no_shp: Si NO se desea generar archivos shp
  -basins_to_v: Genera el archivo vectorial de cuencas a partir del
raster y la capa de puntos
      /no_shp: Si NO se desea generar archivos shp
  -basins_attr_r: Calcula las propiedades de las cuencas generadas
con -basin_vp_r
      /no_shp: Si NO se desea generar archivos shp
  -reach_down_xy_r: Tramo aguas abajo de unas coordenadas
      x=: coordenada x
      y=: coordenada y
  -reaches_m_r: Obtiene los tramos principales de las cuencas.
Requiere la capa de puntos p_trm_p
      /no_shp: Si NO se desea generar archivos shp
  -reaches_t_r: Obtiene los tramos de transporte entre puntos
      /no_shp: Si NO se desea generar archivos shp
  -reaches_attr_r: Obtiene las características de los tramos
principales y de transporte
  -n_mdt: Obtiene las capas básicas a partir del MDT
      /threshold: Umbral en acumulaciones (ver ayuda del comando
Grass r.watershed)
  Los argumentos de coordenadas también pueden indicarse del modo
coords=246683.5,2163328.7
  Puede ser conveniente el uso de los comandos de ayuda específica (los
muestra la instrucción comandos)

Ejemplos:
  -nvp_tog n_arch=Puntos_YN.txt
  -basin_xy_r coords=246683.5,2163328.7
  -basins_vp_r
  -basins_to_v
  -basins_attr_r
```



```
-reaches_m_r
-reaches_t_r
-all_vp_r
```

20.5.3 Ejemplo de interacción con Grass

Aunque la mayoría de los comandos están diseñados para trabajar a partir de un conjunto de puntos datos, también se puede operar con puntos, por coordenadas, de forma interactiva con Grass.

Para este ejemplo puede resultar útil el entorno de trabajo de GIS-Grass denominado *cuenca_rio_xy* situado en la carpeta *Sig*.

El primer paso puede ser solicitar las coordenadas en la ventana. Lo que puede hacerse con el botón derecho sobre el mapa.

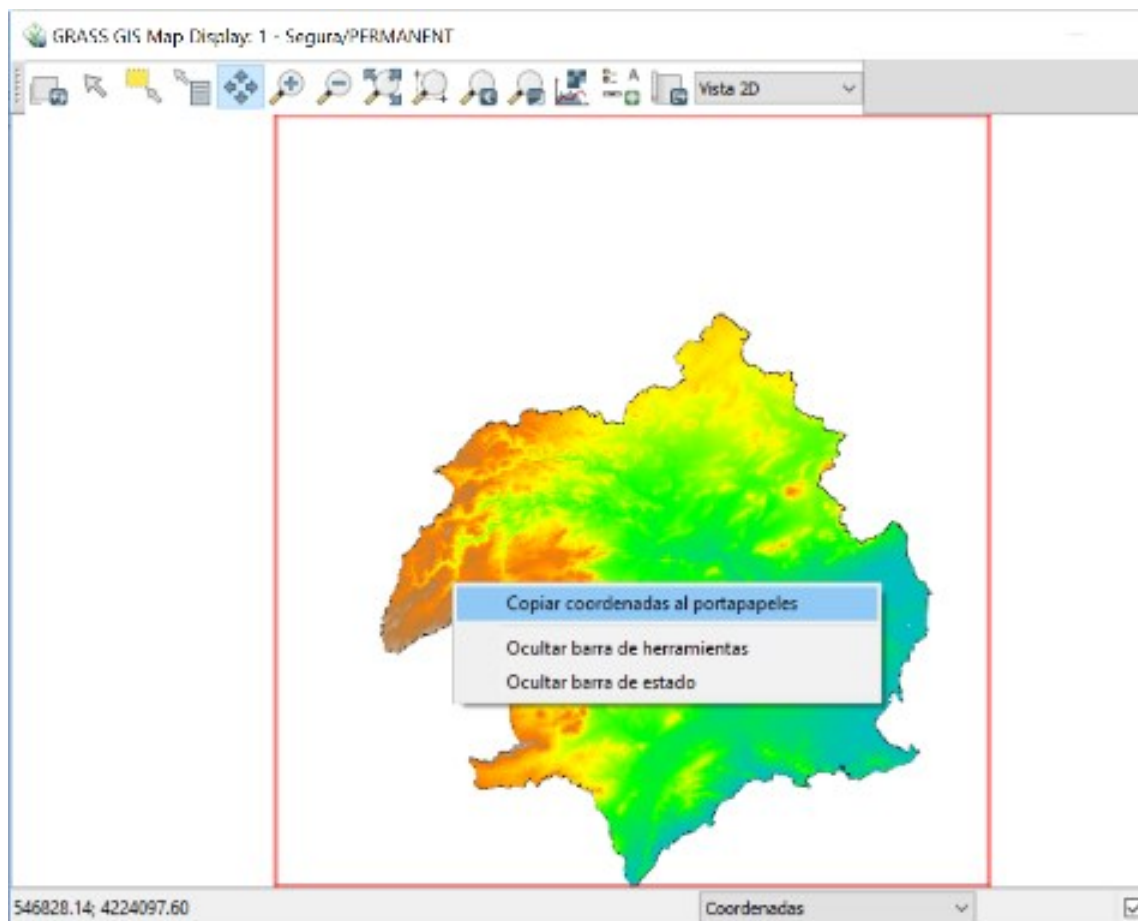


Figura 20-10.- Obtención de coordenadas en Grass

Después, se pueden usar comandos como los siguientes:

```
cuenca_xy x=536451.7 y=4224032.4
```

rio_ab_xy x=536451.7 y=4224032.4

```

EDAPHI-GCuenca
29/06/2019 15:51.- Creando tabla con id_punto
ADVERTENCIA: Values in column <cat> will be overwritten
100%
100%
29/06/2019 15:51.- Uniendo geometría de subtramos
ADVERTENCIA: Ningún elemento seleccionado, nada que editar
29/06/2019 15:51.- Actualizando información
29/06/2019 15:51.- Actualizando tabla de tmp_rivers_p, condición: cat IN
(2596,2603,2605,2609,2617,2622,2626,2627,2632,2646,2651,2655,2657,2660,2661,2668,2669,2675,2676,2677,2693,2735,2741,2748
,2749,2750,2757,2771,2774,2775,2779,2782,2784,2788,2815,2848,2862,2907,2909,2914,2915,2928,2941,2952,2954,2962,2963,2970
,2971,2981,2989,3007,3018,3019,3022,3025,3028,3035,3043,3089,3100,3138,3154,3169,3198,3204,3218,3239,3275,3276,3337,3339
,3349,3366,3393,3434,3442,3468,3487,3491,3503,3539,3587,3589,3655,3662,3684,3702,3752,3768,3810,3829,3830,3834,3838,3840
,3841,3846,3847,3851,3861,3862,3904,3928,3954,3972,3992,4002,4010,4016,4030,4061,4125,4145,4176,4200,4201,4240,4290,4298
,4302,4303,4307,4313,4333,4336,4370,4428,4440,4457,4464,4465,4468,4469,4474,4478,4496,4509,4528,4536,4537,4538,4550,4600
,4601,4603,4609,4627,4632,4633,4636,4642,4649,4674,4681,4745,4761,4763,4770,4775,4792,4797,4811,4837,4838,4860,4874,4885
,4898,4969,4974,4991,5003,5004,5049,5102,5130,5134,5202,5208,5219,5228,5276,5277,5317,5371,5416,5461,5499,5530,5565,5710
,5713,5789,5807,5815,5977,6007,6027,6029,6042,6053,6067,6134,6153,6157,6171,6181,6185,6189,6198,6260,6299,6322,6376,6412
,6430,6527,6658,6718,6742,6849,6882,6921,6935,7035,7049,7115)
29/06/2019 15:51.- Uniendo tablas de subtramos
ADVERTENCIA: El mapa vectorial <tramo_xy> ya existe y será sobrescrito.
100%
29/06/2019 15:51.- Actualizando registro de tramo_xy
29/06/2019 15:51.- Actualizando tabla de tramo_xy
29/06/2019 15:51.- * Generado tramo_xy
29/06/2019 15:51.- Situado en la cuenca PfafRio=20016, Nom_Rio=RIO SEGURA
La ejecución de <python E:\EDAPHI\Prog\GCuenca\Cod\Py\gcuenca.py x=536451.72834 y=4224032.43066 -reach_down_xy> ha ter
minado.
Limpiando archivos temporales...
GCuenca en E:\EDAPHI\GCuenca>cuenca_xy x=536451.72834 y=4224032.43066

```

Figura 20-11.- Uso de comandos en la ventana de GCuenca

Y el resultado puede ser visualizado en la ventana de mapas de Grass.

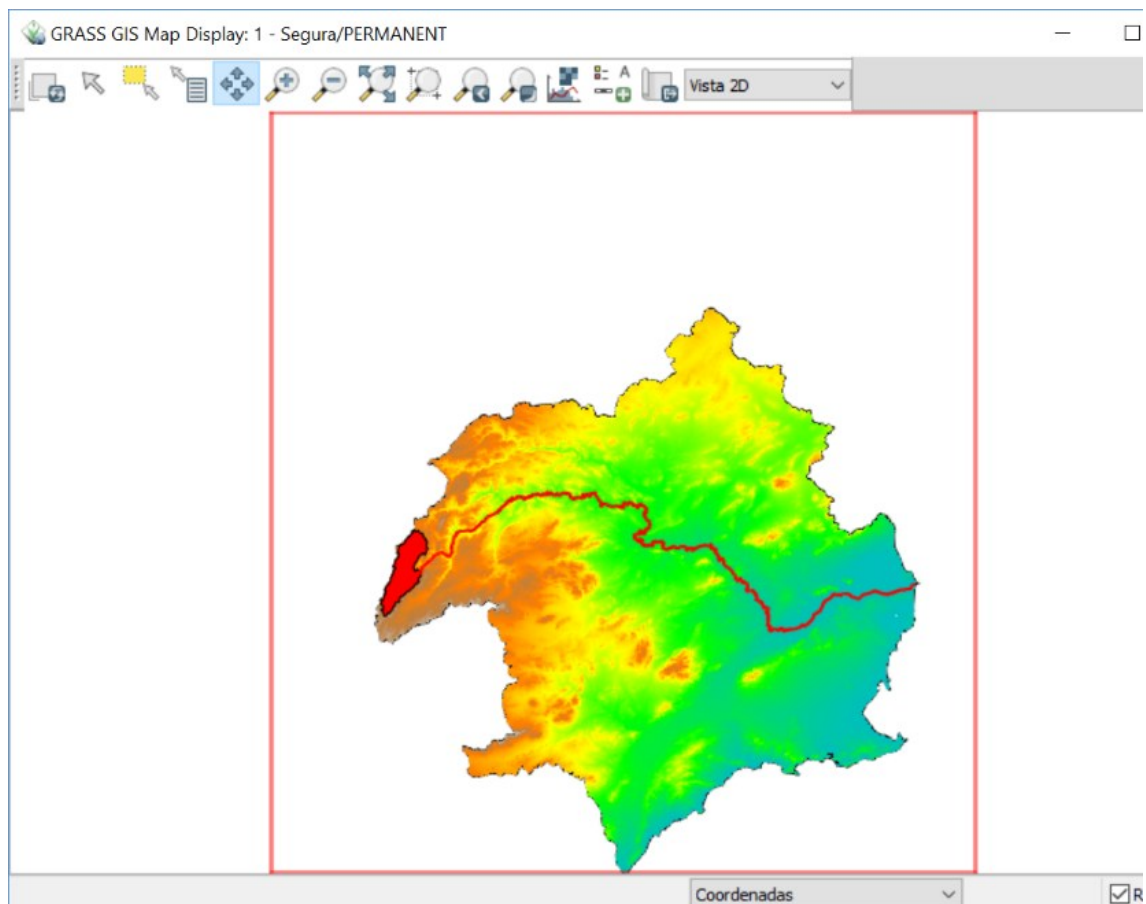


Figura 20-12.- Resultado de empleo de los comandos `cuenca_xy` y `rio_ab_xy`

20.6 Nombres de capas y archivos, de datos y resultados

Por si se desea trabajar en los dos modos en algún caso, para evitar sobreescritura de archivos, se ha optado por diferentes conjuntos de nombres de archivos para uno y otro modo. De ahí la utilidad de la instrucción `gcuenca -l_archs`.

Para el modo ráster el resultado sería:

```
puntos_xy: Puntos en los que obtener sus cuencas drenantes y tramos
correspondientes
MDT200: Capa dato del modelo digital del terreno
tmp_*: Capas o archivos temporales o auxiliares
acum: Capa dato de acumulaciones de flujo (ver ayuda)
const_1: Capa auxiliar (ver ayuda)
tramos_auto: Capa auxiliar (ver ayuda)
cuencas_auto: Capa auxiliar (ver ayuda)
dir_dren: Direcciones de drenajes (ver ayuda)
dir_dren_deg: Direcciones de drenajes en grados (ver ayuda)
pend: Pendientes (ver ayuda)
p_trm_p: Capa dato de puntos extremos aguas arriba para definir tramos
principales
puntos_xy_r: puntos_xy con información añadida al definir cuencas
cuenca_xy_r: Cuenca que drena a un punto x, y
tramo_xy_r: Tramo aguas abajo de a un punto x, y
p_xy: Punto x, y
```

```

    cuencas_r: Capa de cuencas que drenan a la capa de puntos formando una
partición
    puntos_xy_r: Capa de puntos con información asociada a la generación
de cuencas_r
    tramos_prin_r: Capa de tramos principales de las cuencas de cuencas_r
    p_trm_prin_r: Capa de puntos extremos aguas arriba de tramos_prin_r
    tramos_tran_r: Capa de tramos de transporte que unen puntos

```

Y para el modo vectorial:

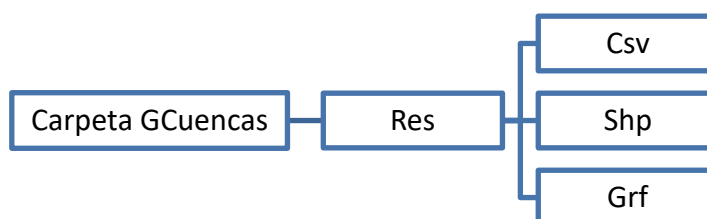
```

    puntos_xy: Puntos en los que obtener sus cuencas drenantes y tramos
correspondientes
    MDT200: Capa dato del modelo digital del terreno
    tmp_*: Capas o archivos temporales o auxiliares
    rios_pfafstetter: Capa dato de ríos con cuencas codificadas
    cuencas_pfafstetter: Cuenca que drena a un punto x, y
    puntos_xy_p: puntos_xy con información añadida al definir cuencas
    cuenca_xy_p: Cuenca que drena a un punto x, y
    tramo_xy_p: Tramo aguas abajo de a un punto x, y
    cuencas_p: Capa de cuencas que drenan a la capa de puntos formando una
partición
    puntos_xy_p: Capa de puntos con información asociada a la generación
de cuencas_p
    tramos_prin_p: Capa de tramos principales de las cuencas de cuencas_p
    cuencas_pfafstetter_puntos: Capa de cuencas cuencas_pfafstetter que
forman cuencas_p
    puntos_xy_p: Capa de puntos con información de generación de cuencas_p
    puntos_xy_c_p: Capa de puntos con información de generación de cuenca
completas

```

20.7 Resultados

GCuencas almacena los resultados conforme al siguiente esquema.



Los archivos de texto incluyen los resultados de caracterizar cada cuenca y cada tramo. La siguiente tabla muestra parte de un resultado:

Cuenca	NC	MDT200	p_t2	p_t5	p_t10	p_t25	p_t100	p_t500	area_km2
05A02	65.0	395.0	43.5	64.0	80.0	102.0	138.5	187.4	31.3
05A03	65.8	287.7	41.8	61.8	77.4	98.6	134.2	181.2	46.1
05A04	66.4	395.1	41.6	61.5	76.9	98.2	133.5	180.3	135.9
05A05	68.5	381.1	40.7	60.3	75.4	96.3	131.0	176.8	67.5
05A06	72.3	214.0	42.6	62.7	78.5	100.2	136.2	184.2	16.5
05A07	70.5	189.2	41.9	62.2	77.8	99.2	135.3	182.9	44.0
06A01	75.8	143.6	47.5	70.5	88.0	112.1	153.4	206.9	69.3

Los resultados de los perfiles longitudinales de tramos son los que refleja la siguiente tabla:

Cuenca	Longitud (m)	pendiente
05A02	13172.6	0.0231
05A03	16401.8	0.0272
05A04	27565.9	0.0265
05A05	30841.8	0.0277
05A06	14861.6	0.0543
05A07	13150.1	0.0093
06A01	35322.6	0.0169

Como primer resultado, se genera una tabla que relaciona los puntos dato, con sus coordenadas, con la subcuenca de la clasificación Pffafsteter, cuando se trabaja en modo vectorial.

X	Y	id_punto	desc_punto	nom_rio	pfafrio	pfafcuen
613333.3	4149505.7	05A02	Marco de Control en la Escarihuella-Rbla Charcones	RAMBLA DE LOS CHARCONES	2001428	2001428595
611159.0	4141798.0	05A03	Marco de Control en Pulpí - Rbla Charcones	RAMBLA DE LOS CHARCONES	2001428	20014281
609409.0	4136938.0	05A04	Marco de Control en Rambla del Pinar	RAMBLA DE PINAR	2001426	200142611
607810.0	4134042.0	05A05	Marco de Control en Rambla de Guazamara	RAMBLA DE GUAZAMARA	2001424	20014241

En cuanto a los resultados en capas SHP, los resultados son las subcuencas, los tramos principales de cada subcuenca y los tramos que unen puntos. Todas las capas tienen sus atributos relacionados con la caracterización de las entidades representadas.

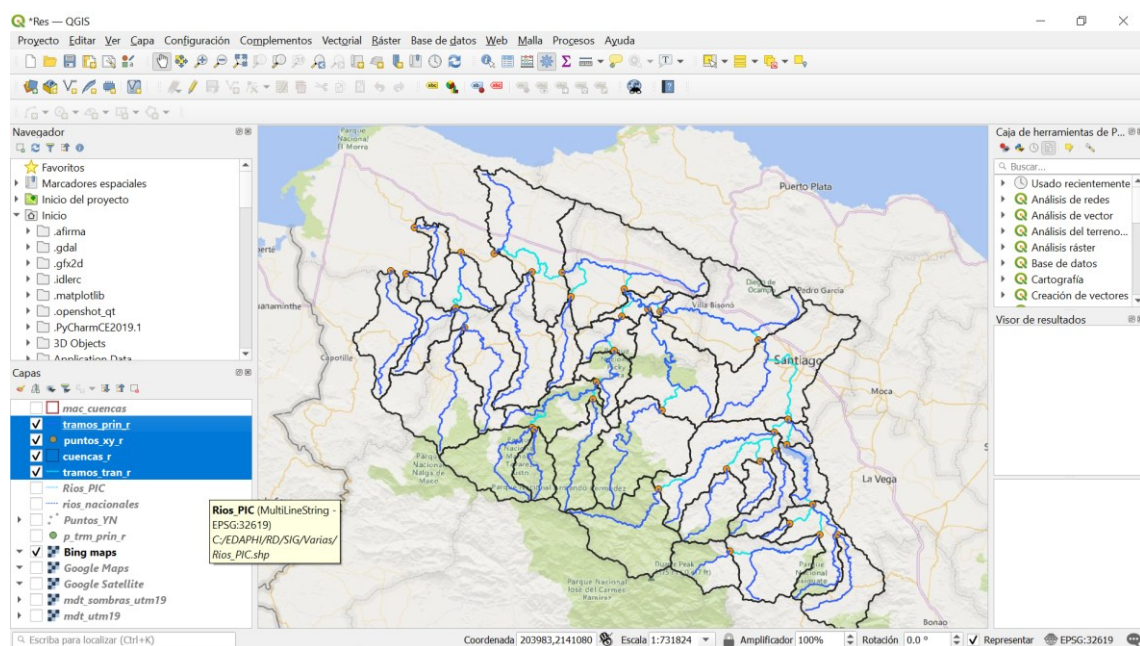


Figura 20-13.- Mapa de resultados de GCuencas en formato SHP. Caso de aplicación de República Dominicana

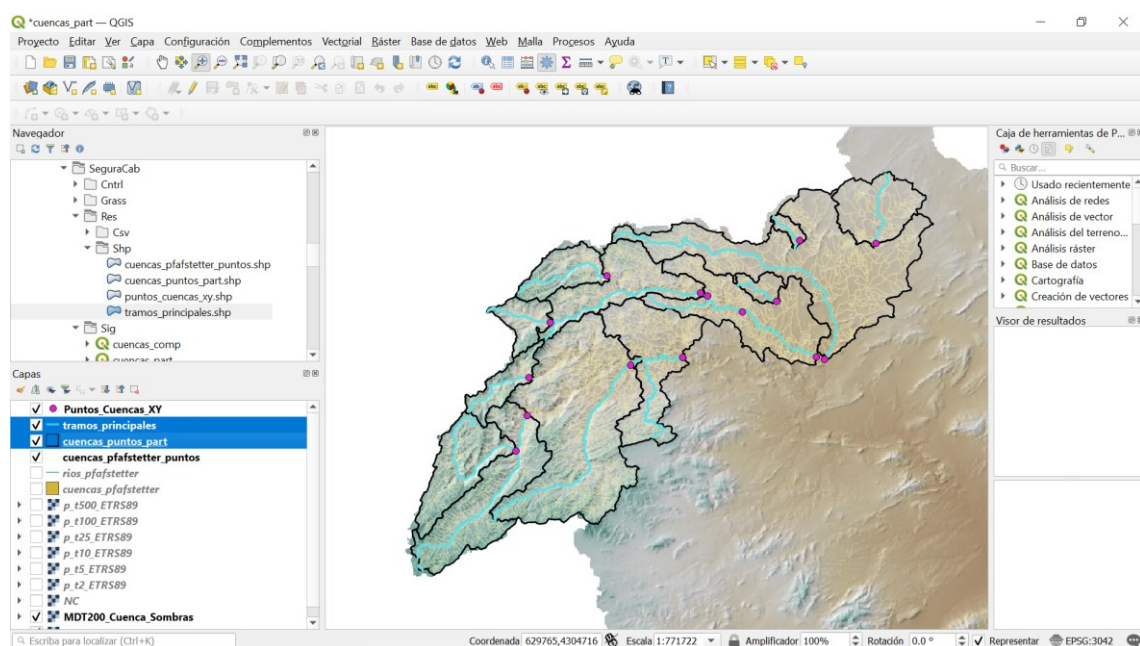


Figura 20-14.- Mapa de resultados de GCuencas en formato SHP. Caso de aplicación español (cuenca del Segura)

Todos los resultados, incluyendo los intermedios, quedarán almacenados en la base de datos GIS-Grass.

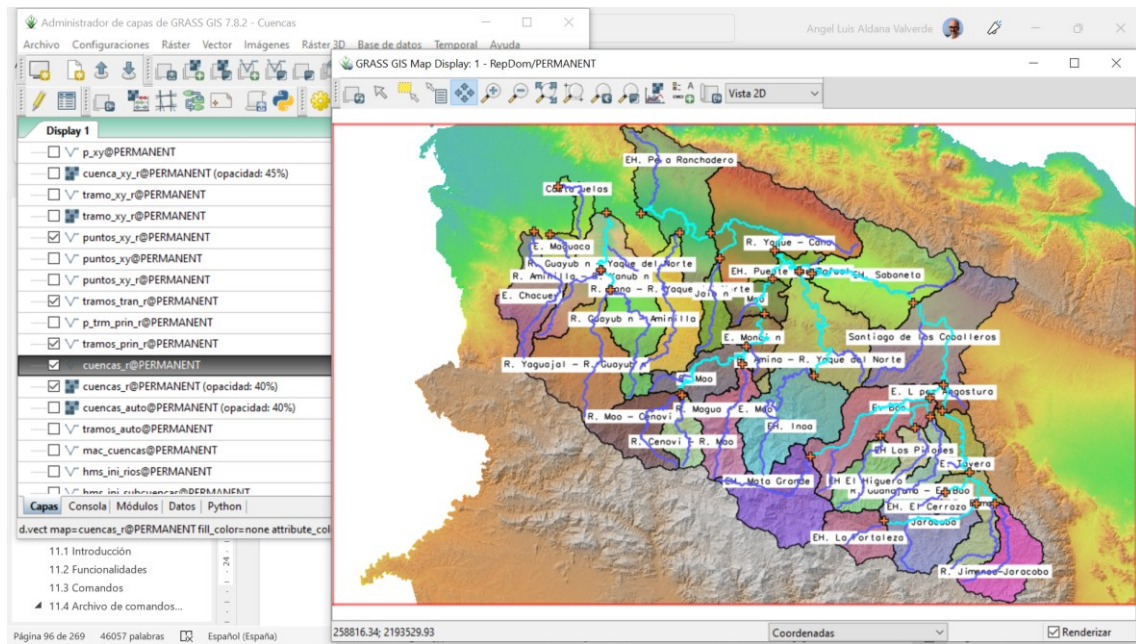


Figura 20-15.- Ventana de GIS-Grass con los resultados de GCuencas

20.8 Instrucciones detalladas de uso

Los comandos de ayuda ofrecerán instrucciones detalladas de uso, especialmente necesarias para el caso del modo MDT (ráster), pues implica un proceso más complejo con necesidad de iteraciones.

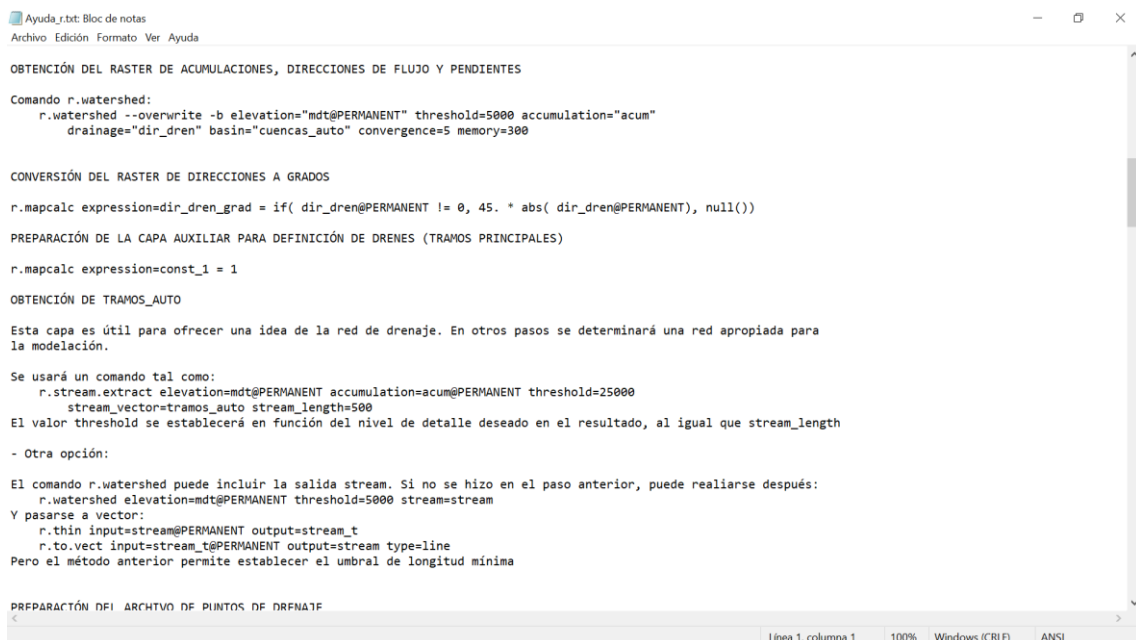


Figura 20-16.- Ventana de ayuda con instrucciones de uso de GCuencas

20.9 Instalación

GCuencas depende de EGrassPy3, por lo que el primer paso será instalar la versión apropiada de GIS-Grass e instalar y configurar el módulo EGrassPy3 (ver capítulo 18).

Por lo demás, se instala como un módulo normal.

21 EDAPHI-GenMH. Generación automática de modelos

GCuencas fue concebido para ahorrar tiempos en la generación de modelos hidrológicos, delimitando subcuencas que drenan a un conjunto de puntos, así como definiendo los tramos de ríos principales de estas subcuencas y los tramos que conectan puntos. Subcuencas y tramos cuentan así con una definición geográfica que es complementada por el cálculo de un conjunto de parámetros característicos de interés hidrológico.

GenMH es un paso más en la automatización del proceso, pues, a partir de los resultados anteriores, proporciona una versión preliminar de un modelo MHH completo. Este modelo, que cuenta con el modelo Hec-HMS asociado, servirá como una versión preliminar. El siguiente paso será, una vez realizadas las revisiones y correcciones que pudieran ser necesarias, proceder a la calibración con datos históricos.

21.1 Funcionalidad

Realiza un análisis topológico de los elementos incluidos en GCuencas como paso previo para definir los modelos hidrológicos

- Genera un proyecto Hec-HMS listo para funcionar
- Genera todos los archivos necesarios para un caso de aplicación de MHH
- Genera series de entrada de precipitación para realizar unos primeros cálculos con los modelos

21.2 Representación del sistema hidrológico y puntos de interés

En GCuencas se habrán definido puntos en los que se desea obtener las cuencas vertientes. El usuario tiene que indicar el tipo de punto conforme a la siguiente clasificación:

- Afluente
- Embalse
- Observación
- Población

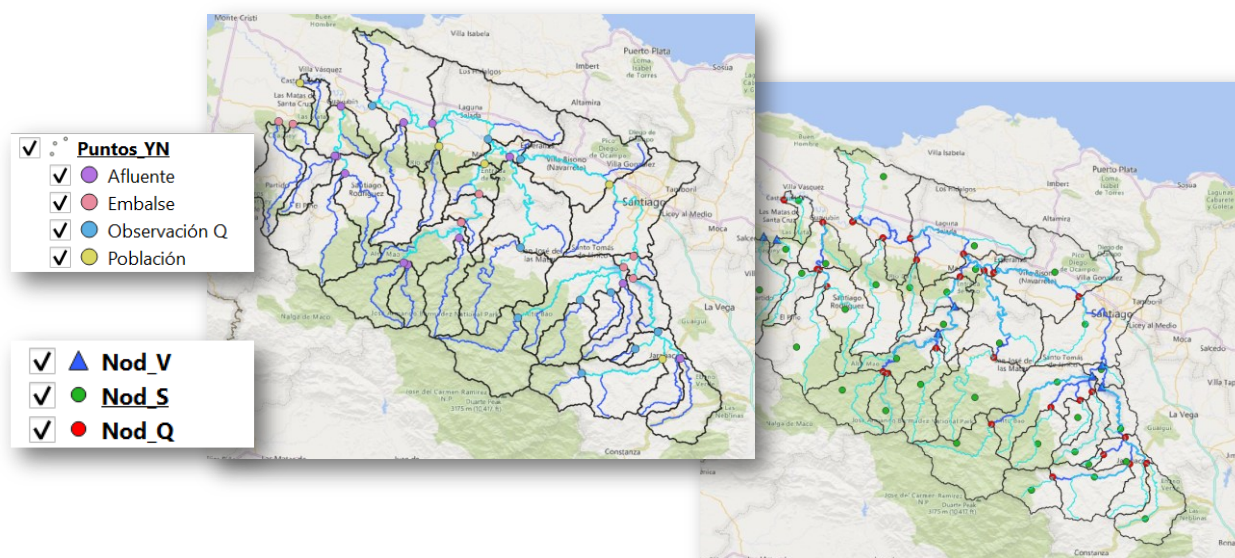


Figura 21-1.- Puntos de interés y nodos de representación del sistema hidrológico

Los embalses darán lugar a dos elementos de Hec-HMS: uno puede ser el extremo de un tramo (reach) o un elemento confluencia (junction), y el otro será de tipo fuente (source) que se corresponde con el caudal de salida de embalse (dato necesario) y que se conecta con el sistema aguas abajo. Es decir, los embalses cortan la continuidad de propagación.

21.3 Parametrización

A partir de ahí, este módulo generará los nodos tipo Q y V. Los nodos S (subcuencas) serán los que corresponden con las subcuencas generadas con GCuencas. Una vez definidos los nodos y analizada la topología, genera los archivos Hec-HMS, con una parametrización de modelos basados en la caracterización obtenida con GCuencas, con criterios de primera aproximación (función de pendientes y longitudes, básicamente)

Para esta parte es importante contar con una capa de números de curva, la cual será procesada por GCuencas y usada en esta fase de GenMH.

21.4 Comandos

Como GenMH ha sido concebido para formar parte de un proceso que se inicia con GCuencas, la llamada a este módulo por el usuario ha sido incorporada a los comandos accesibles desde GCuencas. El comando es `util_gcuencas`, que al escribirlo en la línea de comandos devuelve el siguiente mensaje:

```
Comandos:
-gen_hms: Genera los archivos básicos de HMS
```

```

-gen_mhh: Genera los archivos básicos de MHH
-ts_dat: Genera datos temporales para su uso en HMS
        vol_prec=: Volumen de precipitación
        t_ini_h=: Inicio de la tormenta
        t_max_h=: Instante del valor punta de la precipitación
        t_fin_h=: Final de la tormenta
        q_in=: Valor constante en todas las entradas de caudal
Ejemplo:
        -ts_dat vol_prec=100.0 t_ini_h=0 t_max_h=12 t_fin_h=24 q_in=10

```

21.5 Configuración

La configuración del módulo es muy sencilla, pues apenas tiene parámetros de configuración. Las figuras siguientes ilustran esos parámetros

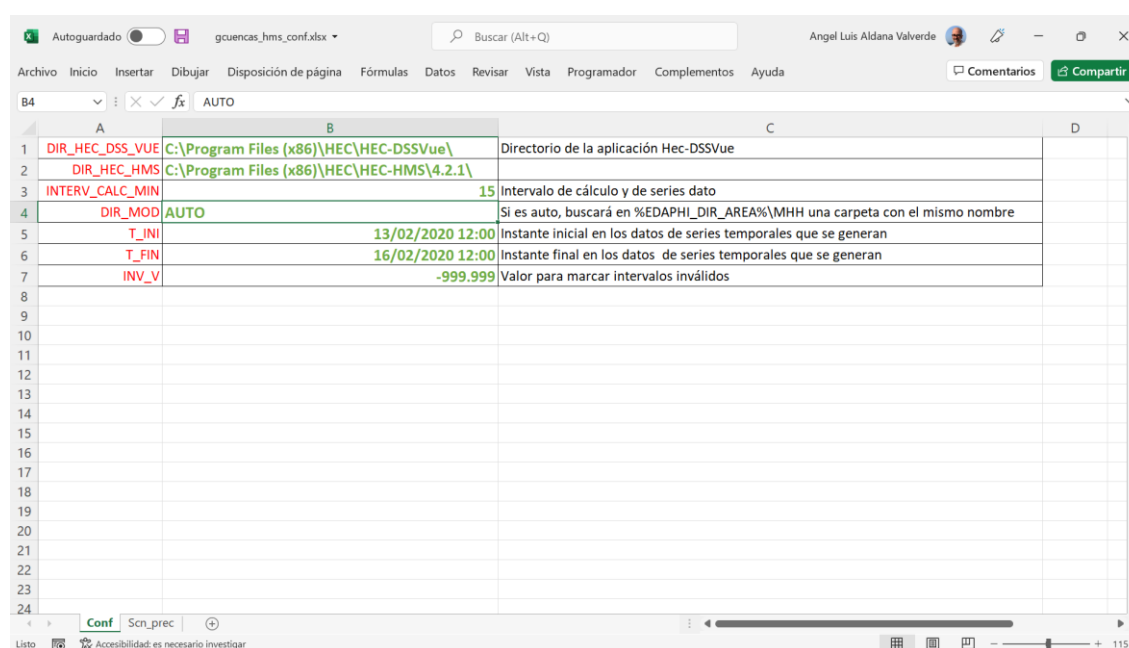


Figura 21-2.- Hoja principal de configuración de GenMH

Atención: Al dejar el parámetro DIR_MOD con valor AUTO, el programa partirá del nombre del caso GCuenas para definir el de MH. Así, por ejemplo, si se está trabajando en un caso %EDAPHI_DIR_AREA%\GCuenasV2\YaqueNorte, creará la carpeta %EDAPHI_DIR_AREA%\MH\YaqueNorte y sus subcarpetas y creará los archivos que correspondan, lo que puede dar lugar a sobreescritura de archivos

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		TOTAL_PREC	T_INI_H_PREC	T_MAX_H_PREC	T_FIN_H_PREC	Q_IN	COLOR	LINEWIDTH	LINESTYLE		
1											
2	P_050MM_T001224	50.0	0.0	12.0	24.0	5.0	green	2	solid		
3	P_100MM_T001224	100.0	0.0	12.0	24.0	5.0	orange	2	solid		
4	P_150MM_T001224	150.0	0.0	12.0	24.0	5.0	red	2	solid		
5	P_200MM_T001224	200.0	0.0	12.0	24.0	5.0	black	2	solid		
6	P_050MM_T000612	50.0	0.0	6.0	12.0	5.0	green	2	dashdot		
7	P_100MM_T000612	100.0	0.0	6.0	12.0	5.0	orange	2	dashdot		
8	P_150MM_T000612	150.0	0.0	6.0	12.0	5.0	red	2	dashdot		
9	P_200MM_T000612	200.0	0.0	6.0	12.0	5.0	black	2	dashdot		

Figura 21-3.- Especificaciones de hietogramas triangulares en GenMH y caudales de entrada

21.6 Ayuda

El comando `ayuda_u` mostrará una ventana con instrucciones para el uso del módulo:

```

ayuda_u.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
-----
Una vez se han generado los resultados completos de GCuenas, se pueden generar MHH completo, incluyendo el proyecto
HMS.

Se generará también unos archivos topológico ampliados en los que se distinguen elementos de tipo:
S- Subcuenas (cuenas)
T- Tramos
N- Nodos

Los nodos tendrán una segunda clasificación conforme a lo indicado en GCuenas, lo que será usado en estas utilidades.

IDENTIFICADORES DE ENTIDADES

Los elementos en la topología completa cuentan con el prefijo añadido al identificador de GCuenas, con lo que cada
elemento de la topología cuenta así con un identificador clave (permite identificar a un elemento de forma unívoca).

De modo análogo, las entidades de MHH requieren identificadores únicos, por lo que a las cuencas se les añade prefijo.

HMS cuenta con restricciones en cuanto a los identificadores: no admiten más de 27 caracteres y no admite caracteres
especiales. Por ello hay una transformación de identificadores que afecta a caracteres con tilde, diéresis y la ñ.

USO
---

El uso normal de la aplicación seguiría los siguientes paso basado en los correspondientes comandos:
- gen_hms.- Generará el proyecto HMS en la carpeta correspondiente de MHH
Una vez ejecutada esta opción se recomienda comprobar el proyecto HMS con las opciones de edición y visualización de
la aplicación y usar el comando Run con la opción EDAPHI.
- ts_dat ofrece la posibilidad de generar otros datos de entrada a HMS, lo que facilita hacer más pruebas.
- gen_mhh.- Este comando construye el proyecto MHH completo para su uso con el comando calc_sim, es decir, sin
distinción de pasado y futuro y tomando los datos temporales de un archivo situado en la carpeta ST (gc_mhh_st.xlsx)

El comando gen_hms debe preceder siempre al gen_mhh y es el que genera la topología ampliada
  
```

Figura 21-4: Ventana de ayuda con instrucciones de uso de GenMH

21.7 Resultados

Los resultados serán todos los archivos necesarios para un caso de aplicación de MHH, incluyendo un archivo de series temporales de precipitación para las primeras pruebas.

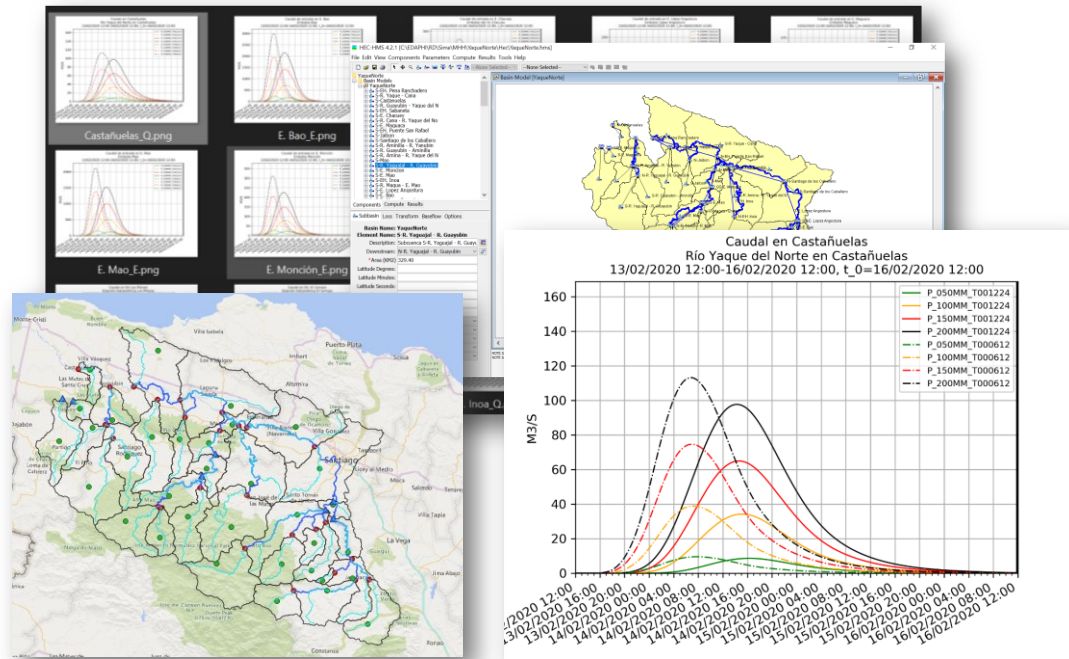


Figura 21-5.- Resultados de GenMH

22 EDAPHI-Ges. Generación de eventos sintéticos

El personal que tiene que hacer uso de los modelos operacionales para el pronóstico hidrológico requiere una formación específica y un entrenamiento, en el uso de modelos en tiempo real. Una de las dificultades frecuente, para realizar este tipo de actividades de capacitación, es la falta de datos históricos de eventos de tormentas. Los registros suelen ser insuficientes para adquirir experiencia en un rango de posibilidades amplio.

La que aquí se describe es una primera versión, cuyas funcionalidades se están ampliando, especialmente en cuanto a la generación de tormentas.

22.1 Funcionalidad

Ges, el generador de tormentas sintéticas, ofrece una solución para ello, pues, a partir de una definición sencilla de una o varias tormentas para un periodo de tiempo, genera los campos de lluvia y realiza una simulación hidrológica que dará lugar a hidrogramas en puntos que pueden ser considerados caudales medidos.

Los resultados de Ges pueden ser usados como datos para el resto de los módulos, como si de un uso operacional en tiempo real se tratase.

La aplicación facilita, entre otras, entrenamiento en:

- Calibración de parámetros. - La simulación hidrológica de Ges puede estar basada en combinaciones de parámetros que los hidrólogos en formación deben tratar de averiguar, calibrando con los módulos operacionales.
- Analizar la influencia del desplazamiento de un frente de tormenta. – La comparación de tormentas que se desplazan hacia aguas arriba con otras que se desplazan hacia aguas abajo puede ser interesante, a efectos de calibrar tiempos de propagación y entender la respuesta de la cuenca.
- Influencia de la intensidad y el tiempo de duración de la tormenta.
- Coincidencia de puntas de hidrogramas, de respuesta hidrológica de cuencas y de salidas de embalses
- Laminación de crecidas con operación de embalses

22.2 Estructura de carpetas

La carpeta de un caso de aplicación de Ges puede ser algo como lo siguiente:



En la carpeta ST se almacenarán los datos de salidas de embalse, que deben indicarse en un libro MS-Excel.

La singularidad de este módulo es que incluye una carpeta de un caso de aplicación de un módulo EDAPHI: MH. En ella se incluirá el caso de aplicación de MHH a usar en modo simulación, con la configuración apropiada para el sistema hidrológico que se desea simular, teniendo como entrada las tormentas sintéticas y las salidas de embalse.

22.3 Modelo MH integrado

La configuración de MH integrado en Ges será simple, pues se trata de definir un caso de aplicación con un único escenario (con ID fijo denominado "GesW") de tipo SIM (simulación).

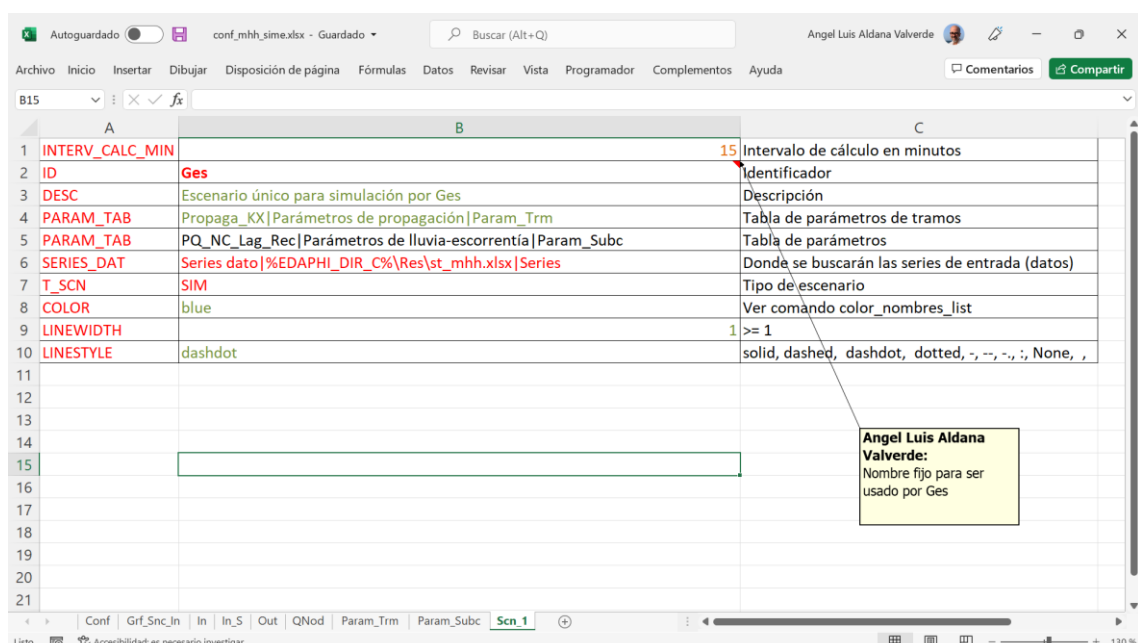


Figura 22-1.- Configuración del escenario único del caso de aplicación integrado en Ges

El mismo módulo Ges genera el archivo que servirá de entrada al MH integrado, con nombre fijo "st_mhh.xlsx". Este archivo será resultado de los cálculos de precipitaciones y de los datos de salida de embalse.

	A	B	C	D	E	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR
1	Instante actual:	11/06/2020 14:16											
2	Valor inválido:	-1											
3	Nombre variable:	S-EH. Peña Ranchadero	S-R. Yaque - Cana	S-Castañuelas	S-R. Guayubín - Yaque del Norte	E. Maguaca	E. Monción	E. López Angostura	E. Mao	E. Bao	E. Chacuey	E. Tavera	
4	Tipo:	P	P	P	P	S	S	S	S	S	S	S	
5	Modelo:	Ges	Ges	Ges	Ges	Ges	Ges	Ges	Ges	Ges	Ges	Ges	
6	Instante \ unidades:	mm	mm	mm	mm	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	
39	08/05/2020 21:00	5.91	5.31	5.67	4.85	5	5		5	5	5	5	5
40	08/05/2020 22:00	6.91	6.31	6.67	5.85	5	5		5	5	5	5	5
41	08/05/2020 23:00	7.91	7.31	7.67	6.85	5	5		5	5	5	5	5
42	09/05/2020 00:00	8.9	8.31	8.67	7.85	5	5		5	5	5	5	5
43	09/05/2020 01:00	9.61	9.28	9.64	8.85	5	5		5	5	5	5	5
44	09/05/2020 02:00	9.93	9.89	10	9.77	5	5		5	5	5	5	5
45	09/05/2020 03:00	10	10	10	10	5	5		5	5	5	5	5
46	09/05/2020 04:00	10	10	10	10	5	5		5	5	5	5	5
47	09/05/2020 05:00	9.99	10	10	10	5	5		5	5	5	5	5
48	09/05/2020 06:00	9.7	9.97	9.97	10	5	5		5	5	5	5	5
49	09/05/2020 07:00	9.01	9.57	9.33	9.92	5	5		5	5	5	5	5
50	09/05/2020 08:00	8.1	8.69	8.33	9.15	5	5		5	5	5	5	5
51	09/05/2020 09:00	7.39	7.72	7.36	8.15	5	5		5	5	5	5	5
52	09/05/2020 10:00	7.07	7.11	7	7.23	5	5		5	5	5	5	5
53	09/05/2020 11:00	7	7	7	7	5	5		5	5	5	5	5
54	09/05/2020 12:00	7	7	7	7	5	5		5	5	5	5	5
55	09/05/2020 13:00	7	7	7	7	5	5		5	5	5	5	5
56	09/05/2020 14:00	7	7	7	7	5	5		5	5	5	5	5
57	09/05/2020 15:00	7.01	7	7	7	5	5		5	5	5	5	5
58	09/05/2020 16:00	7.3	7.03	7.03	7	5	5		5	5	5	5	5
59	09/05/2020 17:00	7.99	7.43	7.67	7.08	5	5		5	5	5	5	5
60	09/05/2020 18:00	8.9	8.31	8.67	7.85	5	5		5	5	5	5	5

Figura 22-2.- Ejemplo de archivo de series de entrada para MHH integrado, generado por Ges

22.4 Datos

Las series de caudales de salidas de embalse se almacenarán en archivos como el de la figura. En este caso, se introducen pares hora valor, con instante 0 en el instante de inicio, que se indica, expresado en fecha y hora, en la configuración de Ges (apartado 22.6).

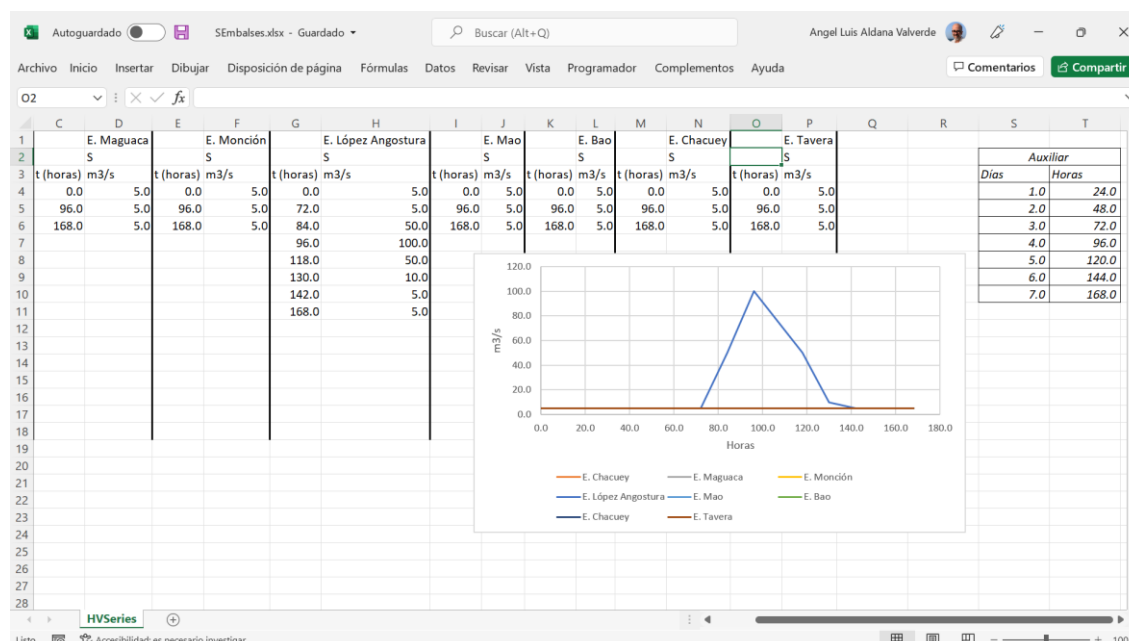


Figura 22-3.- Ejemplo de datos de salida de embalse para Ges

La definición de las precipitaciones se realiza en el archivo de configuración.

22.5 Comandos

Cuenta con un único comando, **ges**, cuyas opciones son:

```
Argumentos:
-plt_p_t: Muestra una tormenta correspondiente a un instante t (no
guarda resultados)
    p= Nombre de la hoja con parámetros de la tormenta
    t_ini= Instante inicial en formato (entre comillas) %d/%m/%Y
%H:%M
    t= Instante del resultado en formato (entre comillas)
%d/%m/%Y %H:%M
-plt_p_i: Muestra una animación de una tormenta para un intervalo
(no guarda resultados)
    p= Nombre de la hoja con parámetros de la tormenta
    t_ini= Instante inicial en formato (entre comillas) %d/%m/%Y
%H:%M
    t_fin= Instante del resultado en formato (entre comillas)
%d/%m/%Y %H:%M
-masc_areas: Crea la máscara de subcuencas para cálculos areales
-calc_p: Realiza todos los cálculos de generación de
precipitaciones
-calc_s: Genera las salidas de embalses a partir de la hoja con
datos hora-valor
-calc_h: Calcula los modelos MHH
-calc_psh: Realiza los cálculos _p, _s y _h
-gen_epi: Genera el archivo de episodios
    t_fin= Instante final del resultado en formato (entre
comillas) %d/%m/%Y %H:%M
Ejemplos:
-plt_p_t p=P_1 xlsx_conf=conf_ges.xlsx t_ini="07/05/2020 12:00"
t="08/05/2020 00:00"
-plt_p_i p=P_2 xlsx_conf=conf_ges.xlsx t_ini="07/05/2020 12:00"
t_fin="09/05/2020 12:00"
```

```

-calc_p xlsx_conf=conf_ges.xlsx
-calc_s xlsx_conf=conf_ges.xlsx
-calc_h xlsx_conf=conf_ges.xlsx
-calc_psh xlsx_conf=conf_ges.xlsx
-gen_epi xlsx_conf=conf_ges.xlsx t_fin="07/05/2020 12:00"

```

Modo normal de uso: usar -calc_psh para preparar todos los datos básicos para el periodo completo con varias tormentas e ir generando archivos de episodio con distintos t_fin

El modo de funcionamiento normal será usar el comando `-calc_psh` con el archivo de configuración en el que se define un periodo de lluvias largo y para las que se calculan los caudales. Después, se irán generando archivos de episodios con el comando `-gen_epi` de duración determinada (48 horas, por ejemplo). Puede optarse por comandos de cálculos parciales en la fase de configuración inicial del caso de aplicación del módulo. Los comandos tipo `-plt_` son útiles para la definición de las tormentas al permitir visualizarlas.

22.6 Configuración

La siguiente figura ilustra los parámetros principales de configuración.

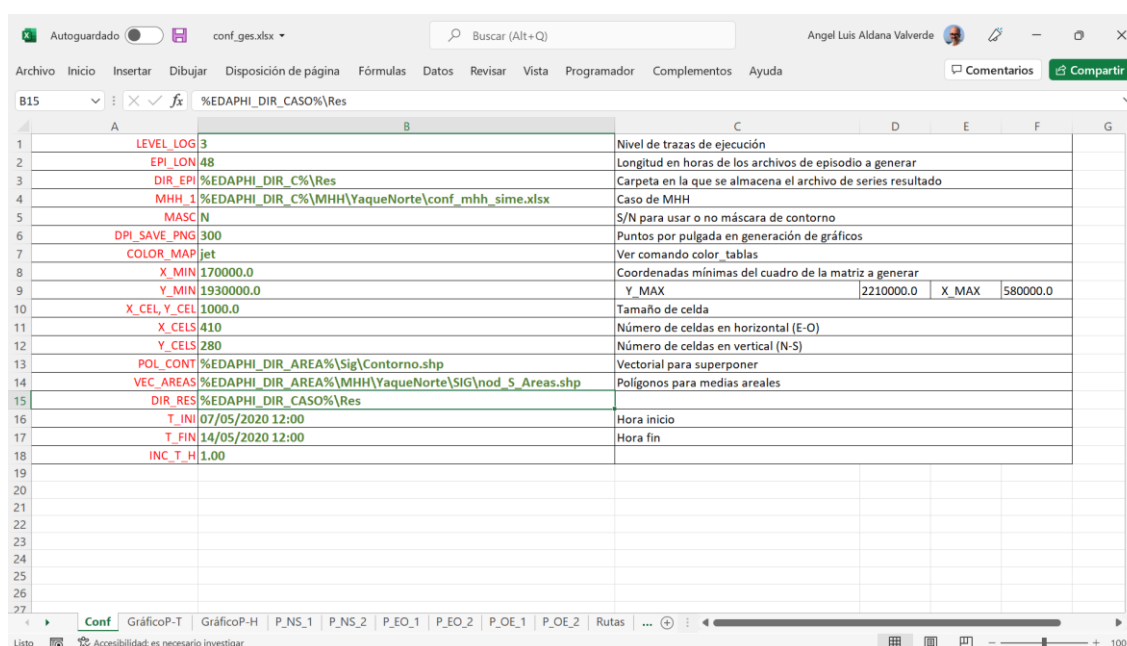


Figura 22-4.- Hoja principal de configuración de Ges

Esta hoja "Conf" se complementa con las definiciones de tormentas de diseño, las cuales se almacenan en hojas que empiecen con "P_". Si hay varias, pueden superponerse.

En esta versión de Ges sólo se ha incluido un tipo de tormentas, a modo de frente lineal, representado por una línea que se traslada desde un punto inicial, según una dirección y una celeridad. La evolución de la precipitación en el punto de inicio, en tiempo, tendrá una forma de trapecio isósceles, el cual se puede definir por una base, las proyecciones de los lados laterales sobre dicha base y un valor máximo expresado en intensidad de precipitación.

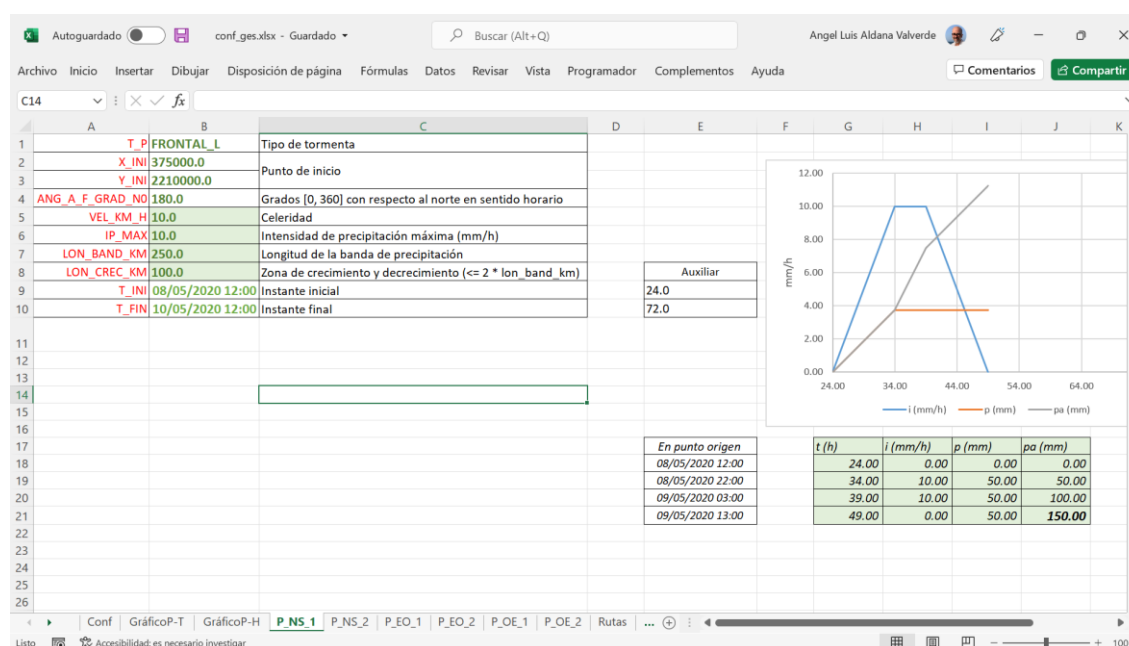


Figura 22-5.- Configuración de una tormenta

Aunque finalmente se opta por definir el trapecio por las mismas dimensiones en tiempo expresadas en su lugar en distancias según la celeridad de desplazamiento del frente, según el siguiente esquema:

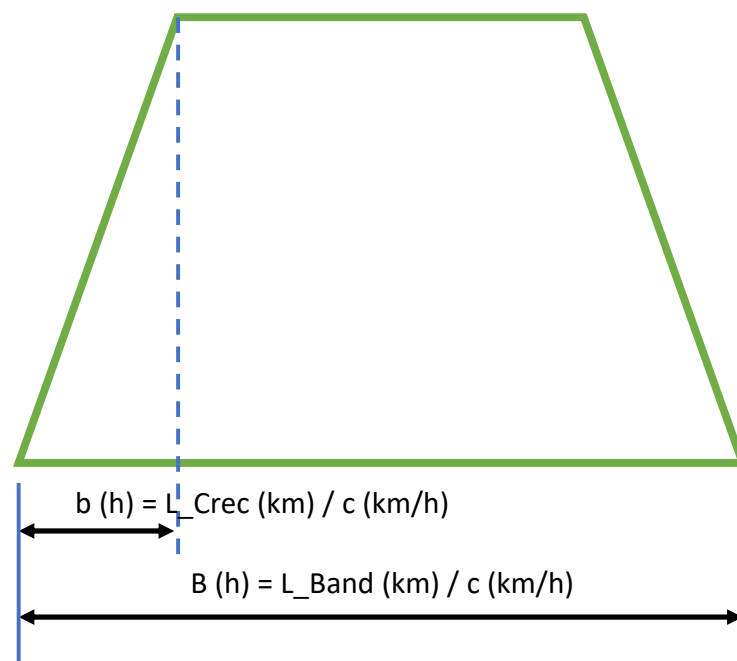


Figura 22-6.- Definición del frente de la tormenta

Así resulta la forma del frente que se desplaza.

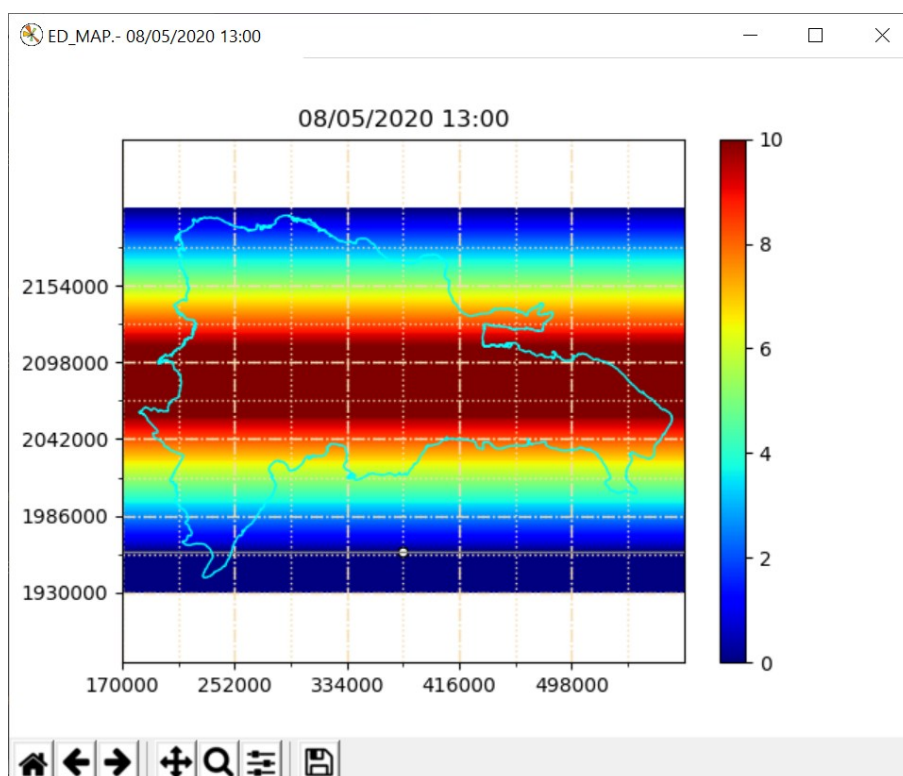


Figura 22-7.- Ejemplo de tormenta en un instante dado. Gráfico generado con el comando `ges -plt_p_t`

Este tipo de tormenta tiene interés para el entrenamiento, pues el efecto de frentes que ascienden o descienden a través de una cuenca de cierta complejidad puede confundir en cuanto a tiempos de respuesta de subcuencas y de propagación en cauces.

Las variables de salida que se desean para generar archivos de episodios, los que servirán como dato simulado, se almacenarán en la hoja "STGen".

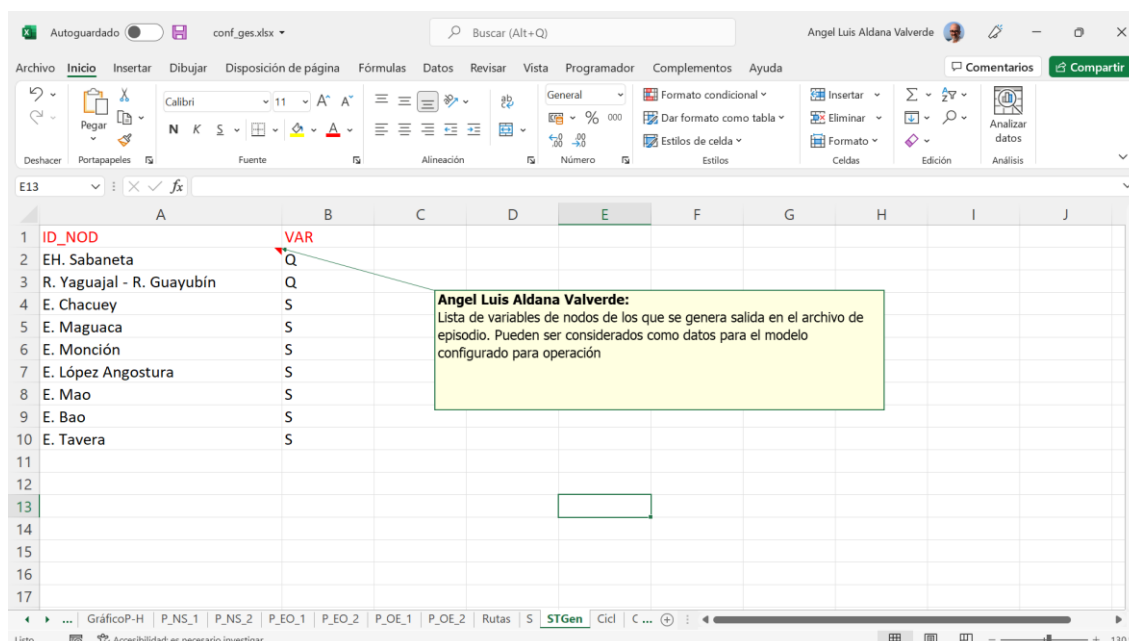


Figura 22-8.- Especificación de las variables de salida para generar archivos de episodios en la hoja STGen

Cabe especificar el archivo de los datos de caudales de salida de embalse en la hoja "S". Ello facilitará trabajar con varias opciones de movimientos de válvulas y compuertas de las presas

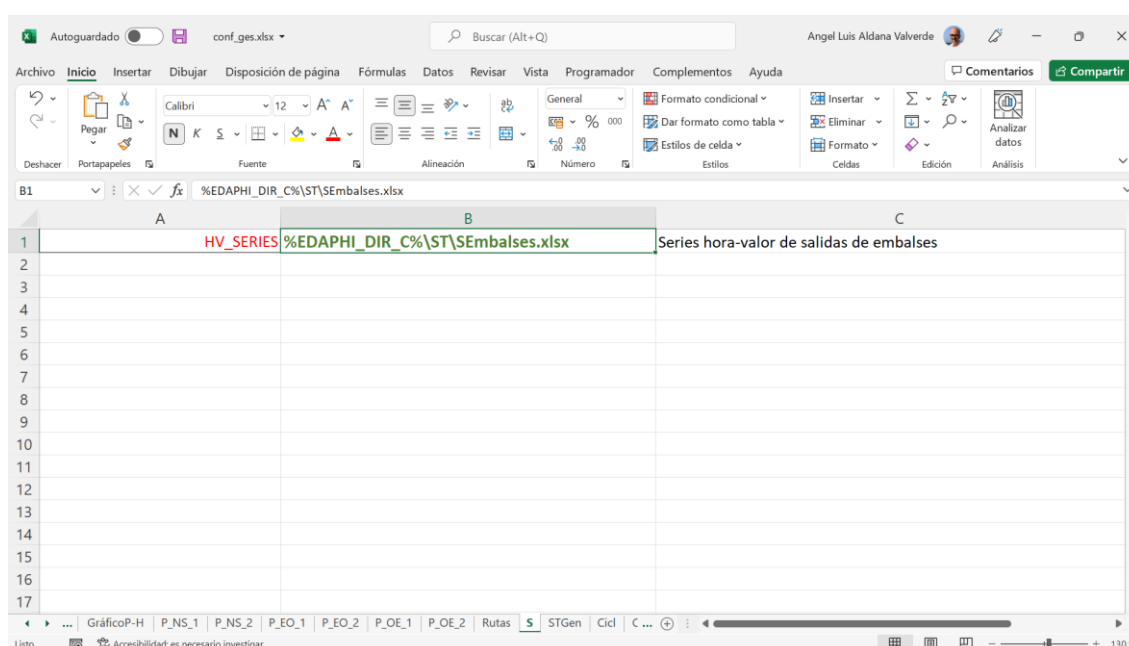


Figura 22-9.- Especificación del nombre de archivo de series de caudales de salida de embalses,

22.7 Resultados

Los resultados de las tormentas se almacenarán en archivos matriciales de texto (mallas en formato ASC) y en gráficos PNG.

Las variables de precipitaciones areales y de caudales simulados se almacenarán en archivos XLSX. Estos serán los archivos de interés especial para que sirvan de entrada para los modelos en tareas de entrenamiento. Los de las mallas tendrán propósitos ilustrativos

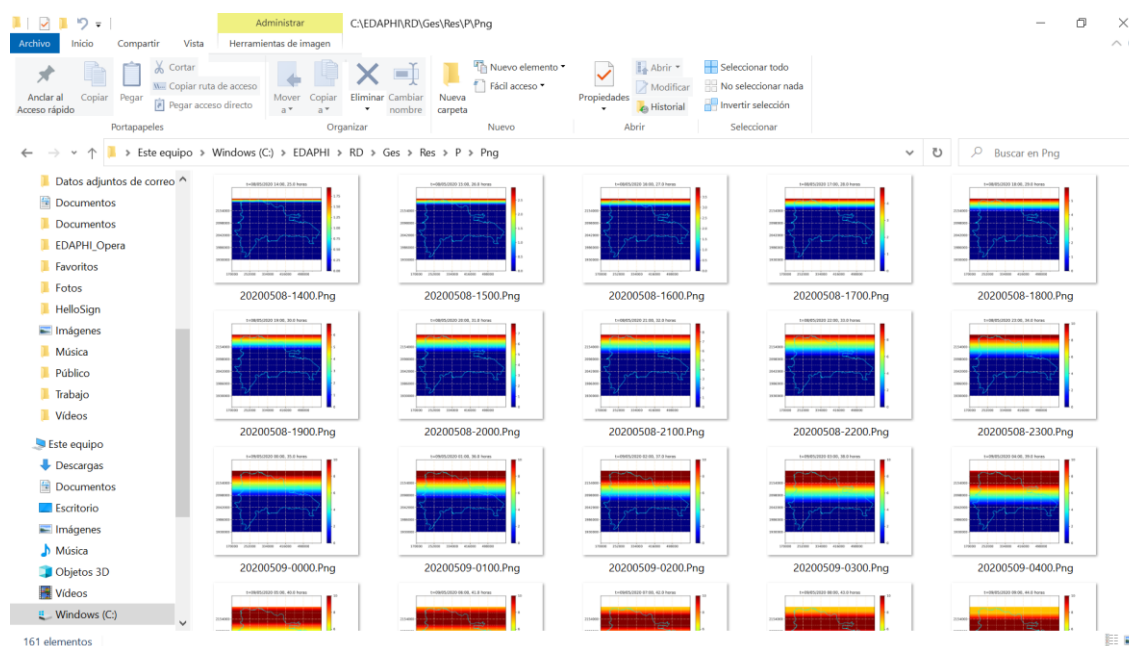


Figura 22-10.- Resultados gráficos

22.8 Instalación

No tiene necesidades especiales de instalación, salvo lo relacionado con el caso MH integrado (ver el capítulo dedicado a MH).

23 EDAPHI-Web. Publicación de resultados

23.1 Introducción

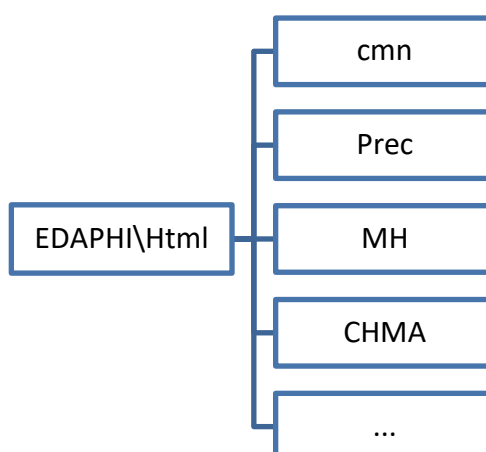
Los módulos EDAPHI cuentan con utilidades para generar archivos apropiados para la publicación web de resultados. Estas capacidades se emplean para la construcción de un sitio web, que puede ser usado en modo local (en el ordenador), organizando los resultados de modo que su consulta sea ágil y cómoda, o para publicar en Internet.

Nota: a lo largo de este documento, en capítulos anteriores, se incluyen algunos ejemplos de generación de resultados para su publicación en web

En la dirección <https://www.edaphi.es/> se pueden encontrar algunos ejemplos

23.2 Organización de archivos

La web se organiza en la carpeta *Html* de la carpeta principal de EDAPHI, usando una subcarpeta para cada módulo.



Cada módulo se organiza de forma libre, aunque manteniendo de algún modo la estructura general de carpetas EDAPHI.

23.3 Publicación

La mayor parte de los resultados que se usan forman parte de las salidas gráficas de cada módulo, por lo que tan solo es necesario copiarlas a la carpeta *EDAPHI\Html*. Esta es la carpeta con los archivos definitivos que se publicará en Internet. El responsable o administrador del sistema de publicación en web de la institución será quien decida cómo realizar esto. Puede ser tan sencillo como subir periódicamente los archivos a un servidor web vía ftp, lo que también puede realizarse con comandos de EDAPHI (ver apartado 23.9)

23.4 Implementación de las páginas

Las páginas que se han escrito para los proyectos en los que se ha aplicado EDAPHI son sencillas. Su modificación y ampliación no requiere conocimientos avanzados. Se han implementado escribiendo su descripción con un editor de texto en lenguaje HTML, usando también código JavaScript.

23.5 Carpetas y resultados de cada módulo

En la subcarpeta de los módulos pueden encontrarse algunos archivos que se generan específicamente, tales como archivos PNG, que pueden usarse en la página web copiándose en la carpeta *EDAPHI\Html*. Parte estos archivos estarán almacenados en la carpeta *Res* de cada módulo, y otros en *Res\Html*. Otros archivos pueden generarse directamente en la carpeta general. También cabe la posibilidad de cargar directamente, desde cada módulo, los archivos en el servidor, pero se aconseja, para control y validación de ejecución de aplicaciones, construir en local (*EDAPHI\Html*) una colección completa de todos los archivos que se publican.

El sistema es flexible, como indica el párrafo anterior. Será el responsable de cada proyecto el que tendrá que decidir al respecto. Pero aquí se ofrecen unos consejos que han dado buen resultado en el uso de las opciones que ofrece EDAPHI, aunque se basen en prácticas de tener copias de archivos en varios lugares.

23.6 XML con datos generales del cálculo

Los módulos generan archivos XML, con nombre *gen.xml*, con contenidos como el siguiente, relacionado con los datos generales acerca de los cálculos y resultados:

```
<PARAMS_EDAPHI>
  <PARAM>
    <DESC>Instante inicial</DESC>
    <ID>t_ini</ID>
    <VALUE>20/04/2019 14:00</VALUE>
  </PARAM>
  <PARAM>
    <DESC>Instante final</DESC>
    <ID>t_fin</ID>
    <VALUE>22/04/2019 14:00</VALUE>
  </PARAM>
  <PARAM>
    <DESC>Instante actual</DESC>
    <ID>t_0</ID>
    <VALUE>20/04/2019 14:00</VALUE>
  </PARAM>
  <PARAM>
    <DESC>Intervalos</DESC>
    <ID>n_int</ID>
    <VALUE>49</VALUE>
  </PARAM>
  <PARAM>
    <DESC>Longitud intervalos (min)</DESC>
    <ID>inc_t_min</ID>
    <VALUE>60</VALUE>
```



```

</PARAM>
<PARAM>
  <DESC>Tiempo máximo de previsión (horas)</DESC>
  <ID>hours_fut</ID>
  <VALUE>48.0</VALUE>
</PARAM>
<PARAM>
  <DESC>Explicación del modelo</DESC>
  <ID>explain_mod</ID>
  <VALUE>Se presentan productos a partir resultados del modelo numérico del tiempo
HARMONIE-AROME transformados en información útil para la hidrología operacional.
Los datos son proporcionados por AEMET:
  http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/modelosnumericos/harmonie_arome</VALUE>
</PARAM>
</PARAMS_EDAPHI>

```

Las páginas HTML cuentan con código JavaScript para la lectura y uso de estos archivos.

23.7 Tablas de series temporales en formato HTML

EDAPHI cuenta con varias posibilidades de generar tablas en formatos HTML, a través de comandos comunes (ver apartado 23.9)

23.8 Código JavaScript

Las colecciones de archivos de los proyectos EDAPHI incluyen módulos JavaScript (archivos .js) con utilidades que facilitan algunas tareas, tales como la lectura de los archivos XML y la incorporación de su información en las páginas.

23.9 Uso de comandos comunes

En los capítulos de los respectivos módulos pueden encontrarse ejemplos del uso de comandos comunes para generar resultados complementarios a los que ofrece la aplicación de manera general. Hay otros comandos que pueden resultar útiles, algunos de los cuales se describen a continuación.

Los comandos `arch_csv` o `arch_xls` pueden generar archivos HTML para su publicación web.

Un ejemplo es:

```

ed_cmd arch_xls -xlsx_to_html
xlsx=%EDAPHI_DIR_AREA%\Prec\Res\%%d\areales.Stats.xlsx n_Sheet=Stats
html=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\Hidro\Prec\subc_stats_%%d.html
n_css="/hidro/cmn/edaphi.css"

```

La utilidad `ts_util` genera listados de variables en formato HTML, y muchas otras utilidades generan archivos CSV o XLSX que pueden ser transformados a HTML con los comandos anteriores.

También el comando `vectorial` proporciona utilidades para generar archivos HTML.

Ejemplo:

```
vect -recs n_shp=%EDAPHI_DIR_AREA%\Sig\mac_cuencas.shp
n_html=%EDAPHI_DIR_AREA%\Html\Hidro\Prec\macrocuencas-rec.html
n_css="/hidro/cmn/edaphi.css"
```

Se recuerda aquí lo indicado para el módulo MH (ver apartado 13.17.2) relativo a publicación de resultados para su consulta con Google Earth, haciendo uso de `mod -kml_res`, como en el ejemplo siguiente:

```
mod -kml_res root_web=https://sipif.indrhi.gob.do/hidro/mhh/YaqueNorte
dir_res=%EDAPHI_DIR_C%\Res\Kml
xlsx_conf=%EDAPHI_DIR_C%\conf_mhh_yn_op.xlsx main_g=MHH_RD_YN.kml
```

O la generación de mapas HTML que se explica en el mismo apartado

23.10 Ejemplo del SAIH Segura

El sitio específico para los resultados EDAPHI es accesible desde la URL <https://saihweb.chsegura.es/edaphi>, cuando se elige el usuario EDAPHI y se introduce la contraseña. Este aspecto del sitio es gestionado por el personal informático del equipo Murcia del SAIH-Segura.

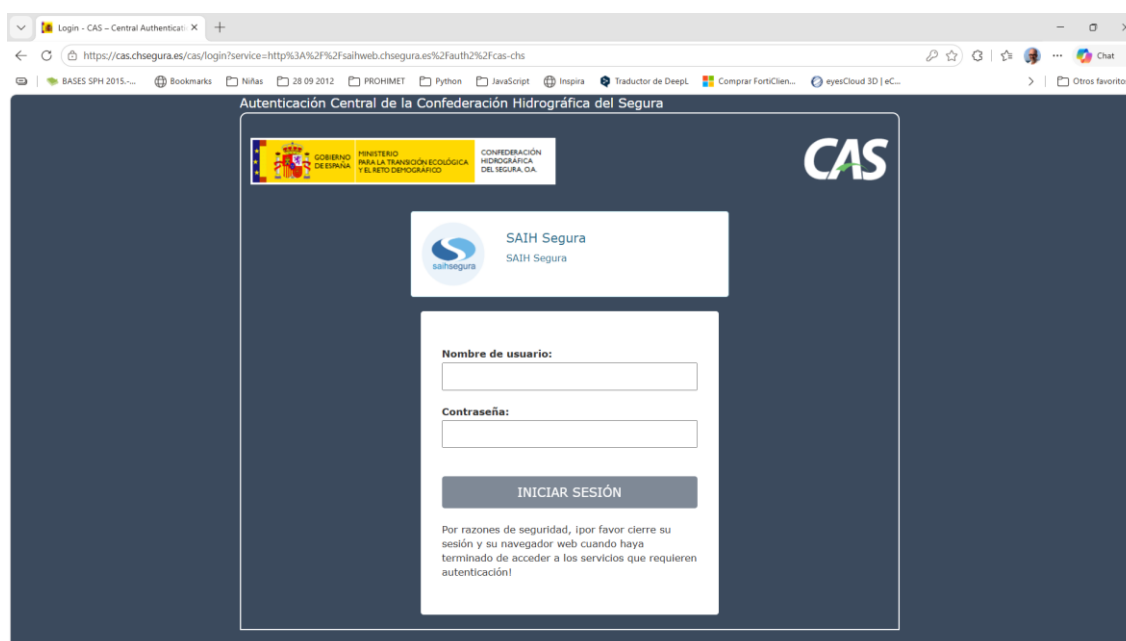


Figura 23-1.- Ventana de acceso al sitio a través de la url <http://www.saihsegura.es/edaphi>

Una vez superada la autenticación del usuario se muestra la página que ofrece acceso a la información de cada módulo o caso de aplicación.

Nota: en lo que sigue se presentan las páginas de una web para pruebas, útiles para varias tareas: entrenamiento de usuarios, pruebas de calibraciones, de variantes de cálculo, o de nuevas interfases. Pueden consultarse en <https://www.edaphi.es>



Figura 23-2.- Primera página. Acceso a los módulos y casos de aplicación

Algunas páginas ofrecen un menú secundario y, generalmente, una tabla de acceso a páginas con distintos tipos de información y modos de presentarla.



Figura 23-3.- Aspecto de la primera página de Lluvias

Se ofrece una página de resultados relevantes con gráficos de mapas que facilitan un primer análisis de los cálculos, basado en acumulaciones y valores máximos en el periodo de cálculo.

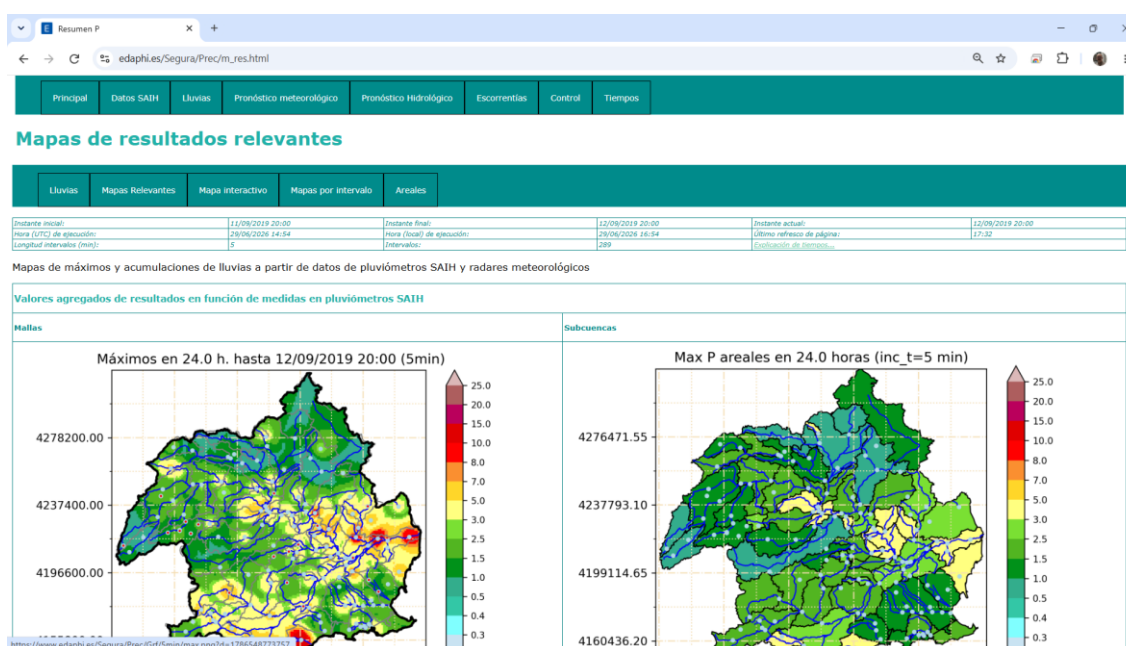


Figura 23-4.- Página de resultados relevantes del cálculo de Lluvias

Ofrece también acceso a mallas de lluvias por intervalo

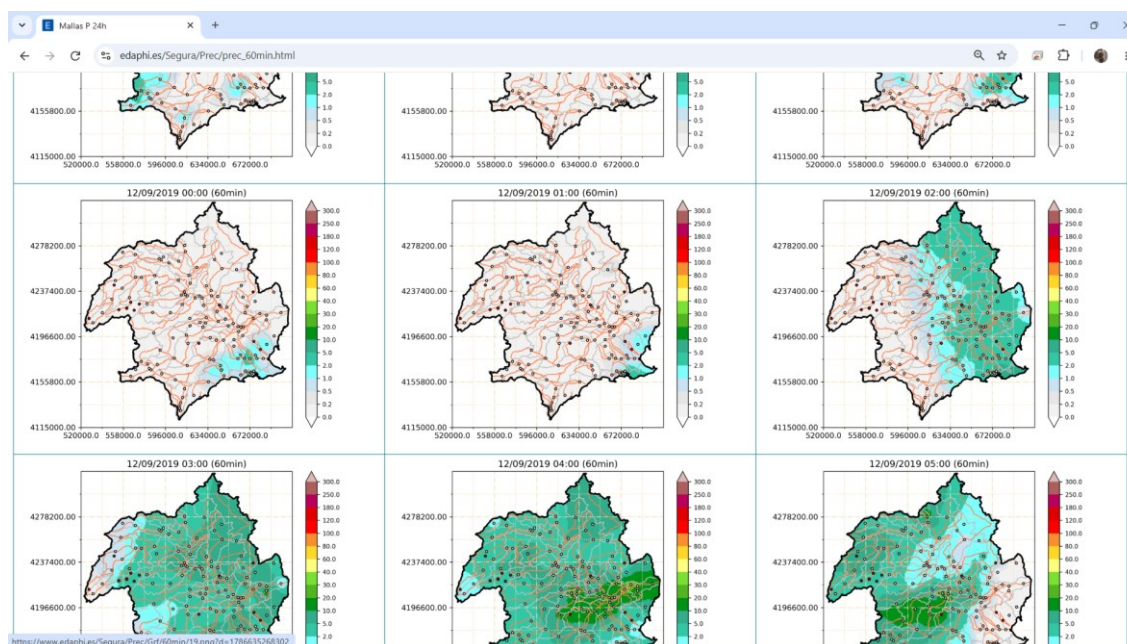


Figura 23-5.- Página con mallas de lluvias por intervalos

Cuenta con varias páginas de consulta de valores areales, en las que puede accederse a tablas alfanuméricas con detalles de los resultados y al uso de gráficos que consulta rápida.

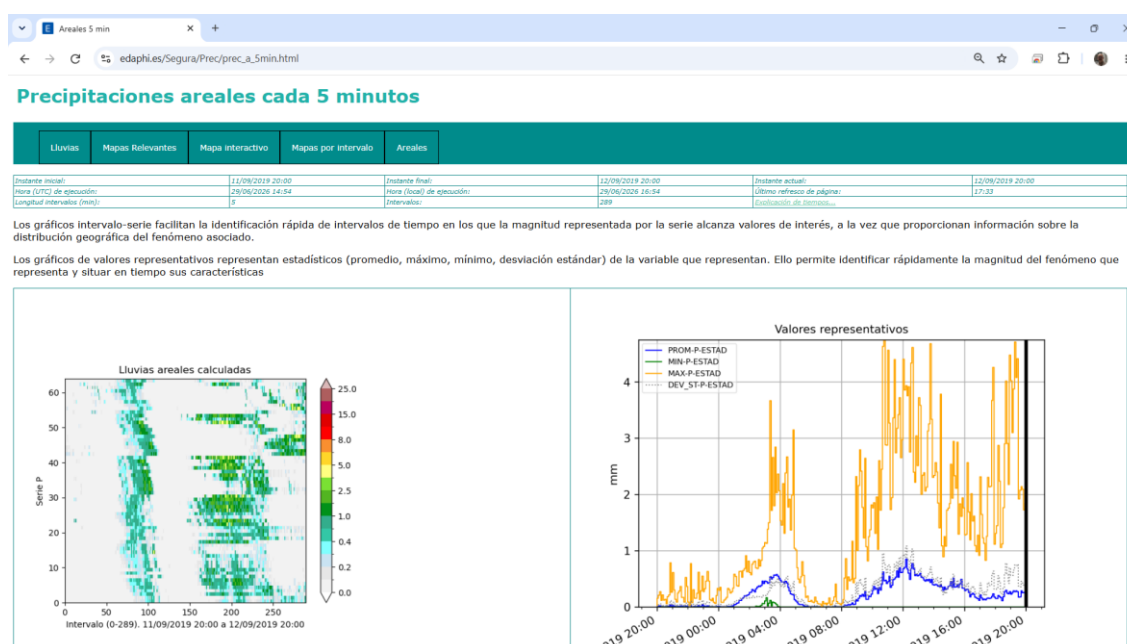


Figura 23-6.- Gráficos de consulta rápida de lluvias

Los mapas interactivos son un recurso interesante para la consulta de información, pudiendo combinarse varios modos: tablas de colores, animaciones, gráficos de series temporales.

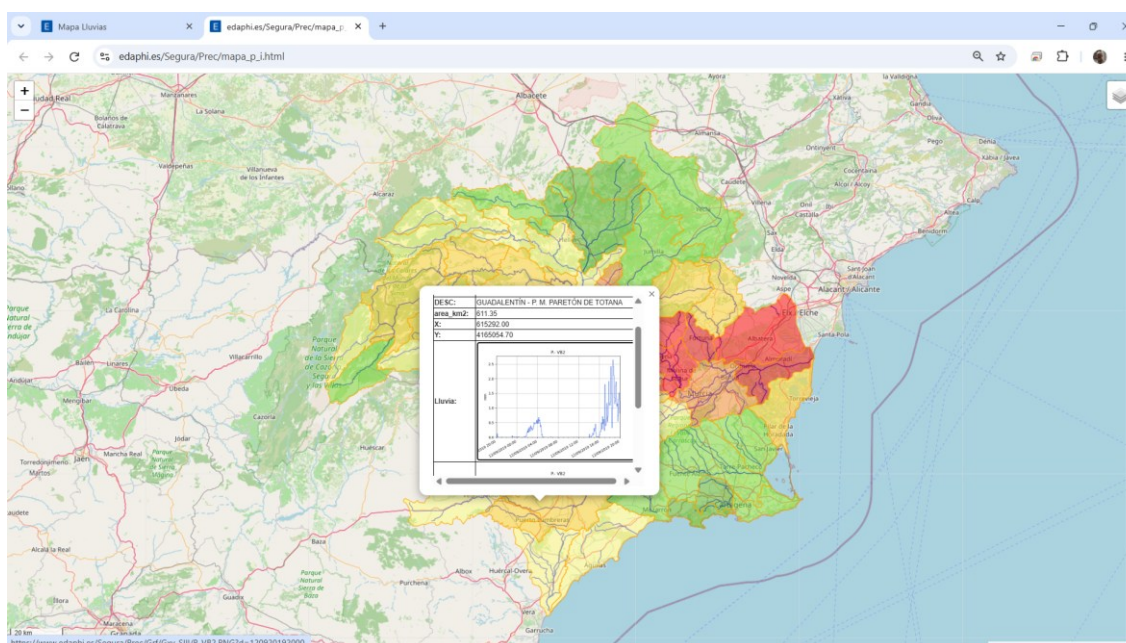
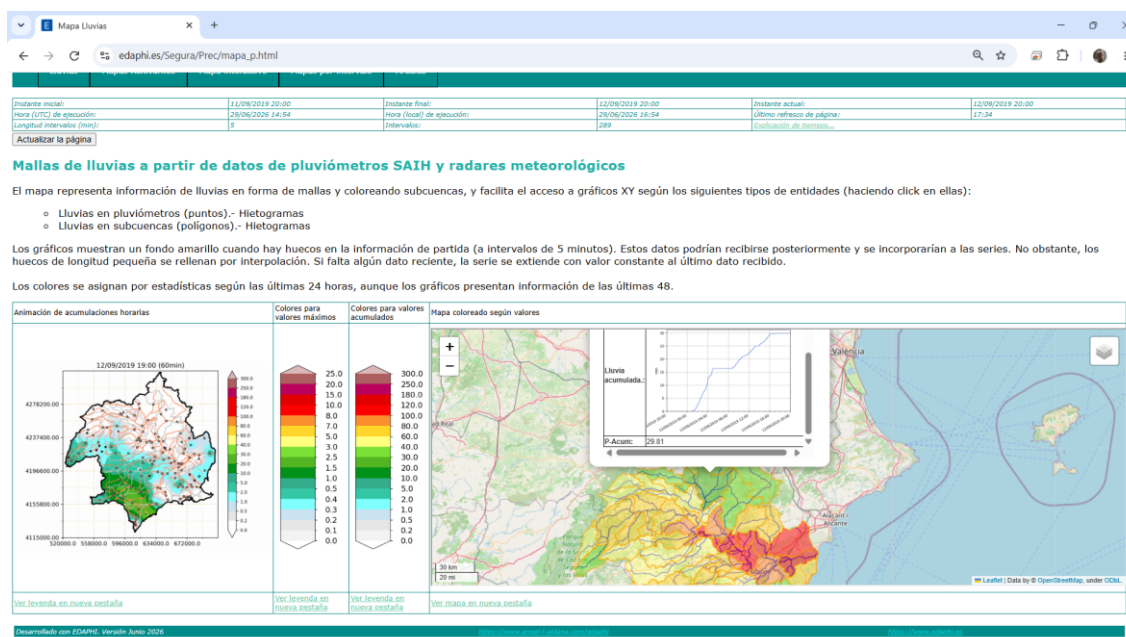


Figura 23-7.- Acceso a mapas interactivos junto a animaciones gráficas

La parte de pronóstico meteorológico se implementó con soluciones análogas a la de lluvias pasadas.

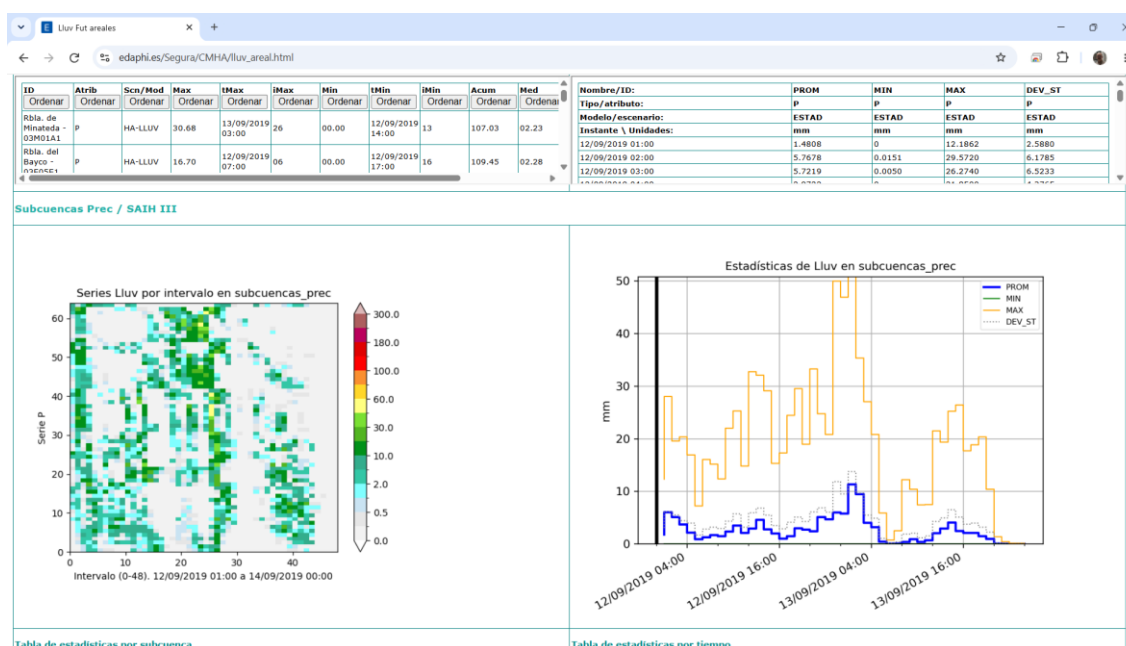


Figura 23-8.- Página de consulta rápida de pronósticos de llluvias, con gráficos y tablas de estadísticas

También se ofrecen mapas interactivos para la consulta de mallas de pronósticos de llluvias, como también se hace para las llluvias pasadas.

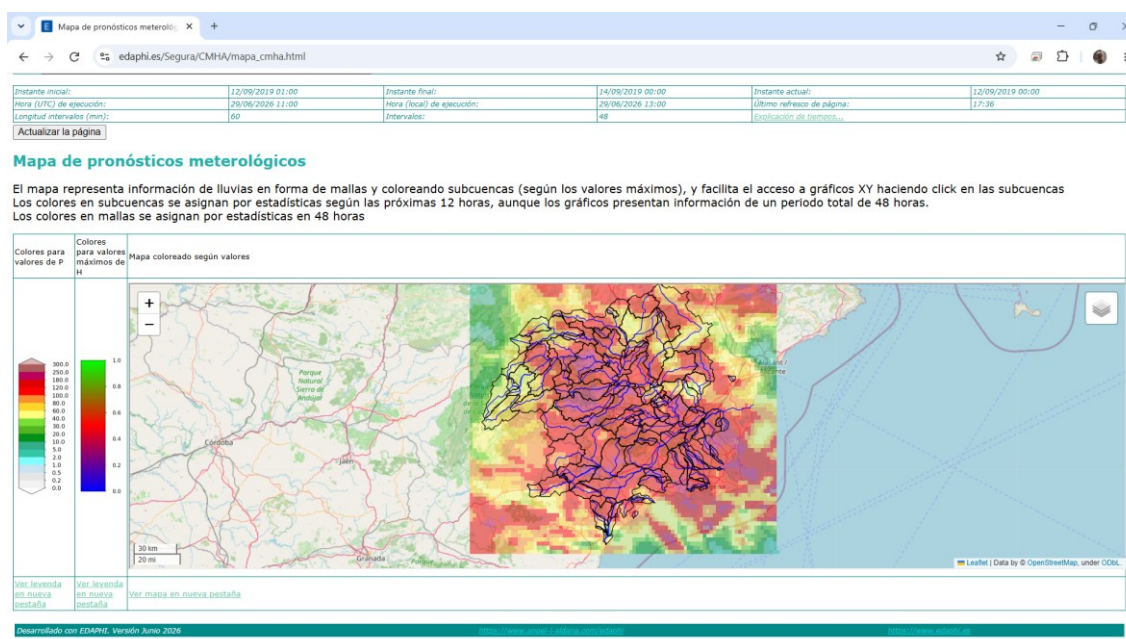


Figura 23-9.- Página de consulta de mallas de pronósticos de llluvias

Se emplean también soluciones similares a algunas de las anteriores para la consulta de datos SAIH.

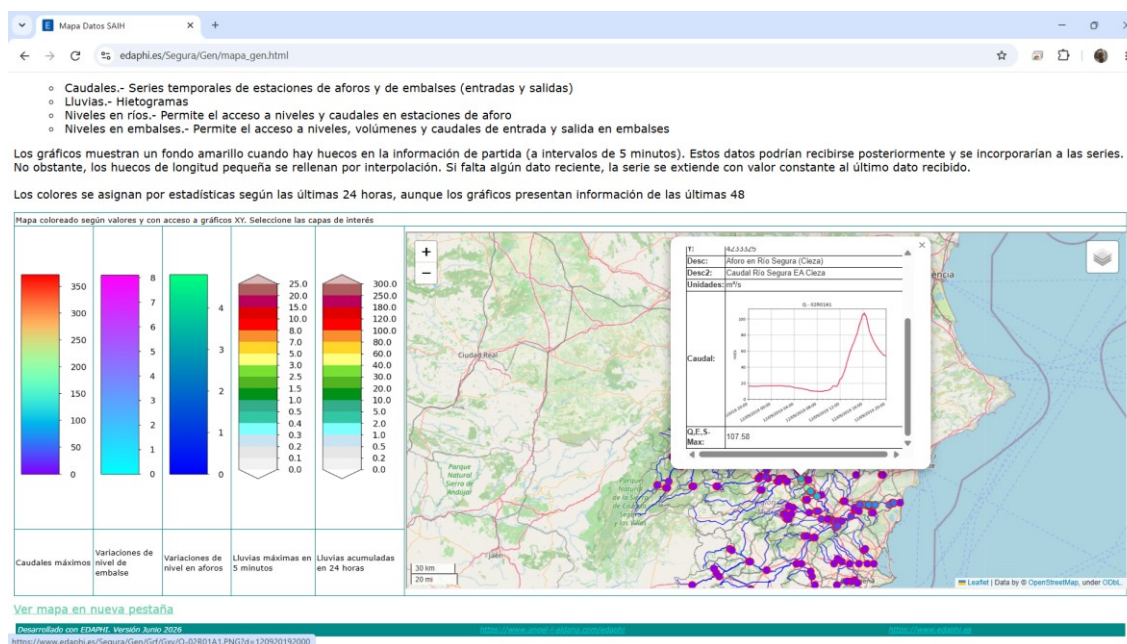


Figura 23-10.- Mapa interactivo para la consulta de datos SAIH

La cuenca del Segura fue dividida en áreas para el cálculo del pronóstico. Como esta web está diseñada para los hidrólogos, la consulta se estructura de acuerdo con la misma división, aunque la primera página ofrece acceso por puntos o a través de un mapa.

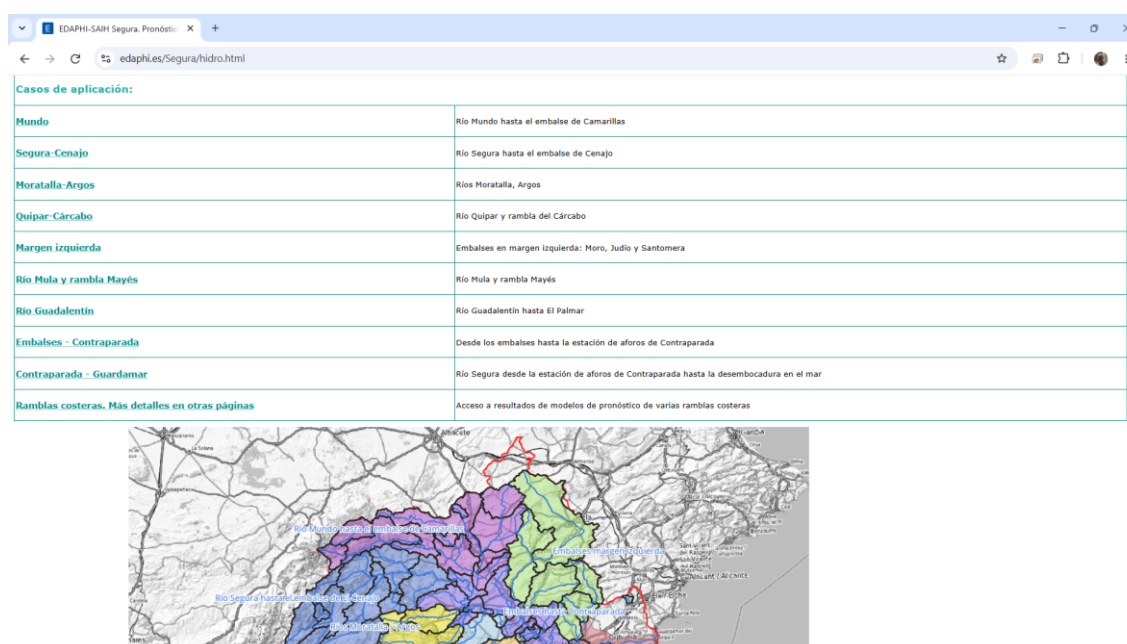


Figura 23-11.- Acceso a los pronósticos según una división de la cuenca apropiada para el análisis hidrológico

La consulta puede hacerse por subsistemas con páginas que muestran gráficos completos y organizados de modo tal que se facilita la consulta rápida de resultados y la verificación del funcionamiento de los modelos.



Figura 23-12.- Página con gráficos de series temporales de pronósticos en un subsistema

La consulta también puede realizarse a través de un mapa de toda la cuenca.

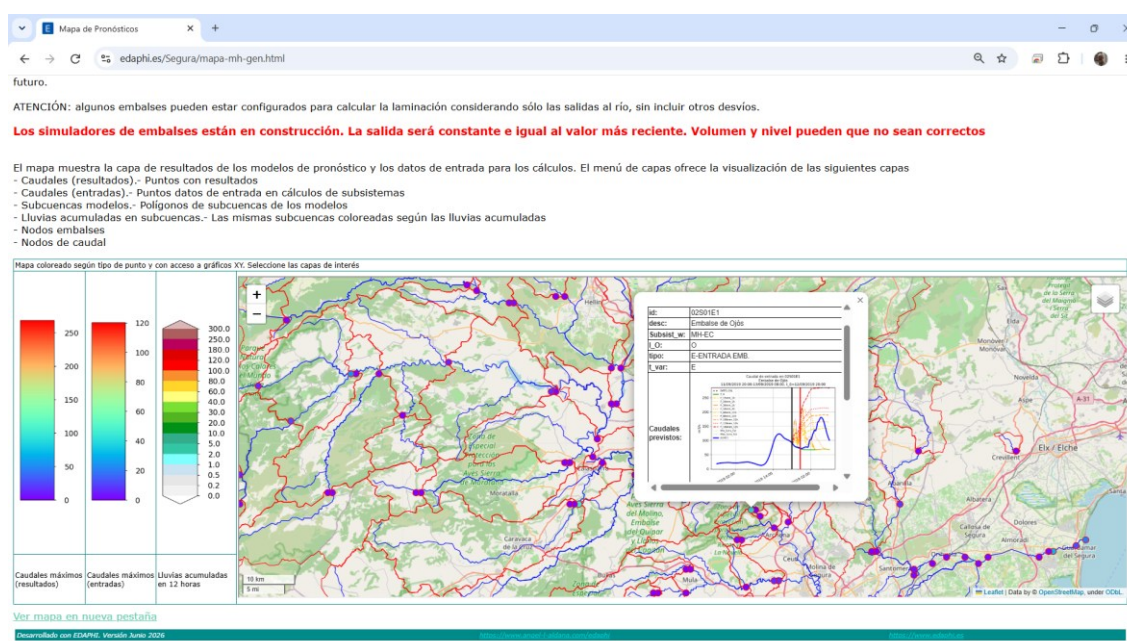


Figura 23-13.- Consulta de pronósticos hidrológicos en un mapa de la cuenca

23.11 Ejemplo de República Dominicana

Se accede a una página (<https://sipif.indrhi.gob.do/>) que da acceso a los pronósticos hidrológicos (los generados con EDAPHI) y a los hidráulicos, que forman parte de un sistema más complejo "Sistema de Pronóstico Integrado de Inundaciones Fluviales para República Dominicana" (<https://community.wmo.int/activity-areas/hydrology-and-water-resources/IRFF-in-Dominican-Republic>).

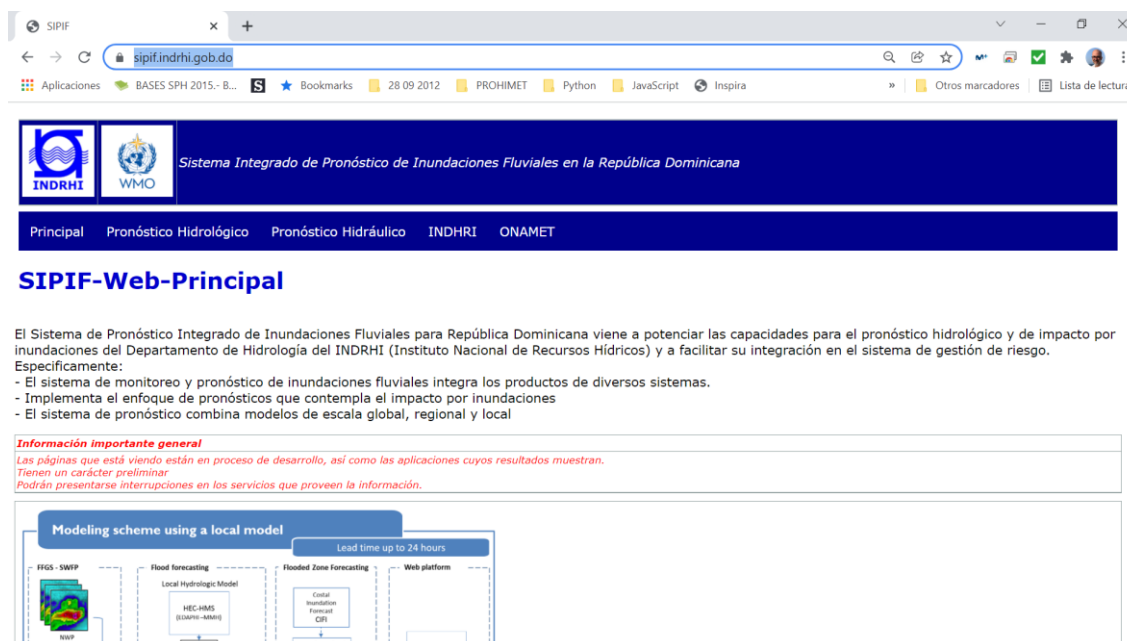


Figura 23-14.- Página principal de SIPIF, el sistema Sistema de Pronóstico Integrado de Inundaciones Fluviales para República Dominicana

Se ha organizado la web de pronóstico hidrológico en tres áreas: datos recientes, precipitaciones futuras y pronóstico hidrológico.

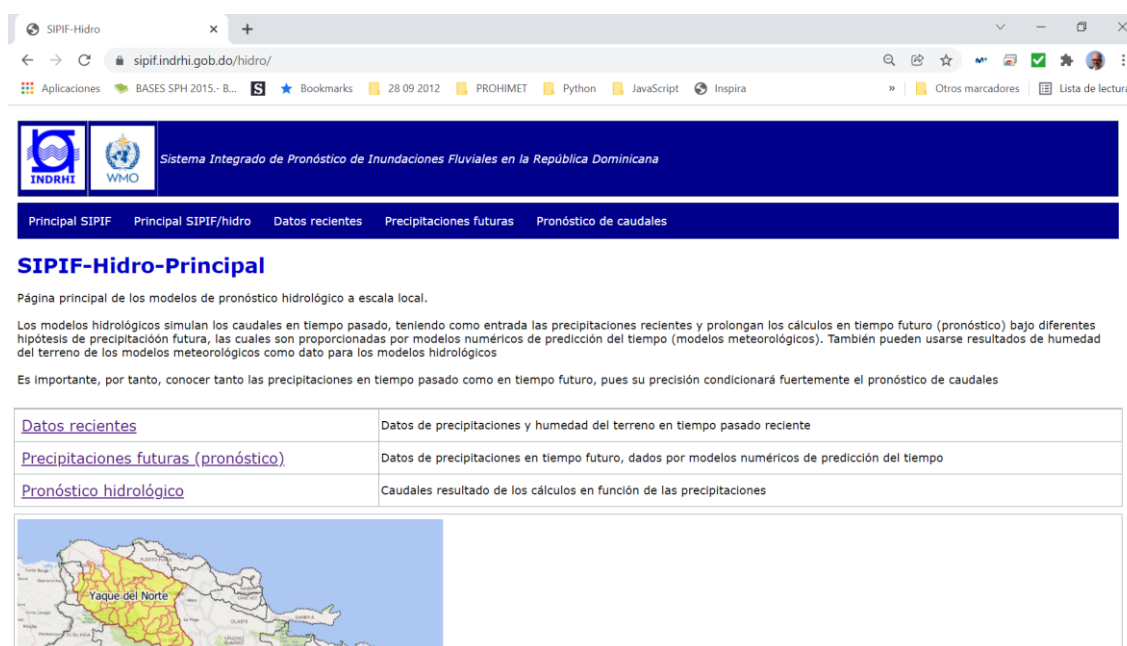


Figura 23-15.- Organización principal de la información hidrológica en la web de SIPIF



Figura 23-16.- Datos pasados de interés en el pronóstico hidrológico en SIPIF

Las formas de representación de las variables espaciales son muy similares, ya sean humedad del terreno, precipitaciones pasadas o futuras.

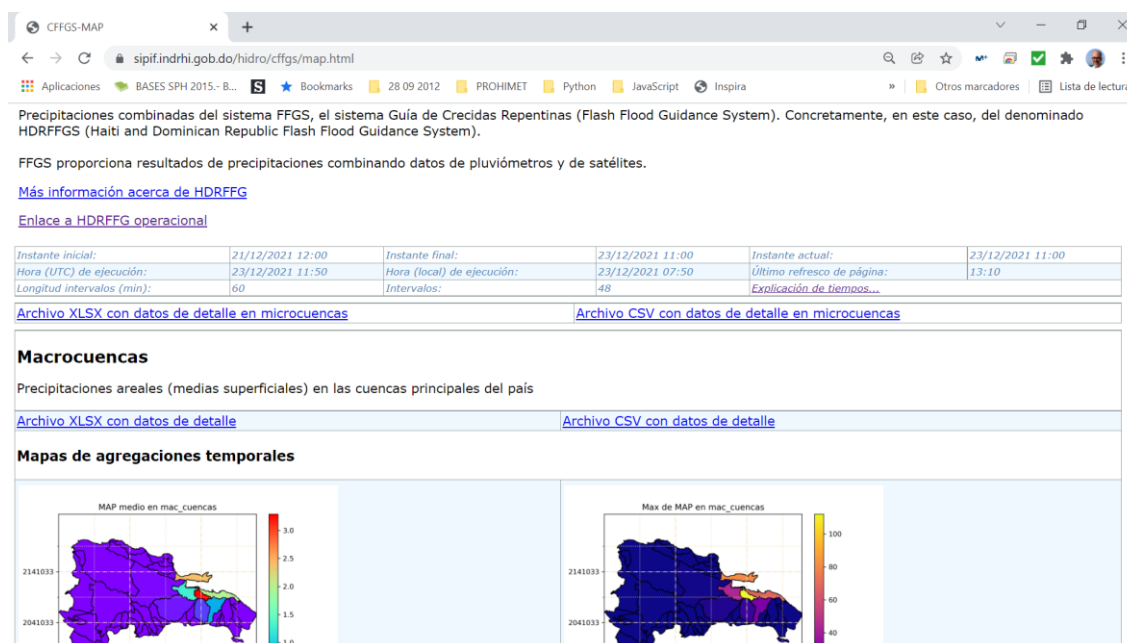


Figura 23-17.- Consulta de información de lluvias pasadas para el pronóstico hidrológico en SIPIF

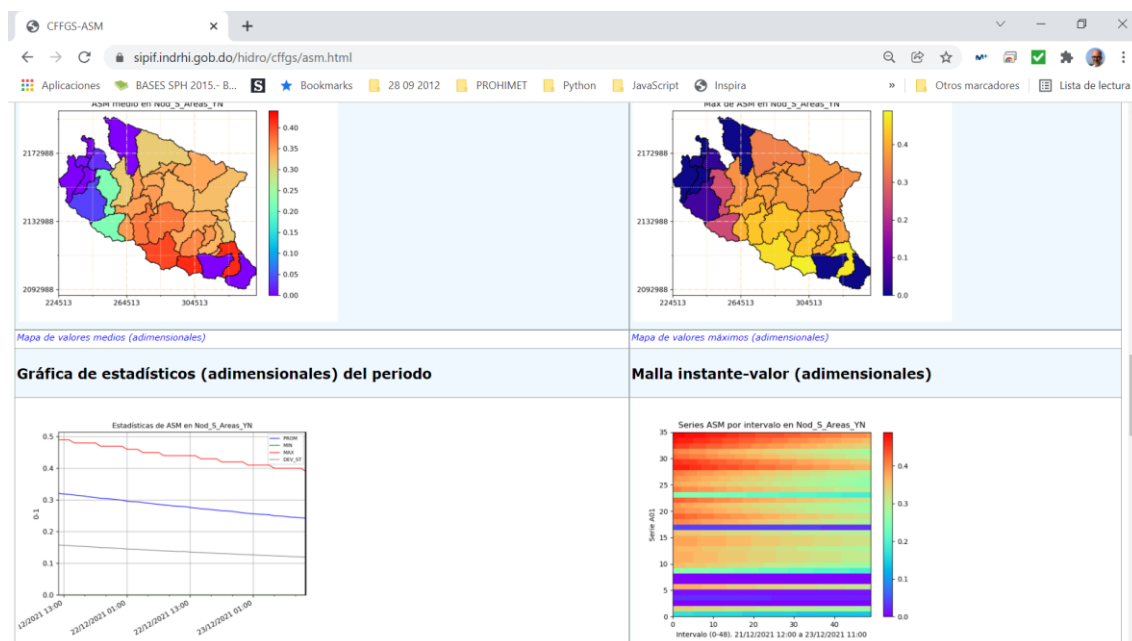


Figura 23-18.- Detalle de página sobre humedad del terreno en el módulo hidrológico de SIPIF

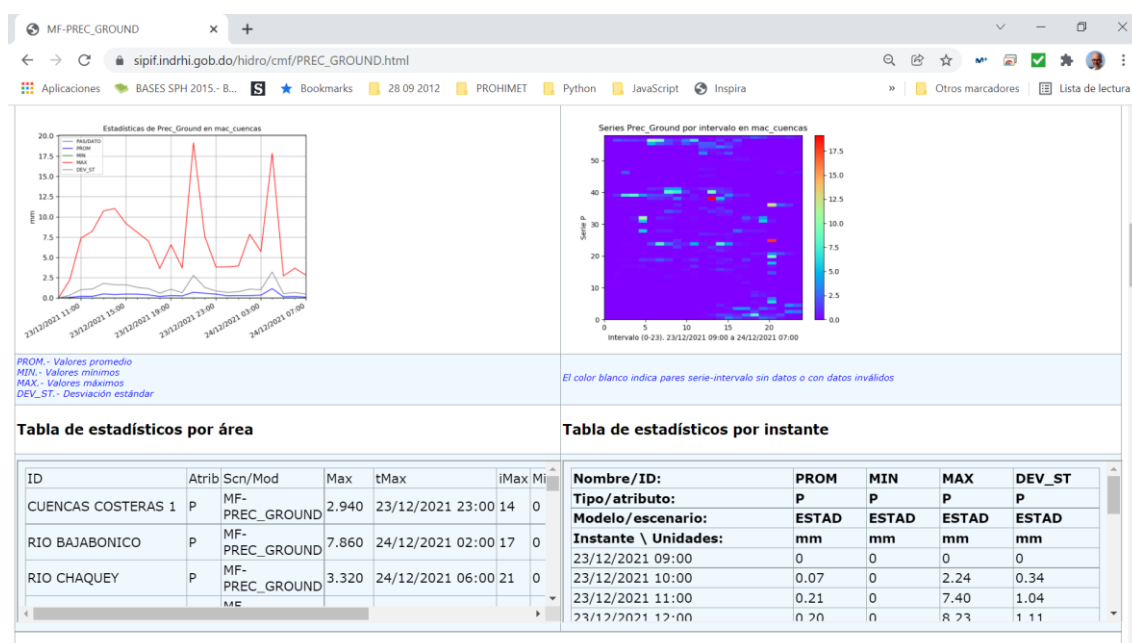


Figura 23-19.- Detalle de lluvias futuras en el módulo hidrológico de SIPIF

Cuando se trata de una cuenca compleja, cabe la opción de clasificar puntos de interés para simplificar las páginas relacionadas o facilitar el acceso a puntos concretos (caso Yaque del Norte).

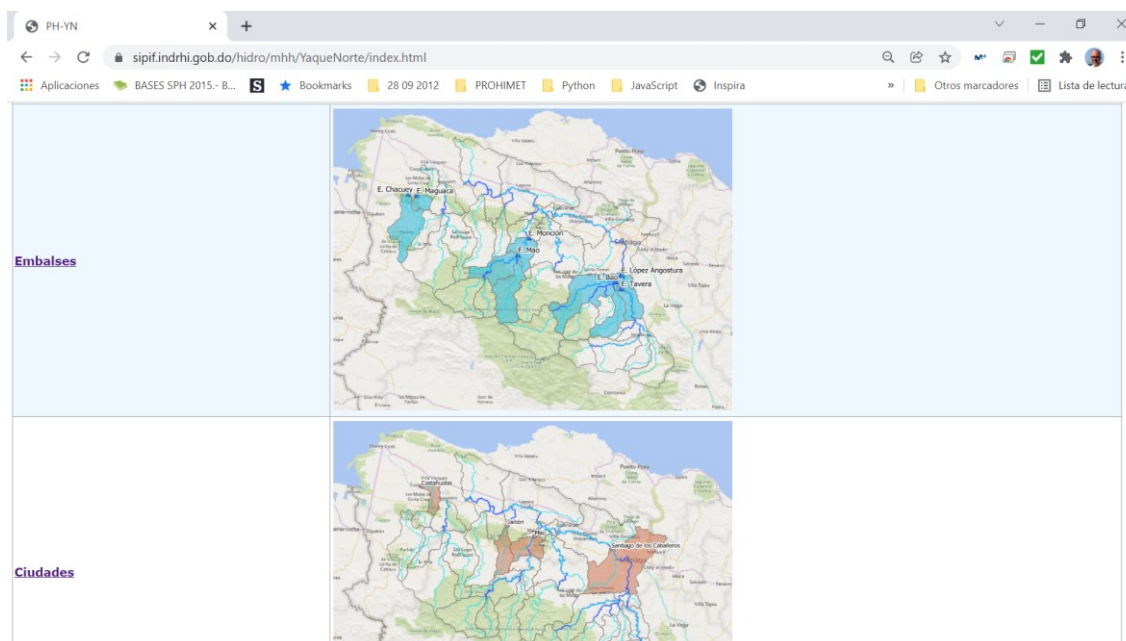


Figura 23-20.- Clasificación de puntos de interés en una cuenca compleja del sistema SIPIF

Mientras que cuando la cuenca es menor y más sencilla, cabe organizar toda la información de pronóstico en una sola página (caso Haina).

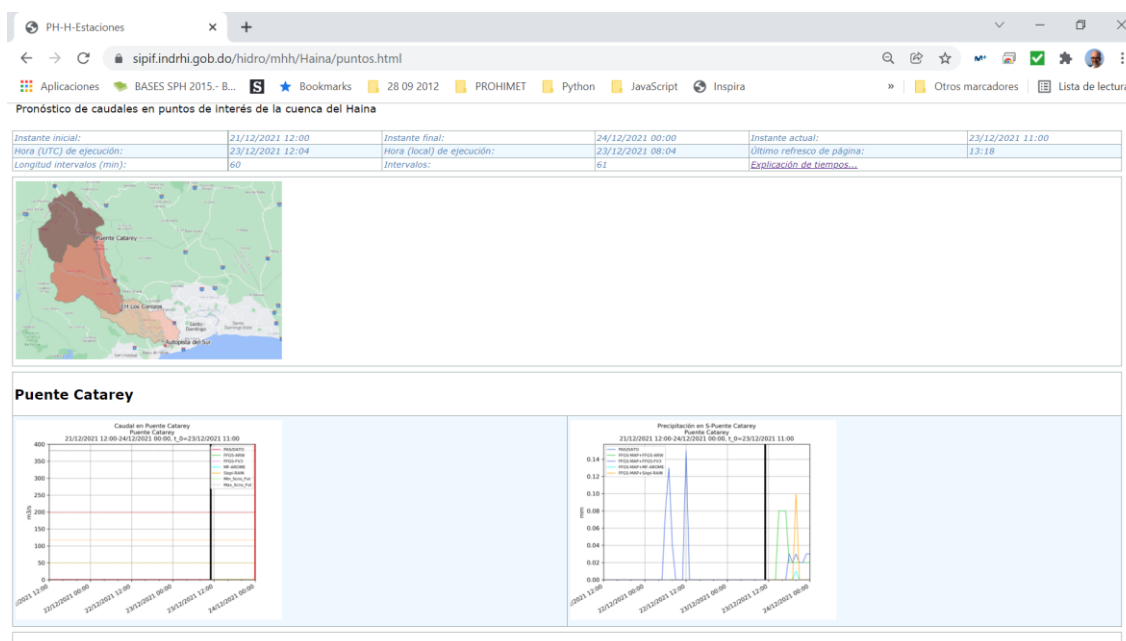


Figura 23-21.- Página de acceso a toda la información para un caso hidrológico sencillo en SIPIF

23.12 Ejemplo de Haití

En el marco de un proyecto OMM-CREWS se está construyendo un sistema de pronóstico para un par de cuencas piloto en Haití. La parte hidrológica, de modo análoga al caso de República Dominicana, se está solucionando con EDAPHI.

El caso es sencillo, con pocos puntos, y se han usado soluciones de presentación de resultados similares a los de los casos anteriores

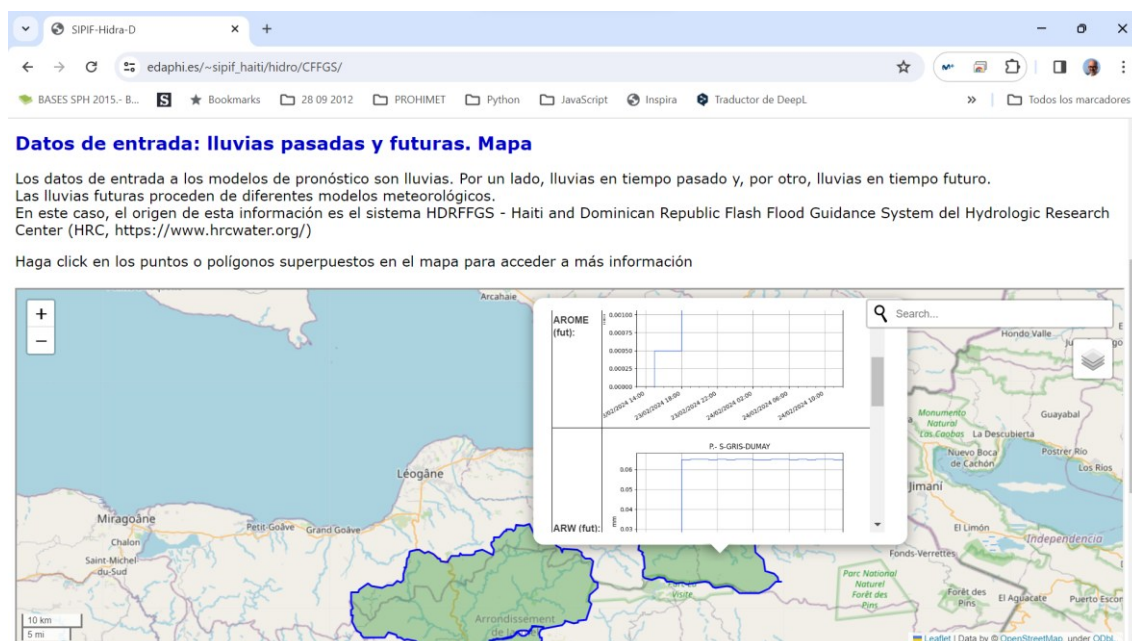


Figura 23-22.- Uso de mapas de acceso a datos y resultados en el caso de Haití

24 EDAPHI-GHR. Utilidades para la modelación hidráulica combinando Hec-Ras, Grass y otra posible aplicación SIG

24.1 Introducción

La aplicación GHR ha sido diseñada para la realización de cálculos hidráulicos unidimensionales de tramos de ríos con el modelo Hec-Ras (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras>). Su función principal es la de facilitar la definición geométrica del tramo, usando un modelo digital del terreno (MDT) para la obtención y operación con cotas de la superficie del agua y de la del suelo.

Además de la aplicación Hec-Ras, la base de GHR es el SIG (Sistema de Información Geográfica) Grass (<https://grass.osgeo.org/>). Aunque puede usarse otro SIG en algunas tareas.

24.2 Funcionalidad de la aplicación

La aplicación trabaja sobre un MDT, en formato ráster (matricial), como una de las principales fuentes de información. Ofrece dos posibilidades:

1. Con el MDT y junto a unas capas SIG vectoriales de ejes longitudinales y plantas de las secciones transversales al cauce, genera un archivo (tipo SDF, ver apartado "Intercambio de información con Hec-Ras a través de archivos SDF") que contiene la caracterización hidráulica del tramo de río, incluyendo las definiciones verticales de las secciones transversales, cuyas cotas se habrán obtenido del MDT.
2. A partir de un archivo SDF exportado desde Hec-Ras, genera las capas vectoriales de ejes y secciones y, si incluye los resultados de cálculo, genera también las áreas de inundación. La aplicación puede generar también las capas SIG de los límites de las zonas inundables incluidos en el SDF, pero también admite que éstos sean modificados por el usuario para condicionar la interpolación de los calados de agua en el terreno, todo ello usando el MDT.

La aplicación cuenta con comandos *a_sdf* para el primer bloque de tareas y *de_sdf* para el segundo (ver apartado 24.4)

24.2.1 Intercambio de información con Hec-Ras a través de archivos SDF

En el apéndice B del manual de usuario de Hec-Ras ("River Analysis System, HEC-RAS, User's Manual"), titulado "Hec-Ras Data Exchange", se describe el archivo denominado "Spatial Data Format". GHR escribe un archivo de este tipo a partir de

información en formato SIG (vectoriales y raster), con la caracterización del tramo de río, que Hec-Ras puede leer. También puede leer este tipo de archivo, generando en este caso un conjunto de capa SIG.

24.3 Diseño de la aplicación

Pueden encontrarse otras soluciones que ofrecen utilidades que satisface GHR. Entre otras, cabe destacar las siguientes:

- RiverGIS. "RiverGIS es un plugin QGIS para crear geometría de modelo de flujo HEC-RAS a partir de datos espaciales. La funcionalidad es similar a la de HEC-GeoRAS. Para el almacenamiento de datos y operaciones espaciales necesita una base de datos PostGIS" (<http://www.rivergis.com>)
- Hec-GeoRas: "HEC-GeoRAS es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades para el procesamiento de datos geoespaciales en ArcGIS utilizando una interfaz gráfica de usuario (GUI)" (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-georas>).

La primera solución, RiverGIS, se basa en el software libre SIG QGIS (<https://www.qgis.org/>), pero requiere una base de datos PostGIS (<http://www.postgis.net>). La segunda, Hec-GeoRas, se basa en la aplicación ArcGIS (<http://www.arcgis.com>), que es comercial.

Ambas son más completas y, por ello, más complejas que GHR, la cual se ha concebido para lograr una solución rápida y eficaz para la modelación unidimensional de tramos de río.

GHR ha sido diseñado para los problemas habituales en la práctica profesional de la hidrología operacional

GHR sólo depende de Grass y usa el intérprete de Python que lleva asociado, por lo que no tiene exigencias especiales en la instalación.

Algunas tareas que se realizan con GHR, también podrían realizarse desde el mismo Hec-Ras. Pero el empleo de herramientas SIG especializadas se considera ventajoso desde muchos puntos de vista.

24.3.1 Aplicaciones básicas que integran GHR

GHR se basa en el SIG Grass para, a partir de información geográfica, generar archivos SDF, con la caracterización hidráulica de un tramo de río o canal, que puede leer Hec-Ras. Las capas SIG pueden ser editadas directamente en Grass o importarse

desde archivos SHP y TIF (aunque podrían usarse otros, ver <https://grass.osgeo.org/grass72/manuals/vectorintro.html> y <https://grass.osgeo.org/grass72/manuals/rasterintro.html>),

También puede generar información geográfica a partir de un archivo SDF que HecRas puede generar.

Por sus características útiles en el manejo de información geográfica, el caso de aplicación que se presenta en este documento se apoya en el SIG QGIS (<https://www.qgis.org/>).

24.3.2 Estructura de archivos

24.3.2.1 Carpeta de caso (uso)

Todos los archivos de cada caso de aplicación se almacenarán en una carpeta que se denominará "Carpeta de caso", la cual se organizará en subcarpetas:

- *A_Sdf*.- Almacena los archivos vectoriales que caracterizan la modelación hidráulica que se almacenará en el archivo "a_hecras.sdf" preparado para ser importado desde Hec-Ras.
- *De_Sdf*. - Almacena los archivos que se generan a partir de un SDF (De_HecRas.sdf) generado desde Hec-Ras
- *Grass*. - La carpeta de Grass ("GRASS GIS database directory")
- *HecRas*. - Carpeta de HecRas
- *Cntrl*. - La aplicación irá generando archivos tipo LOG (extensión LOG) que almacenan trazas de ejecución de los diferentes comandos
- *SIG*. - Carpeta opcional en el que se almacenan algunos archivos de interés para el caso de aplicación
- *Sdf*. - Carpeta en la que se almacenan los archivos SDF (RAS GIS export files)

Se recomienda que las carpetas de caso se estructuren dentro de otra denominada GHR, la cual se incluirá dentro de otra general (*EDAPHI_DIR*) de las aplicaciones EDAPHI. Por ejemplo, el caso de aplicación a la rambla de Benipila podría estar en:

%EDAPHI_DIR%\GHR\Rambblas\Benipila

Carpeta *A_Sdf*

Las siguientes capas vectoriales serán los principales datos para definir la geometría de un modelo:

Otras capas pueden ser dato o se generadas por GHR:

- *orilla_a.shp* y *orilla_b.shp*. - Orillas ("Banks", en terminología Hec-Ras en inglés) del cauce principal.

Y las siguientes serán resultados de la operación de generación del archivo SDF:

- *intersec_a.shp*, *intersec_b.shp*, *intersec_tramo.shp*. - Intersecciones de ejes longitudinales con las secciones

La aplicación genera copias de archivos a los que añadirá ".copia" antes de la extensión que corresponda.

Carpeta De_Sdf

Contendrá capas vectoriales análogas a las que se encuentran en la carpeta *A_Sdf* salvo que su nombre lleva como prefijo "d_": *d_secciones*, *d_tramo*, etc. Hay dos diferencias en algunas de las capas:

- Las orillas se nombran con *d_orilla_izq* y *d_orilla_der*, para indicar cuál es la orilla izquierda y cual la derecha (según el sentido de la corriente, es decir, hacia aguas abajo).
- Los muros se nombran *d_muros_puntos*, para recordar que contienen los puntos "Levees" de las secciones de Hec-Ras.

En esta carpeta también se pueden encontrar archivos Tif con los prefijos "calado_" y "cotas_agua_" que almacenan los resultados bidimensionales, obtenidos por interpolación, de las zonas de inundación calculadas por GHR, como alternativa a los mismos resultados que puede proporcionar la aplicación RAS-Mapper asociada a Hec-Ras.

En esta carpeta pueden almacenarse también los límites de inundación (capas vectoriales denominadas con el prefijo *lim_perfil_*) de cada perfil longitudinal de cálculo ("profile" de Hec-Ras), que definen el área límite para el cálculo de las zonas inundables. La aplicación ofrece la opción de generar estas o no al obtener información del archivo SDF, pues puede tener interés modificar esta capa a mano para mejorar las interpolaciones de las láminas de agua (ver ejemplo de aplicación en 0)

24.4 Comandos

La instrucción *comandos* ofrece una lista de las utilidades disponibles.

Comando	Descripción
<i>a_sdf</i>	Define la geometría de entrada a HecRas (archivo sdf) a partir de los SHP

ayuda	Ayuda
cd_caso	Cambia al directorio de caso
comb_geom	Combina la geometría de dos SDF. El resultado es sdf_prin al que se habrán impuesto puntos de sdf_sec
crea_caso	Crea las subcarpetas de caso a partir de la carpeta principal
crea_loc	Crea el "LOCATION" de Grass en el directorio Grass de caso a partir de las características de un Tif
crea_orillas	Crea las orillas a cierta distancia del eje longitudinal (tramo)
crea_sec	Crea secciones de cierto ancho y cada cierta distancia
de_sdf_geom	Lee el sdf de _hecras.sdf y genera las capas de geometría y las guarda en formato SHP
de_sdf_res_nolim	Lee de _hecras.sdf y los límites de inundación (no usa los del SDF) y genera las capas de inundaciones
de_sdf_res_todo	Lee de _hecras.sdf y genera las capas de inundaciones y sus límites (los definidos en el archivo SDF)
dir_caso	Muestra o asigna el directorio del caso
entorno_ghr	Muestra las variables de entorno
gen_shp_geom	Guarda en archivos SHP los resultados de comandos DE_SDF
gen_shp_tif	Genera los SHP y TIF procedentes de operaciones DE_SDF
gen_shp_tif_no_lim	Genera los SHP y Tiff resultados de comandos DE_SDF pero EXCEPTUANDO los límites de inundación
mdt_a_grass	Importa el archivo mdt.tif de un directorio a Grass
par_tramo	Genera orillas paralelas a tramo a una determinada distancia
vec_a_grass	Incluye los vectoriales en SHP de la carpeta A_Sdf en Grass
vec_a_shp	Guarda los vectoriales de Grass en archivos SHP de la carpeta A_Sdf
docs	Abre una ventana del explorador de la carpeta %EDAPHI_DIR%\Docs
ejecuta_grass	Ejecutar un comando Grass
ejecuta_py	Ejecuta el módulo py que se indique como argumento
ejecuta_py_cm	Ejecuta el módulo py de la librería general común que se indique como argumento

Tabla 24.- Comandos del módulo GHR

El comando Ayuda mostrará el archivo "Ayuda.txt" (ver ilustración siguiente)

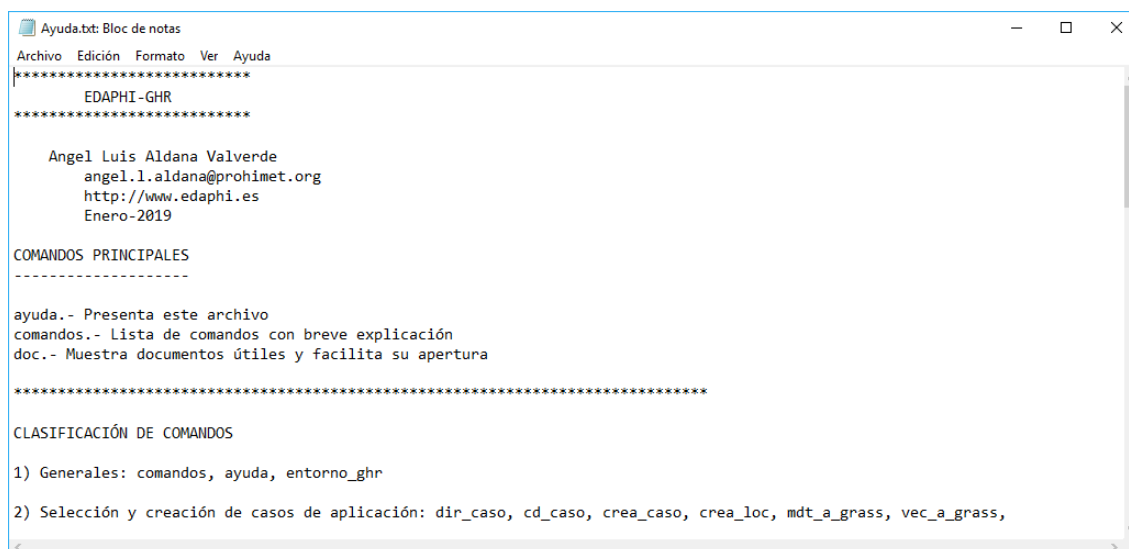


Figura 24-1.- Ventana de ayuda

El comando *doc* facilita el acceso a documentos relacionados con la aplicación.

24.4.1 Clasificación de comandos

- 1) Generales: *comandos*, *ayuda*, *entorno_ghr*
- 2) Selección y creación de casos de aplicación: *dir_caso*, *cd_caso*, *crea_caso*, *crea_loc*, *mdt_a_grass*, *vec_a_grass*, *vec_a_shp*, *crea_orillas*, *crea_sec*
- 3) Generación de SDF para importar desde HecRas: *a_sdf*, *comb_geom*
- 4) Generación de capas a partir de SDF exportado desde HecRas: *de_sdf_geom*, *de_sdf_res_todo*, *de_sdf_res_nolim*, *gen_shp.tif*, *gen_shp.tif_no_lim*

24.5 Uso de la aplicación

Dado que el uso de esta aplicación es algo más compleja, se extiende este apartado para ilustrar sus posibilidades.

24.5.1 Creación de carpeta de caso

- 1) Comando *crea_caso*. Se crearán la carpeta y las subcarpetas necesarias y se copiarán archivos útiles

Ejemplo: *crea_caso C:\EDAPHI\GHR\Ramblas\Benipila*

- 2) Comando *crea_loc*. Se genera el LOCATION necesario para Grass a partir de las especificaciones de un archivo (*mdt.tiff*, por ejemplo)

Ejemplo: *crea_loc E:\Segura2017\Ramblas\Benipila\SIG\mdt.tif*

Puede usar los comandos *dir_caso*, *cd_caso* y *entorno_ghr*

3) Importar el mdt en Grass o usar el comando *importa_mdt*. Se sugiere usar un archivo de sombreado (*mdt_sombra.tif*) para mejorar la visualización

4) Crear los archivos SHP *tramo*, *secciones*, *orilla_a* y *orilla_b*

4-1) Examinar los ejemplos para copiar la estructura

4-2) Una opción (recomendable) es crear primero *tramo*, *orilla_a* y *orilla_b*, seguido por VEC_A_GRASS (para cargar los longitudinales) y finalmente *crea_sec*

4-3) *orilla_a* y *orilla_b* pueden crearse, al menos en primera versión, con *crea_orillas*, después de crear las secciones. Así, la otra opción es crear *tramo*, después las secciones (punto anterior) y finalmente ambas orillas

5) Seguir uso normal

24.5.2 Uso normal

1) Comando *dir_caso* para seleccionar el caso.

Ejemplo: *dir_caso C:\EDAPHI\GHR\Ramblas\Benipila*

O emplear el comando *ventana.cmd* en la carpeta del caso de aplicación.

2) Edición de secciones y perfiles. - Usar el comando *vec_a_grass* si se editan archivos SHP en aplicaciones como QGIS, para que sean importados a la base de datos Grass

3) Iterar con el uso de las aplicaciones SIG, Hec-Ras y el comando *a_sdf*

3-1) Comando *a_sdf* para la generación del archivo GIS de HecRas

3-2) Revise los resultados

3-3) Importar el archivo SDF desde la ventana de geometría de HecRas, configurar el proyecto con el resto de los archivos (opciones) y calcular.

3-4) Usar RasMapper para visualizar los resultados.

4) Cuando se haya alcanzado un primer modelo con Hec-Ras, puede ser recomendable el uso de los comandos *de_sdf_*, iterando, en este caso, con los resultados de Hec-Ras en el archivo SDF generado desde esta aplicación.

4-1) Generar, en primer lugar, todas las capas geográficas con *de_sdf_geom*

4-2) Usar el comando `de_sdf_res_todo`. Revisar los resultados y modificar los límites de inundación (límites para las interpolaciones de superficies de láminas de agua) donde sea conveniente o necesario.

4-3) Iterar con modificaciones de límites y comprobación de resultados, usando el comando `de_sdf_nolim` (para no modificar los límites editados manualmente)

4-4) Si realiza alguna modificación de capas en Grass, puede exportarla con `gen_shp_geom`. También se pueden emplear los comandos `gen_shp_tif` y `gen_shp_tif_no_lim`.

5) Puede que sea necesario volver a las iteraciones del punto 3.

24.6 Casos de aplicación

Al igual que el anterior, este apartado tiene como fin mostrar las posibilidades de uso de este módulo, algo más complejo.

En el apartado anterior se ha empleado QGIS, especialmente para editar capas vectoriales. Aunque se puede prescindir de esta aplicación y realizar todas las tareas sólo con Grass. Muchas de las ilustraciones de ventanas de QGIS van acompañadas de las equivalentes en Grass.

24.6.1 Caso completo

24.6.1.1 Preparación de la carpeta de caso

Comando `crea_caso`

Usar el comando `crea_caso`

Ejemplo: `crea_caso E:\Segura2017\Ramblas\Benipila`

Este comando creará las carpetas necesarias y copiará o creará algunos archivos útiles.

El comando `cd_caso` llevará a la carpeta de caso. Con `dir_caso` será posible cambiar dicha carpeta, es decir, el caso de trabajo.

Contenido del archivo `ventana.cmd` en una carpeta de caso

Se recomienda incluir un archivo `ventana.cmd` en el directorio de caso, para mayor comodidad en el uso de GHR, según lo indicado en el capítulo 5. De ese modo, la aplicación se iniciará, debidamente configurada para el caso, al hacer doble click en el explorador de Windows sobre el archivo.

Preparación de datos SIG

El primer paso es la carga del MDT, para después empezar a definir perfiles longitudinales y secciones transversales.

Sistema de proyección

Para evitar posibles problemas o dificultades en Grass, todas las capas deben estar referidas al mismo sistema de referencia, el del MDT. En el caso español, pueden emplearse las capas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG, <http://centrodedescargas.cnig.es>), cuyo sistema de referencia es EPSG:25830 (<http://spatialreference.org/ref/epsg/25830/>):

```
PROJCS["ETRS89 / UTM zone 30N",
  GEOGCS["ETRS89",
    DATUM["European_Terrestrial_Reference_System_1989",
      SPHEROID["GRS 1980", 6378137, 298.257222101,
        AUTHORITY["EPSG", "7019"]],
      AUTHORITY["EPSG", "6258"]],
    PRIMEM["Greenwich", 0,
      AUTHORITY["EPSG", "8901"]],
    UNIT["degree", 0.01745329251994328,
      AUTHORITY["EPSG", "9122"]],
    AUTHORITY["EPSG", "4258"]],
  UNIT["metre", 1,
    AUTHORITY["EPSG", "9001"]],
  PROJECTION["Transverse_Mercator"],
  PARAMETER["latitude_of_origin", 0],
  PARAMETER["central_meridian", -3],
  PARAMETER["scale_factor", 0.9996],
  PARAMETER["false_easting", 500000],
  PARAMETER["false_northing", 0],
  AUTHORITY["EPSG", "25830"],
  AXIS["Easting", EAST],
  AXIS["Northing", NORTH]]
```

Creación de capa de recorte de MDT

Contando con que ya se cuenta con los MDT, se crea lo que se denomina un área buffer a lo largo del eje del cauce (capa tramo), lo que puede realizarse con el comando *"Buffer de distancia fija"* de QGIS

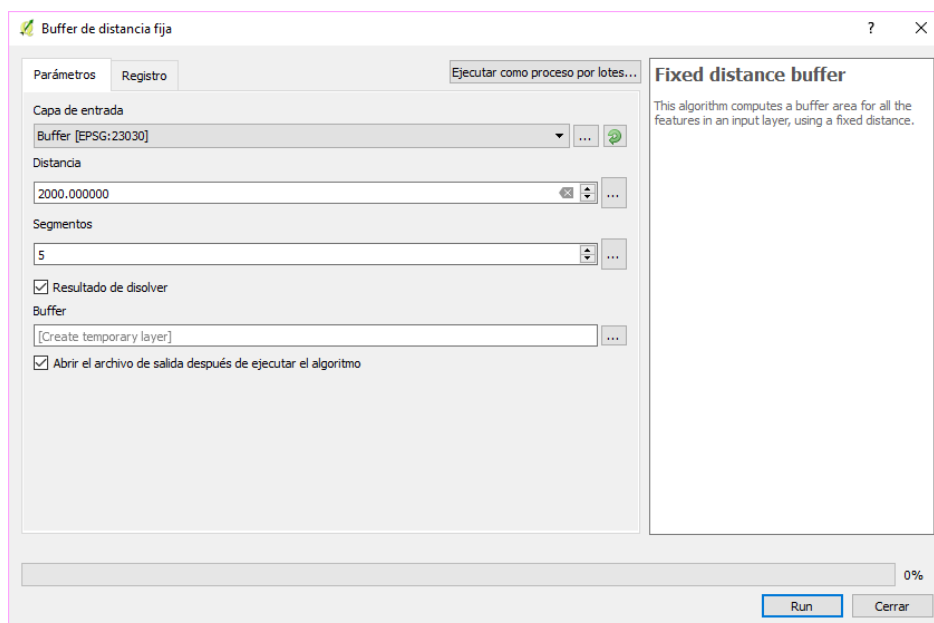


Figura 24-2.- Ventana de creación de "buffer de distancia fija"

Este resultado puede ampliarse añadiendo otra capa vectorial con los polígonos que se consideren necesarios, o añadiendo polígonos en la misma capa. Después, se editará la capa con todos los polígonos y se aplicará el comando de combinación (menú edición)

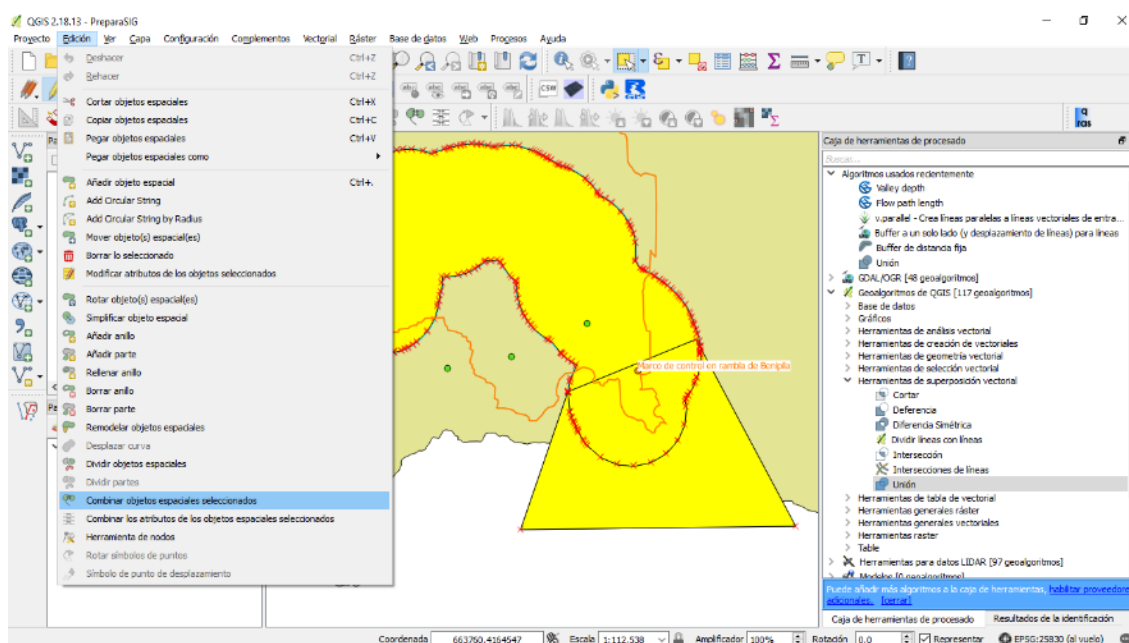


Figura 24-3.- Edición del área de recorte basada en el área buffer

Esta última capa debe estar referida al mismo sistema de proyección al que está asociado el MDT.

Después, ambas capas se unirán con el comando "Ráster/Combinar" y se aplicará el recorte de MDT con el Comando SAGA "Clip ráster with polygon".

Por último, será útil la utilización de un mapa de sombras del MDT, lo que puede lograrse con el comando *"Ráster/Análisis del terreno/Mapa de sombras"*.

Estos últimos comandos están referidos a QGIS, pero hay módulos de Grass que ofrecen posibilidades equivalentes.

El archivo con el MDT final que se va a usar en la aplicación debe llamarse MDT.TIF

Crear la localización Grass

Con el comando `crea_loc`, se definirá el "Location" (localización) de Grass, necesario para el uso de GHR.

Ejemplo: `crea_loc E:\Segura2017\Ramblas\Benipila\SIG\mdt.tif`

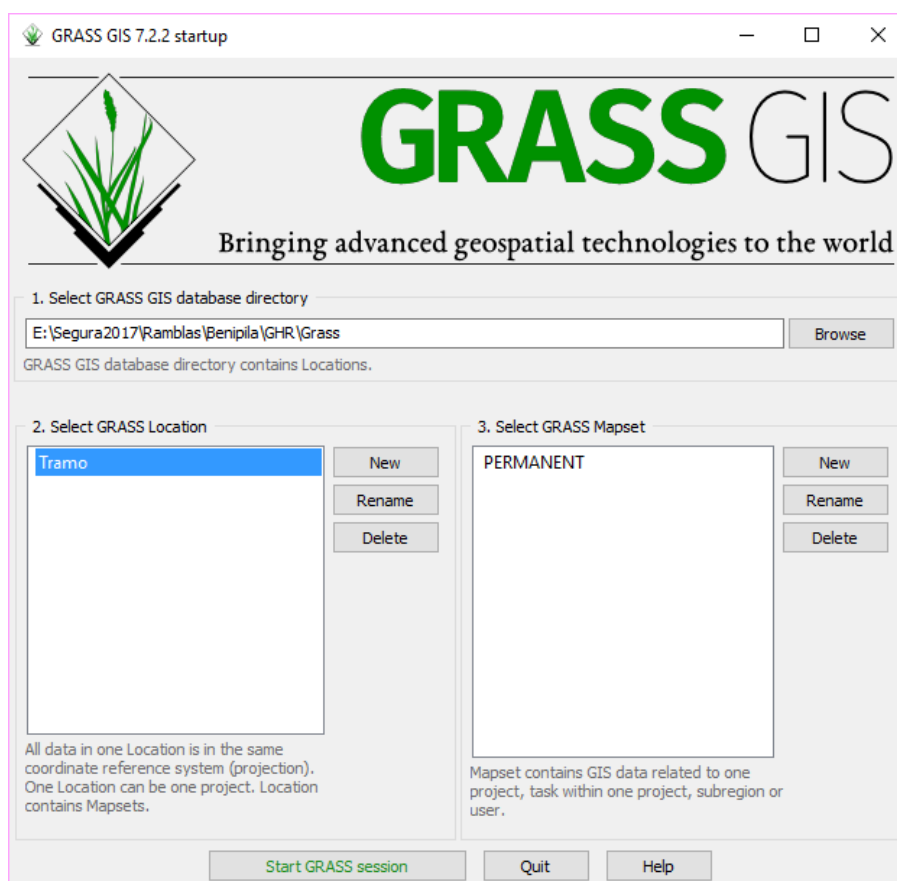


Figura 24-4.- Ventana de creación o selección de Location y Mapset de Grass

Importar mdt.tif

El siguiente paso es importar el archivo *mdt.tif*. Para ello, pueden usarse los comandos `mdt_a_grass` de GHR o el comando `r.import` desde Grass.

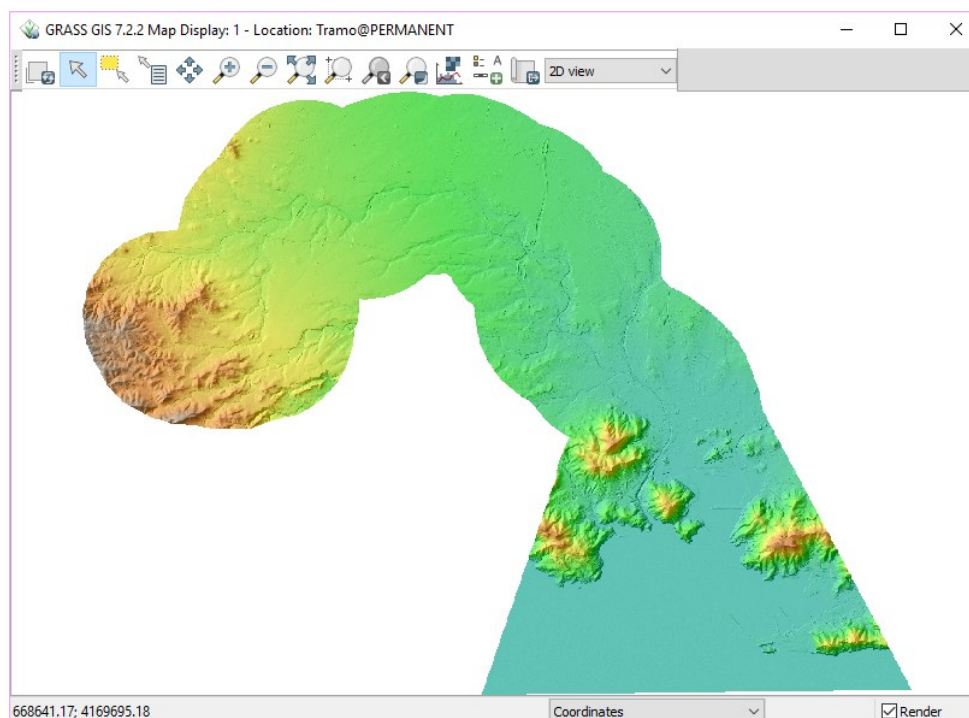


Figura 24-5.- MDT importando en Grass

Datos para generación de a_hecras.sdf. Carpeta A_Sdf

Las capas fundamentales para la generación del archivo *a_hecras.sdf*: son *tramo*, *secciones*, *orilla_a* y *orilla_b*. Opcionalmente, puede incluirse la capa *muros* (apartado "Consideración de muros ("levees")").

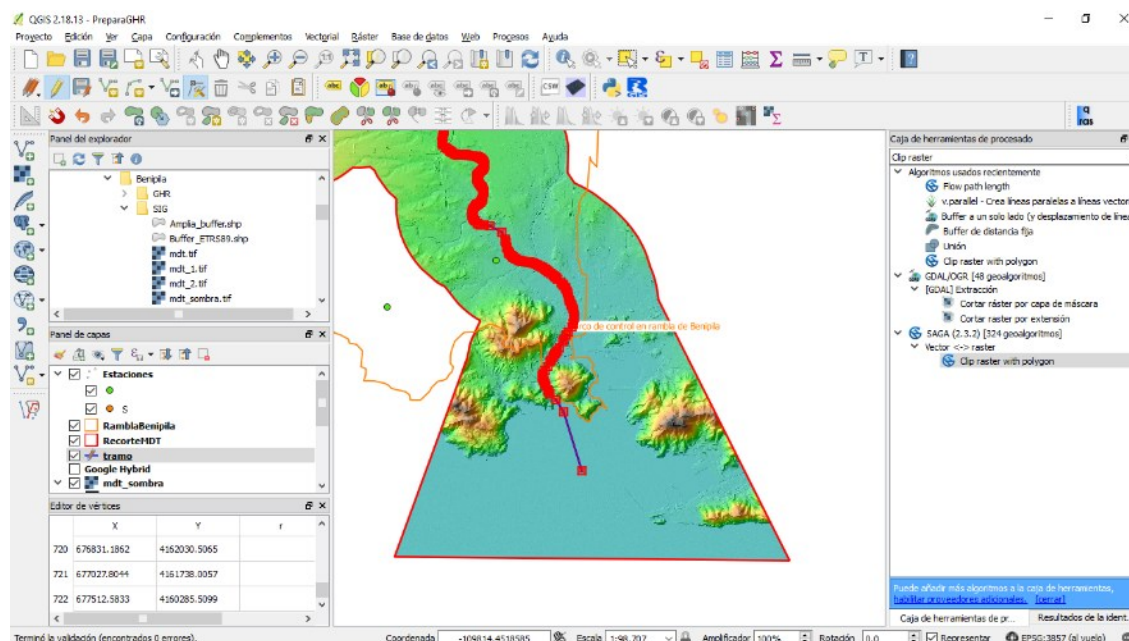


Figura 24-6.- Preparación de capas principales en QGIS

Edición desde Grass o desde otro SIG

La edición de las capas principales puede hacerse desde Grass, usando sus posibilidades de edición. En este manual se emplea el software QGIS, por las ventajas que ofrece.

Si se crean las capas desde QGIS, hay que usar el comando `vec_a_grass`, para que los archivos SHP sean incluidos en la base de datos de Grass. Si se edita en Grass, basta con usar directamente el comando `a_sdf` (apartado "Generación del archivo `a_hecras.sdf`").

Creación de secciones transversales y orillas

Las capas *secciones*, *orilla_a* y *orilla_b* pueden crearse por edición manual, entidad a entidad. Pero se ponen a disposición una serie de utilidades que pueden permitir ahorros considerables de tiempo.

Una opción (recomendable en general) es crear primero *tramo*, *orilla_a* y *orilla_b* y aplicar después el comando `crea_sec`

Orilla_a y *orilla_b* pueden crearse, al menos en primera versión, con `crea_orilla`, después de crear las secciones.

Debe tenerse en cuenta que la izquierda de las secciones en HecRas se fija según el sentido de la corriente. Es preferible, aunque GHR puede hacer las correcciones pertinentes, que las secciones se digitalicen desde la margen izquierda hacia la derecha.

Creación automática de secciones

Una vez se ha introducido las capas *tramo* y *mdt* en Grass, puede usarse el comando `crea_sec`

Ejemplo: `crea_sec 200 200`

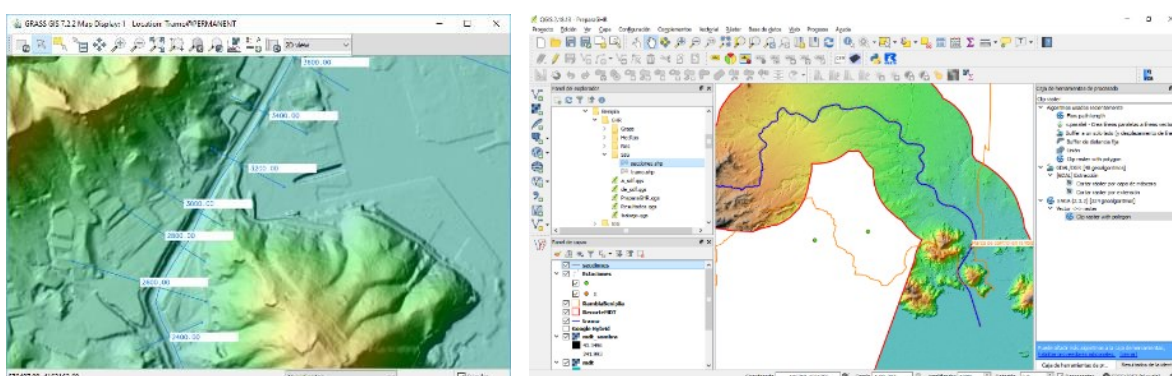


Figura 24-7.- Ejemplo resultado de creación automática de secciones

Las secciones obtenidas deben ser revisadas y muchas de ellas requerirán modificaciones por consideraciones hidráulicas.

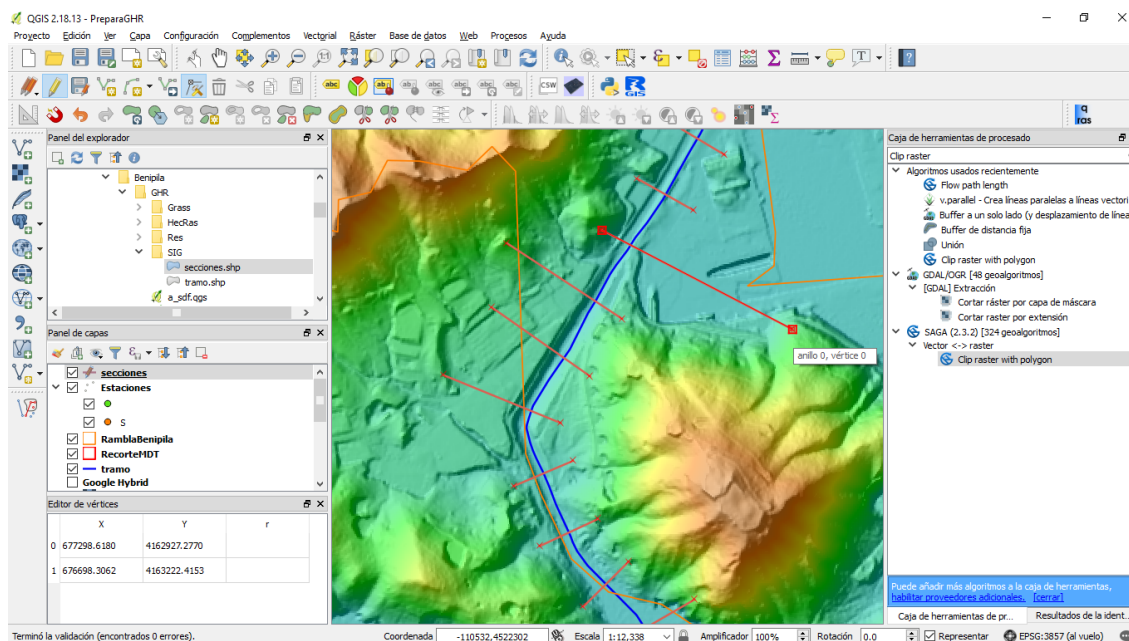


Figura 24-8.- Edición de secciones creadas automáticamente

Generación de orillas

Una vez editadas las secciones, cabe optar por la generación automática de orillas, las cuales deberán también ser revisadas o modificadas posteriormente dentro de HecRas (procedimiento recomendado).

Después, se puede dar la orden de generar orillas a 20 metros (por ejemplo) del eje longitudinal central (tramo):

Ejemplo: `crea_orilla 20`

Consideración de muros ("levees")

Puede ser útil la definición de muros en algunas zonas del cauce. Para ello se creará la capa de líneas *muros*. No obstante, estos muros deberán revisarse en HecRas y modificarse según proceda, pues en el SIG será difícil definirlos con precisión. En las utilidades de edición de secciones de HecRas podrá lograrse un mejor ajuste, a la vez que se comprueba el sentido hidráulico de la definición de los "levee" (terminología HecRas).

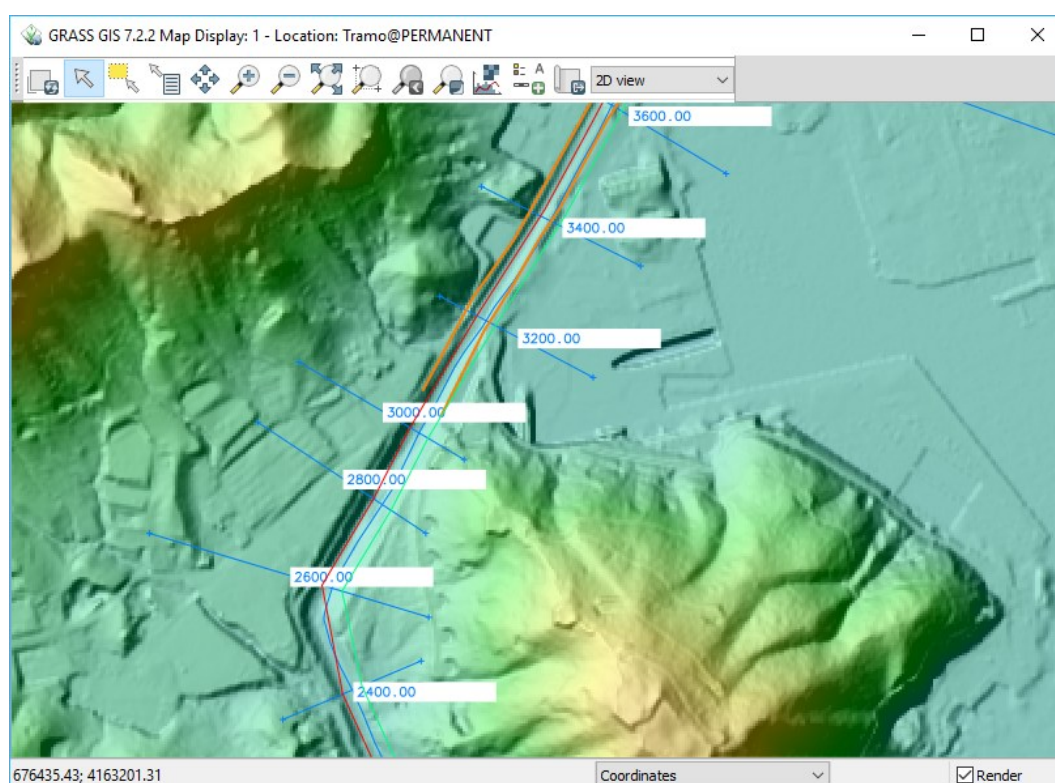


Figura 24-9.- Definición de orillas y muros

Generación del archivo a hecras.sdf

Una vez que se cuenta con las capas *tramos*, *secciones*, *orilla_a* y *orilla_b*, se puede proceder a generar el archivo *a_hecras.sdf*, que contiene la geometría del tramo de estudio, con el comando *a_sdf*. También puede incluirse la capa *muros*.

No debe olvidarse el empleo del comando *vec_a_grass* si se están editando las capas en su formato SHP, en lugar de editar en Grass directamente.

24.6.1.2 Creación del proyecto Hec-Ras

Al iniciar HecRas, crear un proyecto nuevo en unidades SI.

El siguiente paso puede ser usar RAS Mapper para introducir los datos del terreno. Para ello, hay que empezar por definir el sistema de referencia, lo que puede hacerse con el archivo PRJ asociado a alguna de las capas vectoriales.

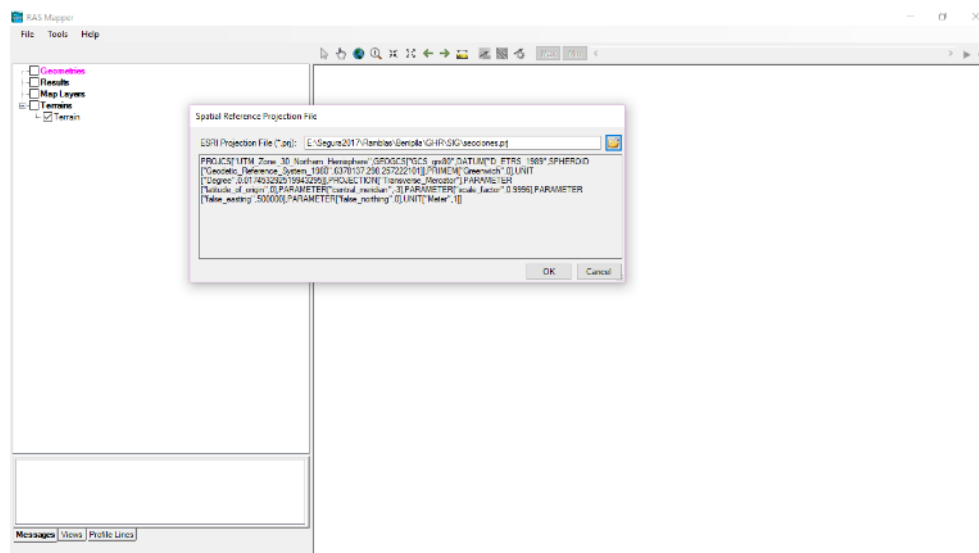


Figura 24-10.- Definición del sistema de referencia en HecRas

Después, se importa el MDT

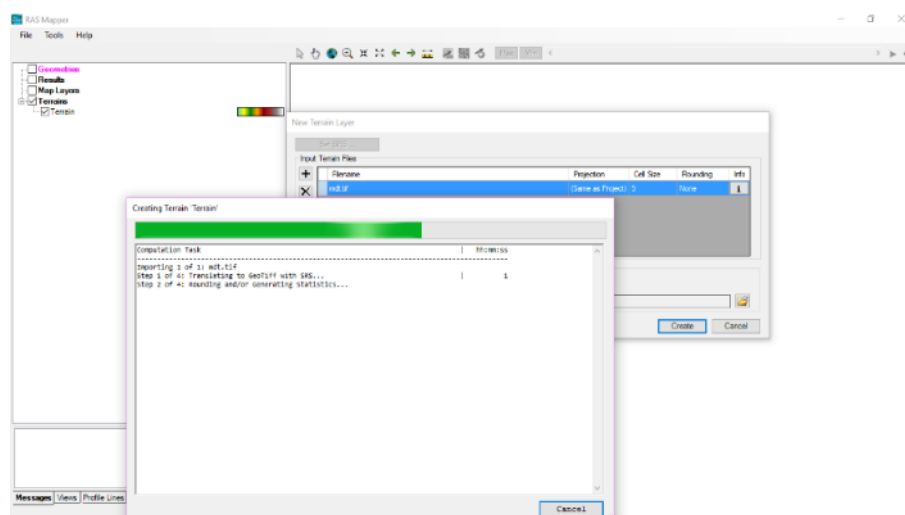


Figura 24-11.- Importación del MDT desde HecRas

Importar geometría del archivo a_hecras.sdf

A continuación, se importa el archivo *a_hecras.sdf* desde la ventana de geometría.

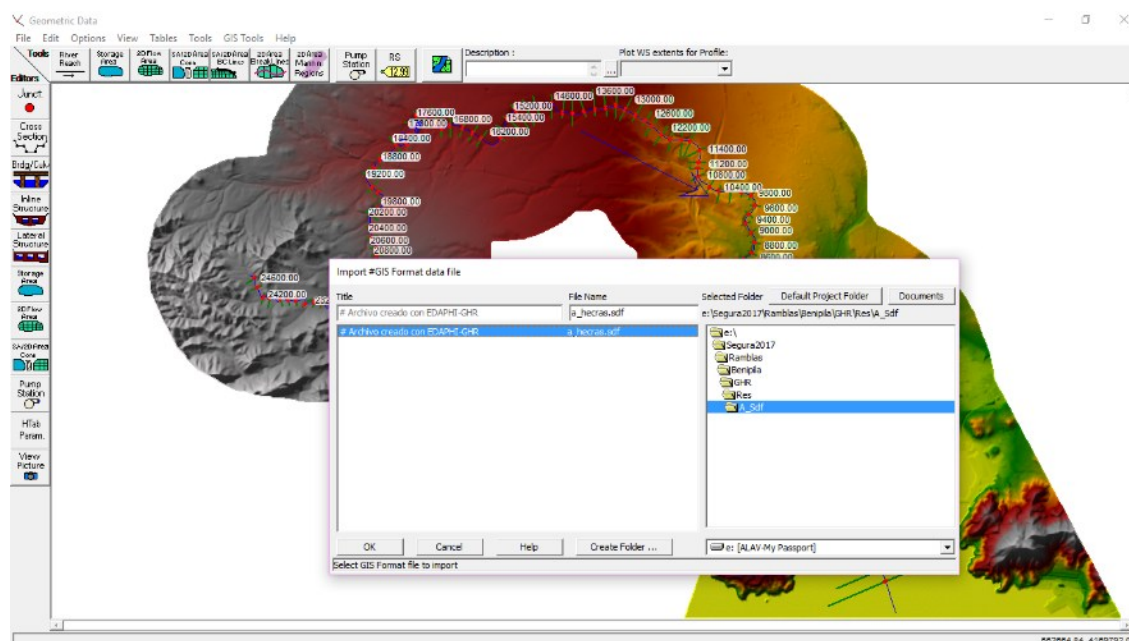


Figura 24-12.- Importación del archivo SDF desde la ventana de geometría de HecRas

Después, bastará crear el resto de los archivos de Hec-Ras (condiciones de contorno y plan) para obtener los primeros resultados de cálculos. Aunque será recomendable revisar la geometría.

Hec-Ras realiza cálculos con secciones que contengan un máximo de 500 puntos. En caso de que se supere este número, puede simplificarse la geometría con la utilidad que aparece en el comando "Tools/Cross section filter ..." de la ventana de geometría.

Generación de capas ráster de resultados

Desde la utilidad RasMapper, de HecRas, pueden generarse resultados almacenado en archivos TIF en la carpeta HecRas con nombre el ID del plan.

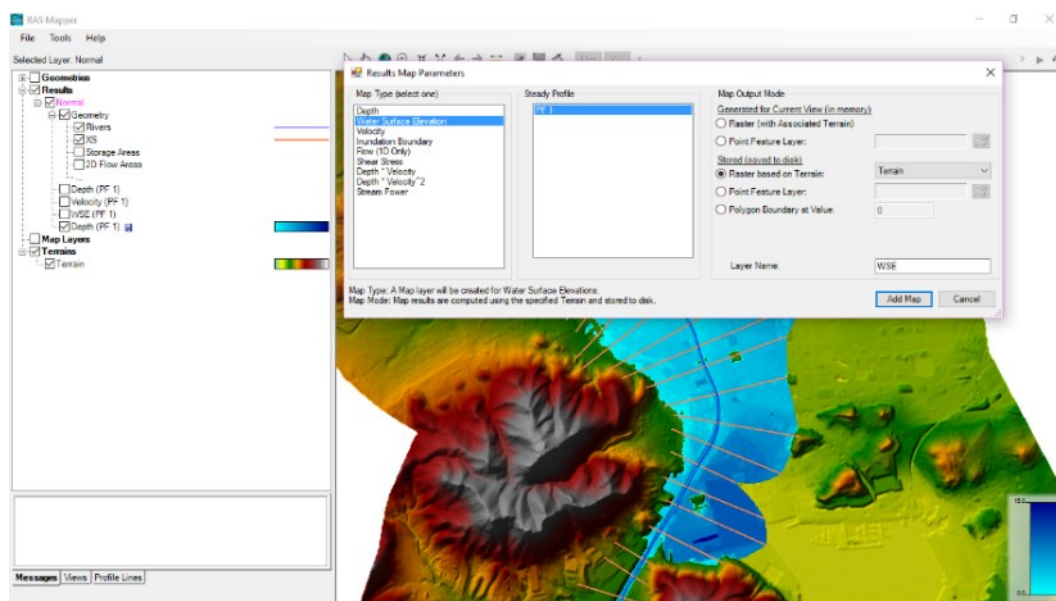


Figura 24-13.- Generación de mallas de calados desde RasMapper

24.6.1.3 Proceso iterativo

Se propone seguir un doble proceso iterativo, el primero de los cuales se basaría en mejoras de la caracterización, sobre todo geométrica pero también hidráulica, desde el SIG importando las capas SIG a través de un archivo SDF generado con `a_sdf`. El segundo subproceso tendría como finalidad mejorar las superficies de lámina de agua, para lo que se cuenta con los comandos `de_sdf_*`. Es posible que después del segundo bloque iterativo sea necesario regresar al primero.

Subproceso iterativo de mejora de caracterización y modelación

Desde el momento en que se ha podido generar la primera capa ráster de resultados, debe iniciarse un proceso iterativo en el que se tendrán que ir modificando secciones y otros parámetros hidráulicos. Los resultados pueden verse en el SIG a la vez que se realizan las modificaciones pertinentes en la geometría.

Lo que se describe a continuación, debe aplicarse a varios caudales en cada paso.

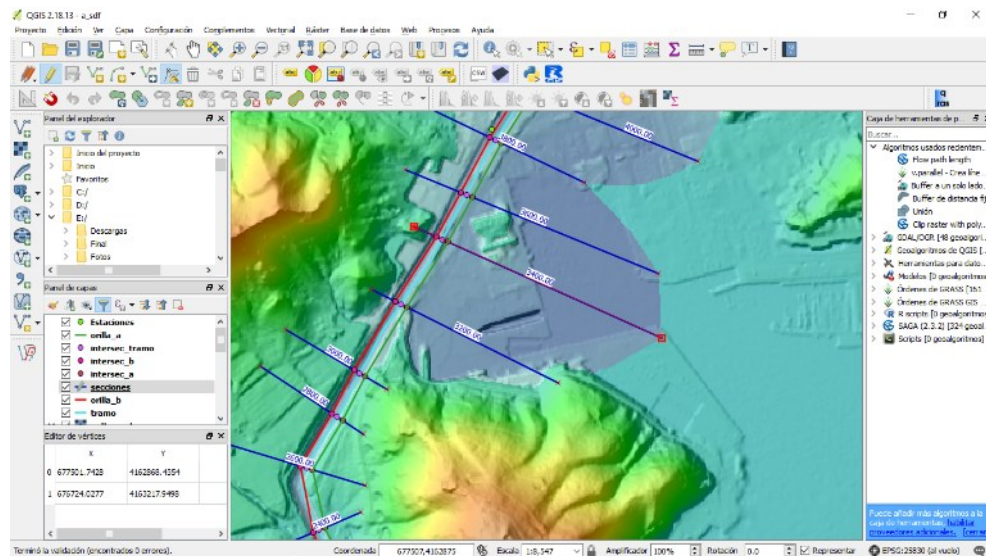


Figura 24-14.- Revisión de ancho de secciones a la vista de los resultados de los cálculos de inundación

Los comandos a usar serán `vec_a_grass` (si se edita en QGIS, ver apartado "Edición desde Grass o desde otro SIG") y `a_sdf`, seguidos por la importación de la geometría en SDF desde HecRas y la realización de nuevos cálculos.

Posiblemente, sea necesario o conveniente borrar secciones antes de importar, así como seleccionar las que se desea obtener del archivo SDF.

Muros (Levees)

Una de las primeras especificaciones que, casi seguro, hay que realizar es la definición o modificación de "Levees" en las secciones de Hec-Ras. Se realizará según la geometría y el análisis de los resultados, pues se observarán inundaciones de áreas que son achacables a la interpolación de la superficie de la lámina de agua, pues el análisis de las secciones indicará que no se ha producido desbordamiento del cauce principal.

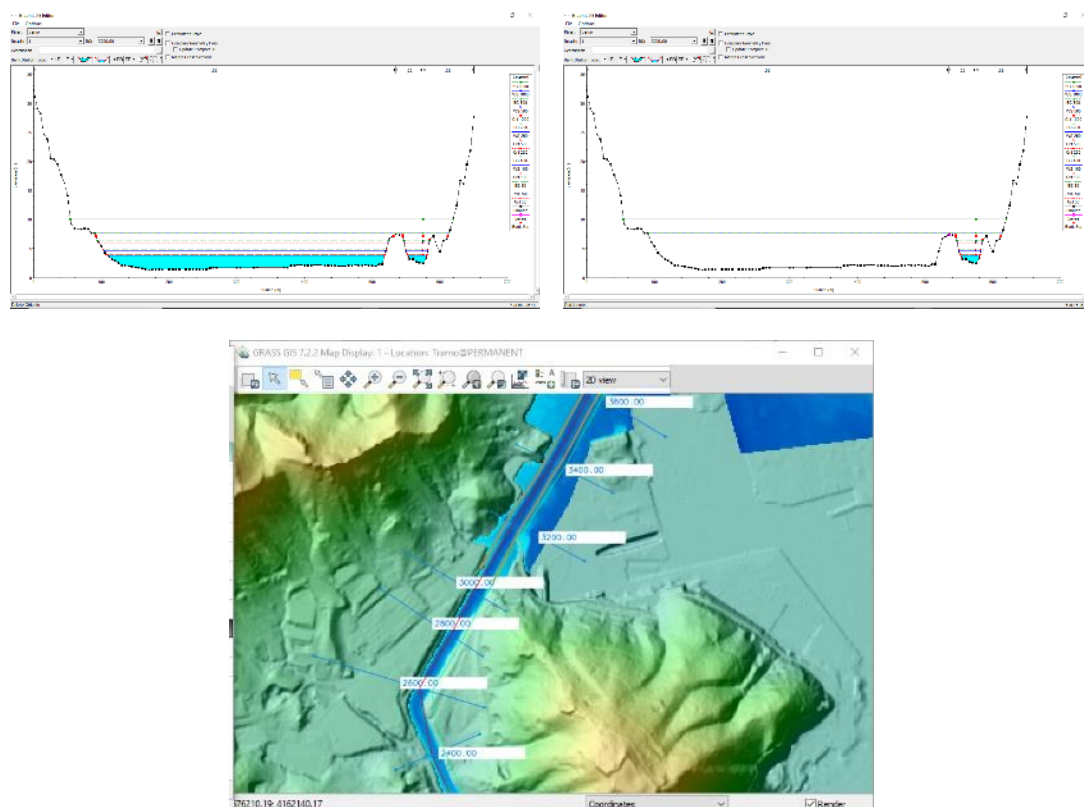


Figura 24-15.- Revisión de muros a la vista de los resultados de HecRas

Las modificaciones se realizarán sobre la capa de muros o sobre la geometría HecRas según la fase del proceso, es decir, si se van a usar comandos `a_sdf` o `de_sdf`, respectivamente. Se recomienda realizar las modificaciones de secciones sobre las capas y seguir con los comandos `a_sdf`. Una vez depuradas las secciones, afinar con los muros, lo que puede realizarse ya en HecRas y proceder con los comandos `de_sdf`.

Redefinición de orillas

Después de realizar los cambios anteriores, se harán los cálculos y se procederá a la revisión de los mismos, volviendo a repetir la operación si se estima necesario. Una vez concluida esta parte, se deben revisar las definiciones de orillas.

Para ello, cabe usar una utilidad de HecRas, accesible desde la ventana de geometría, cuya ventana aparece con el comando "Tools/Channel bank stations".

Se recomienda revisar la operación realizada por esta utilidad.

Revisión de zonas inundadas. Comandos de_sdf_geo, de_sdf_res_todo y de_sdf_res_nolim

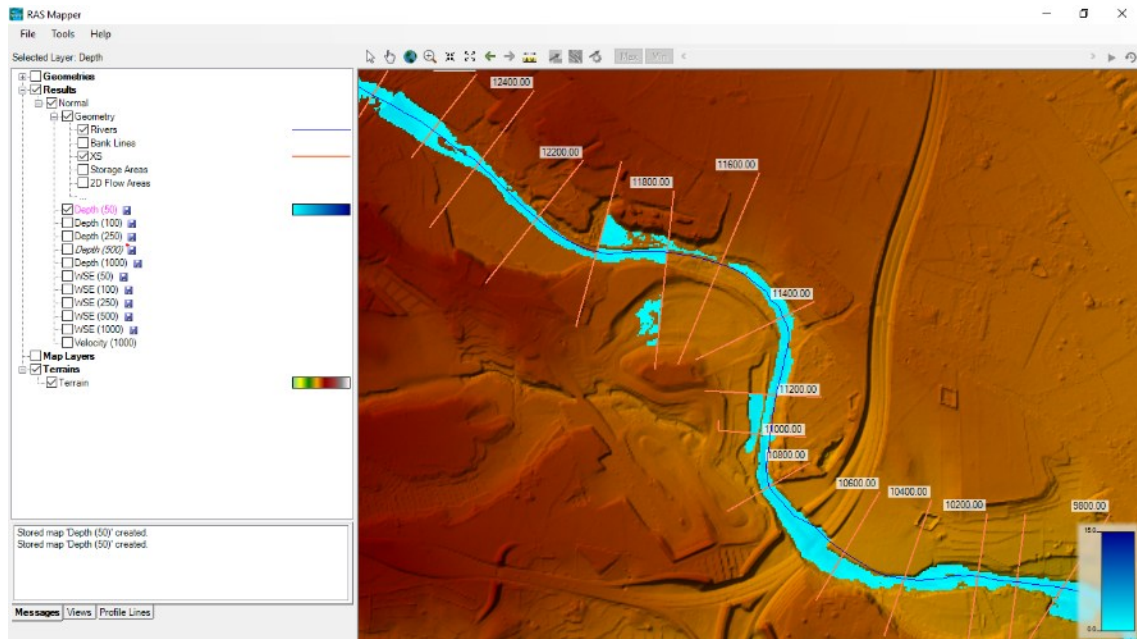


Figura 24-16.- Ejemplo de problemas en la definición de zonas inundadas con RasMapper.

A pesar de los pasos anteriores, puede ocurrir que aparezcan zonas como la de la figura, con inundaciones a las que no se les encuentra sentido hidráulico.

Es el momento de volver al SIG y a usar de nuevo los comandos GHR. A partir de ahora, las capas de inundaciones serán generadas por GHR, no por RasMapper.

Archivo De HecRas.sdf

Antes de exportar la geometría desde Hec-Ras, conviene revisarla. Así, puede ser recomendable cambiar aquí los nombres de las secciones, en PK desde la desembocadura (desde la línea de costa), lo que puede realizarse con el comando "Tables/Names/River stations" que aparece en la ventana de geometría de HecRas.

Se trabajará sobre el archivo que se genere desde Hec-Ras con la geometría y los resultados de cálculo. Desde el menú principal de Hec-Ras, se ejecutará el comando "File/GIS export" para generar el archivo *De_HecRas.sdf* en la carpeta del caso (... Benipila\ Sdf).

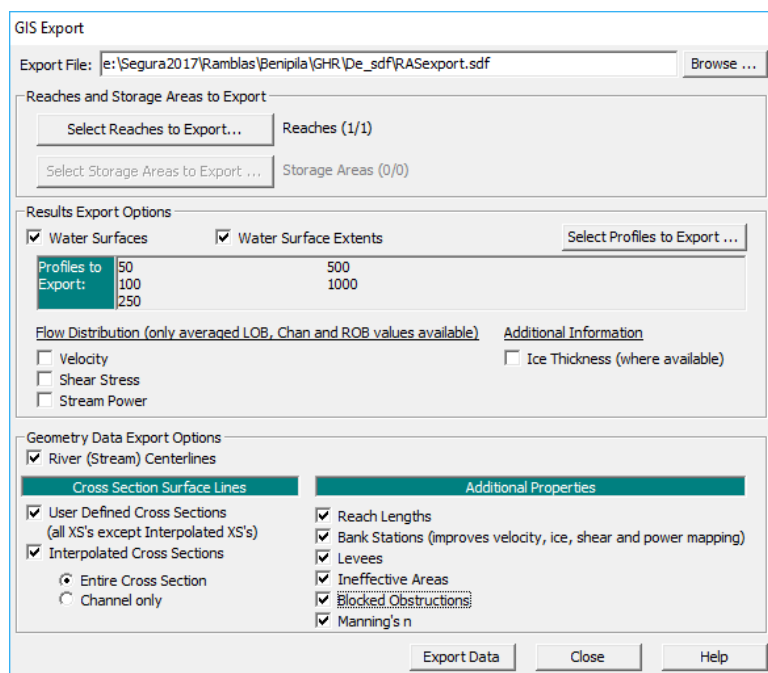


Figura 24-17.- Exportación de archivo SDF desde HecRas para su uso con los comandos DE_SDF_

Obsérvese en la figura que se seleccionan casi todas las opciones.

Comando de sdf geom

Puede ser recomendable revisar la geometría con que trabaja Hec-Ras. Para ello se ejecutará el comando `de_sdf_geom`, tras lo cual se generarán los archivos `d_secciones`, `d_tramo`, `d_orilla_izq`, `d_orilla_der` y los de intersecciones. Todas estas capas quedarán almacenadas en la carpeta `De_sdf`.

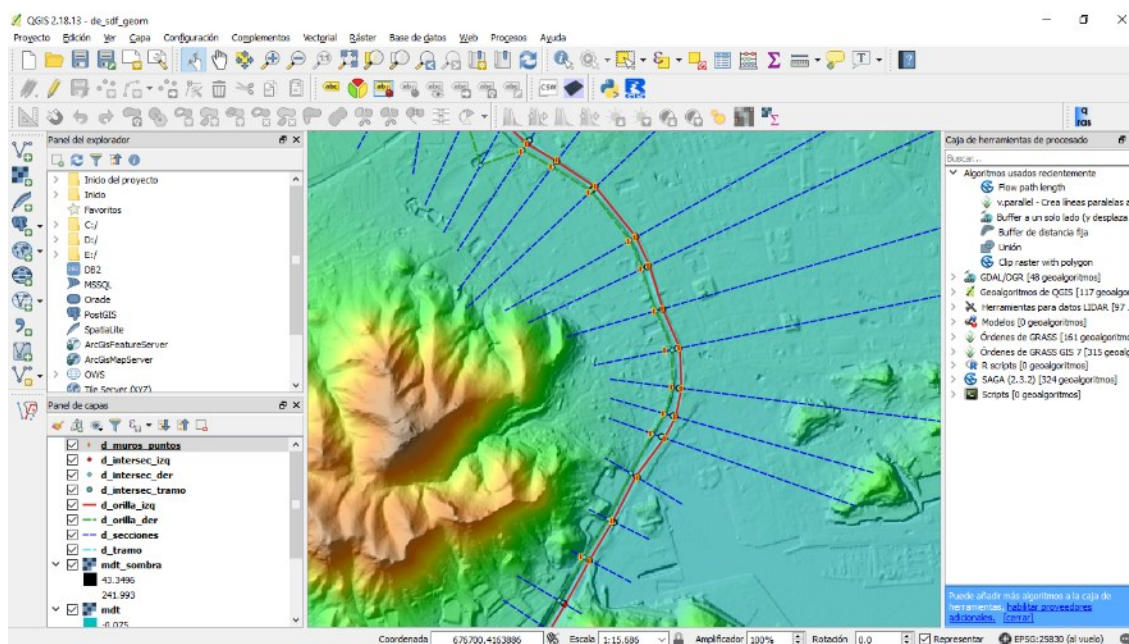


Figura 24-18.- Capas generadas con el comando DE_SDF_GEOM a partir del SDF creado desde HecRas

Comando GHR/de sdf res todo

El comando `de_sdf_res_todo` genera los resultados en forma ráster de cotas de agua y calados, además de otras capas útiles, como es el caso de los límites (archivos `lim_perfil_*`) de cada perfil (profile).

Este límite permitirá definir zonas en las que no debe presentar resultados la interpolación de la superficie de agua. Y, al contrario, se encontrará explicación a por qué algunas zonas no son inundadas según los resultados de Ras Mapper.

Las capas de límites se revisarán una a una, haciendo las modificaciones que se estimen pertinentes. Ello no solo analizando los resultados de HecRas en SIG, sino también analizando los detalles en el modelo, especialmente la caracterización geométrica.

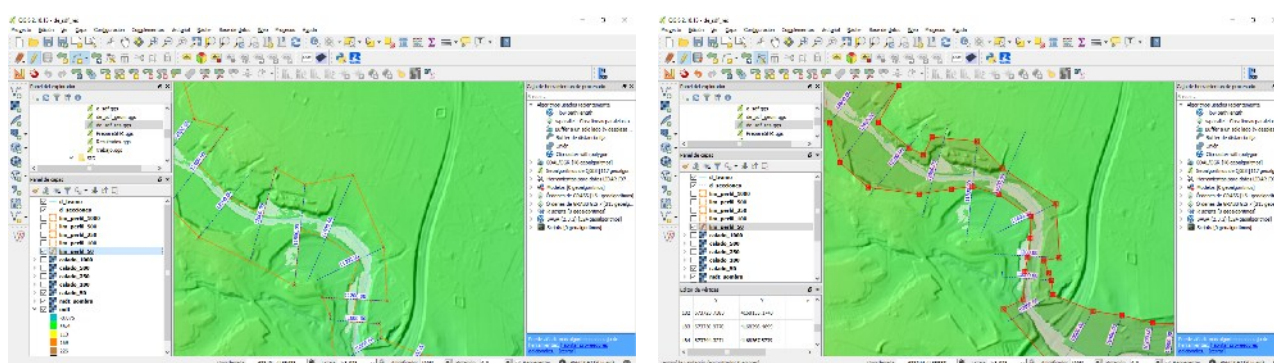


Figura 24-19.- Edición de los límites de cada perfil de cálculo

Este será el momento de volver a revisar las secciones.

Si se opta por modificar las secciones, después de los límites de inundación, habrá que usar los comandos: `vec_a_grass` y `a_sdf`. También será necesario revisar los muros (levees) y orillas.

Comando de sdf res nolim

Una vez realizados los cálculos en Hec-Ras, después de volver a importar el archivo `a_hecras.sdf` y revisar muros y otras caracterizaciones, se exportará de nuevo el archivo `RASexport.sdf` y se ejecutará el comando `de_sdf_geom` (para asegurar la integridad en los resultados finales) y `de_sdf_res_nolim`. Con esto se realizarán los cálculos de inundaciones, pero manteniendo los límites que se fijaron en la etapa anterior.

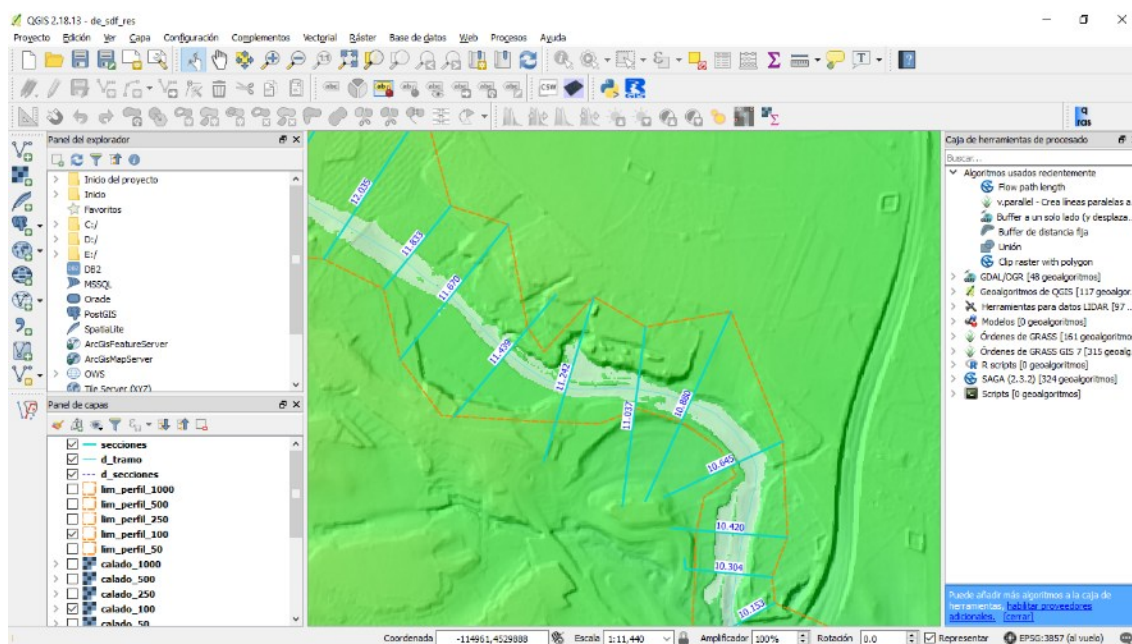


Figura 24-20.- Resultados de cálculo de zonas inundadas con el comando de_sdf_res_nolim que emplea los límites de perfiles editados

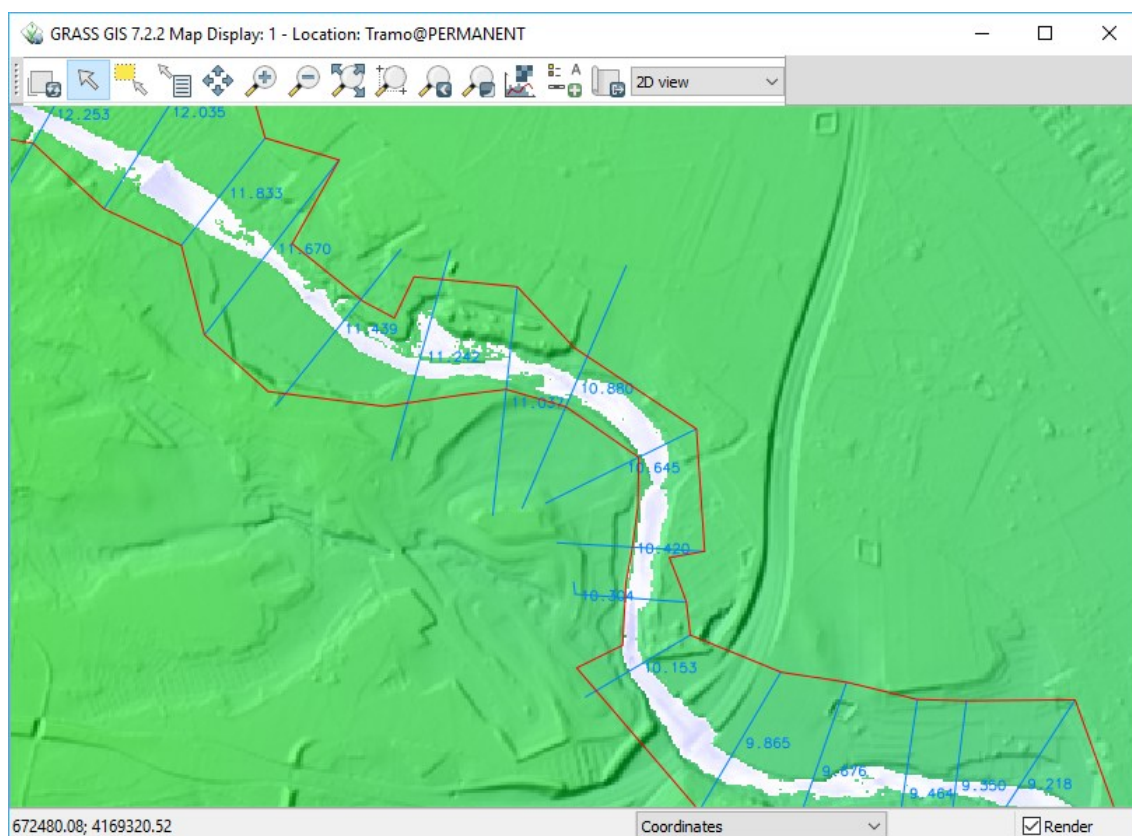


Figura 24-21.- Todas las tareas pueden realizarse directamente en Grass, sin necesidad de otro SIG

24.6.1.4 Comandos de exportación desde Grass

Cabe la posibilidad de que se estime necesario exportar los resultados de los comandos de_sdf. Tal podría ser el caso de que se ejecute alguno y las capas que

resulten en formatos SHP o TIF estén bloqueadas por QGIS, por ejemplo, y la ejecución se vea interrumpida al exportar estos archivos (último paso). Los resultados estarán en la base de datos de Grass, por lo que pueden ser exportados. Para ello se ponen a disposición comandos *gen_shp.tif* y *gen_shp_tif_no_lim*.

24.6.1.5 Resultados finales

Si se alcanzan resultados satisfactorios con RASMapper, puede evitarse el uso de los comandos *de_sdf_*, y la realización de las tareas asociadas. En caso contrario, habrá que usar estos comandos.

Análisis de resultados

Todo cálculo debe tener asociado una memoria resumida que contenga un análisis de los resultados que incluya las incertidumbres y limitaciones del modelo, tanto generales como, especialmente importante, locales.

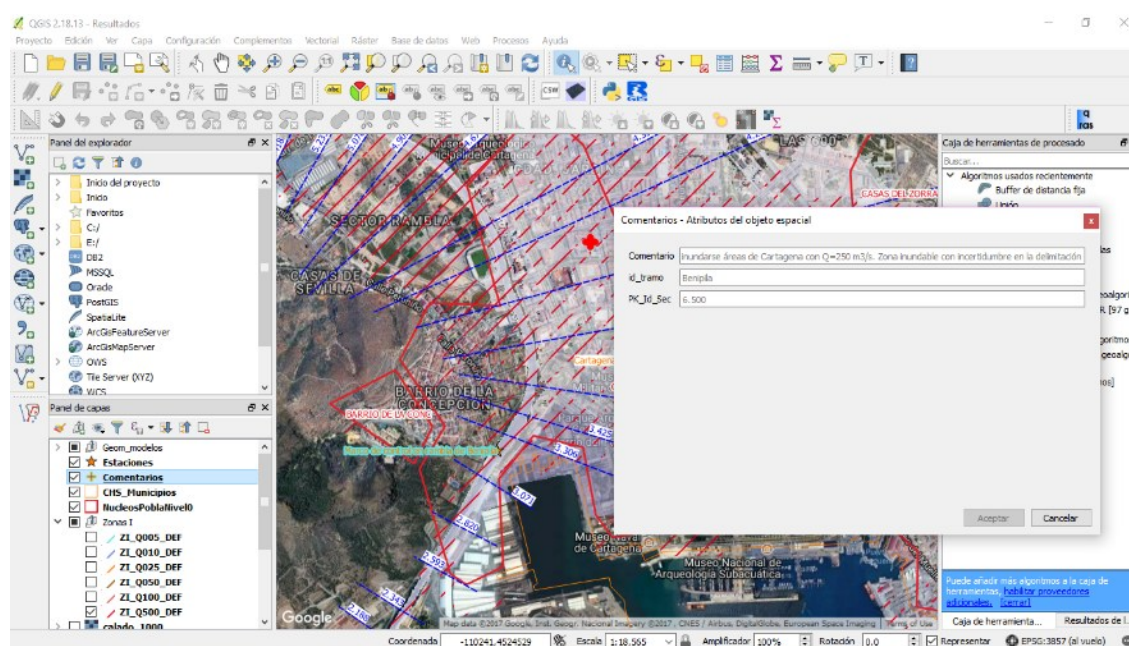


Figura 24-22.- Análisis final de resultados reflejados en una capa de comentarios

24.6.2 Operaciones con proyectos

Para aquellos casos en los que se cuente con proyectos HecRas o con proyectos GHR previos, se han previsto algunas operaciones que faciliten su manejo para su mejor o ampliación.

24.6.2.1 Unión de tramos modelados

En ocasiones, cuando se trabaja con un tramo largo o complejo, puede ser recomendable dividirlo en subtramos y analizarlo por partes. Una vez definidos los submodelos de forma completa con GHR, pueden unirse.

El primer paso será crear un caso siguiente el procedimiento general, o trabajar sobre uno de los submodelos.

Unión de límites de inundación en un SIG

Para el análisis final de resultados (uso de comandos `de_sdf`) será necesario unir los límites de inundación, lo que puede realizarse en un SIG.



Figura 24-23.- Unión de límites de inundación

Unir modelos HecRas

La unión de modelos HecRas es posible desde la misma aplicación, con el comando de importación desde la ventana de geometría.

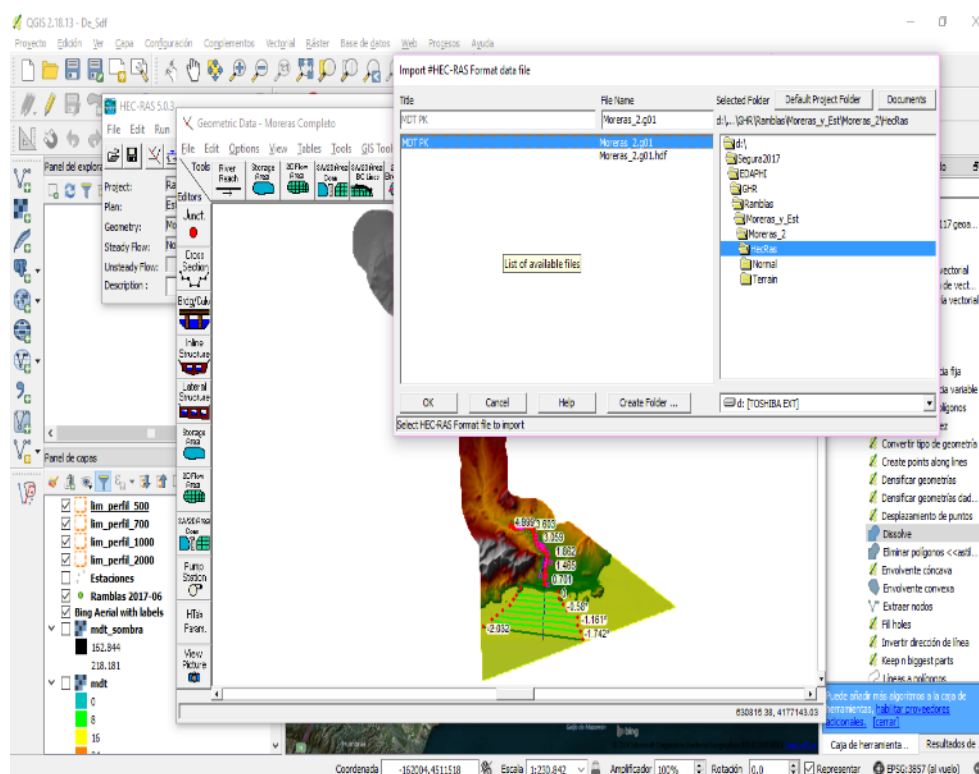


Figura 24-24.- Importar geometría de un archivo HecRas

Una de las dificultades que pueden aparecer es la definición del tramo. Entre las opciones de importación que ofrece HecRas está de la seleccionar las coordenadas del tramo y situar lo importado aguas arriba o aguas abajo de lo existente o sustituirlo. En cualquier caso, cabe la opción de copiar las coordenadas en una tabla, que inicialmente se hayan preparado en una hoja de cálculo (pegando los subtramos correspondientes), por ejemplo, o que se haya preparado en un SIG y exportado en el formato que permita extraer las coordenadas (formatos de texto, por ejemplo).

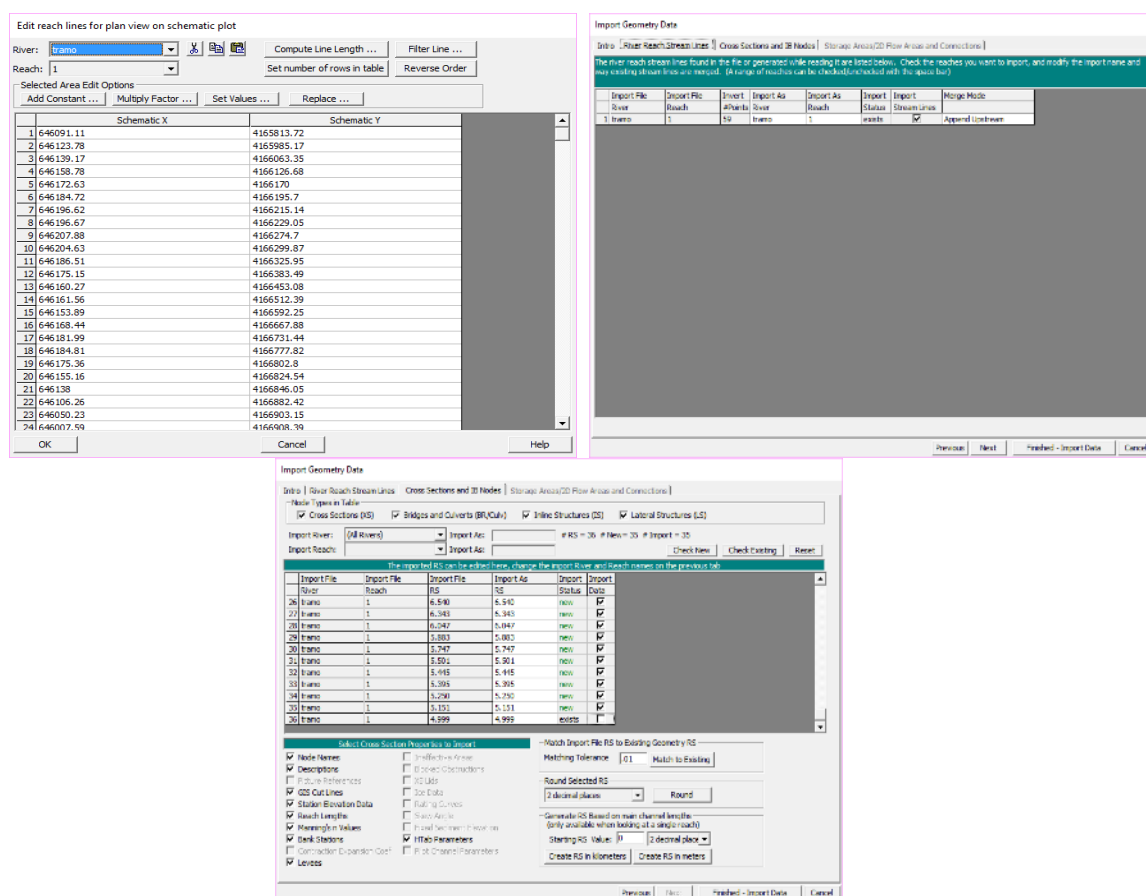


Figura 24-25.- Opciones de importación de geometría

En el caso de que haya secciones comunes entre dos submodelos (caso normal si el modelo aguas abajo se usó para fijar la condición de contorno al de aguas arriba), es recomendable descartar la del modelo aguas arriba, pues si estaba asociada a una condición de contorno tendrá distancia cero. En cualquier caso, debe comprobarse las distancias en las secciones extremas que se entenderán conectadas topológicamente.

Análisis de resultados

Una vez realizadas las tareas de unión descritas en los dos apartados anteriores, se puede proceder a usar los comandos de `_sdf`. No será necesario, en principio, cargar las capas asociadas a los comandos de `a_sdf`.

24.6.2.2 Georreferenciar un proyecto HecRas

Será necesario contar con algún material que sirva de referencia para situar las secciones en un mapa. En caso de que sea un gráfico, se identificarán las secciones en el terreno con ayuda de un SIG y se digitalizarán en capas vectorial de líneas.

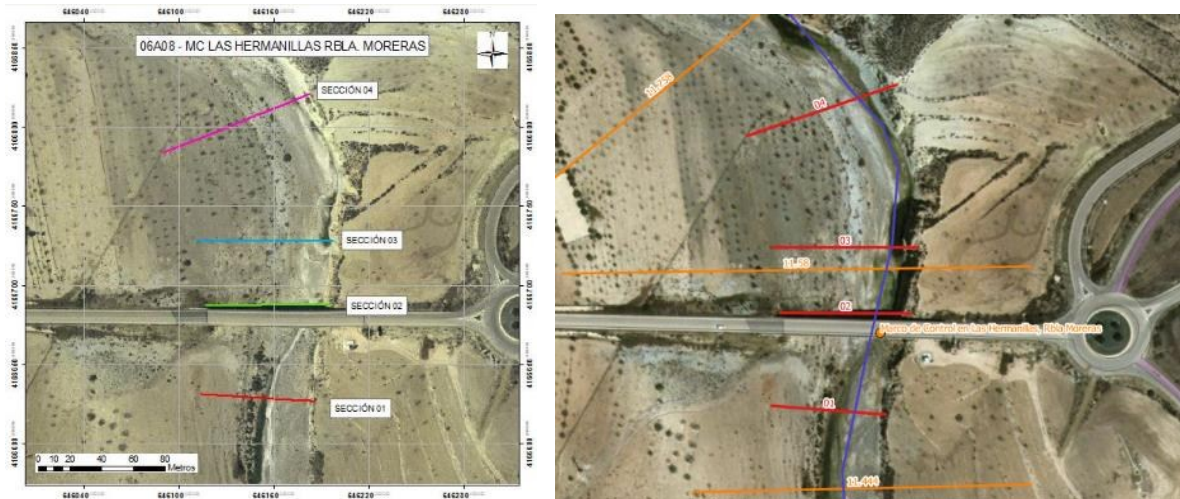


Figura 24-26.-Gráfico con la situación de las secciones del modelo sin georreferenciar y digitalización de las mismas en un SIG

Es recomendable nombrar las secciones conforme a otros modelos o, preferiblemente, según la distancia de la sección al mar siguiendo el eje longitudinal (valle) del cauce. Esto puede realizarse en la aplicación HecRas.

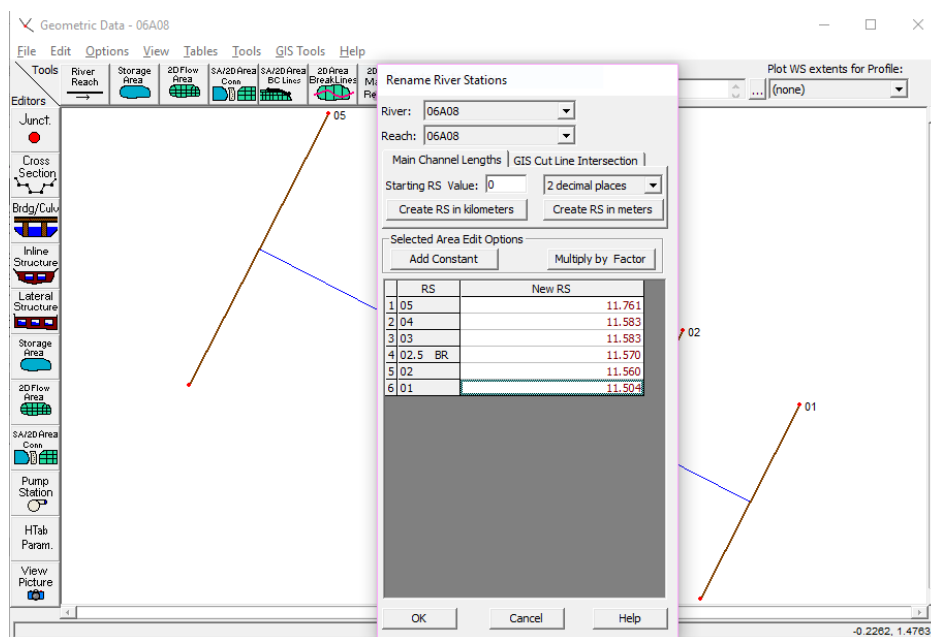


Figura 24-27.- Renombrado de secciones

Una vez se han definido geográficamente las secciones, se puede introducir sus coordenadas en HecRas. Para ello, puede ser recomendable exportar la capa de secciones a algún tipo de archivo de texto, o también se pueden capturar las coordenadas en la pantalla de la aplicación SIG. Debe tenerse en cuenta que la izquierda de las secciones en HecRas se fija según el sentido de la corriente. El primer punto debe ser el de la margen izquierda.

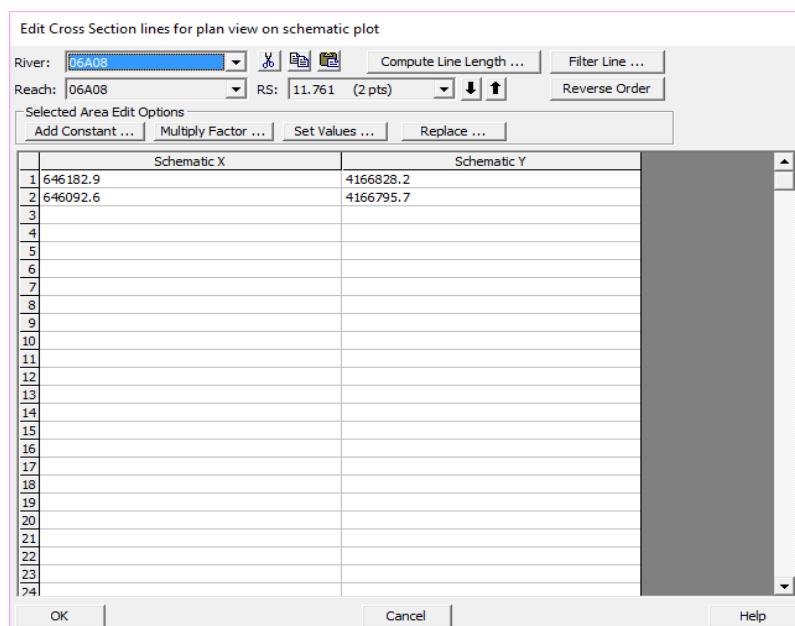


Figura 24-28.- Edición de coordenadas en HecRas

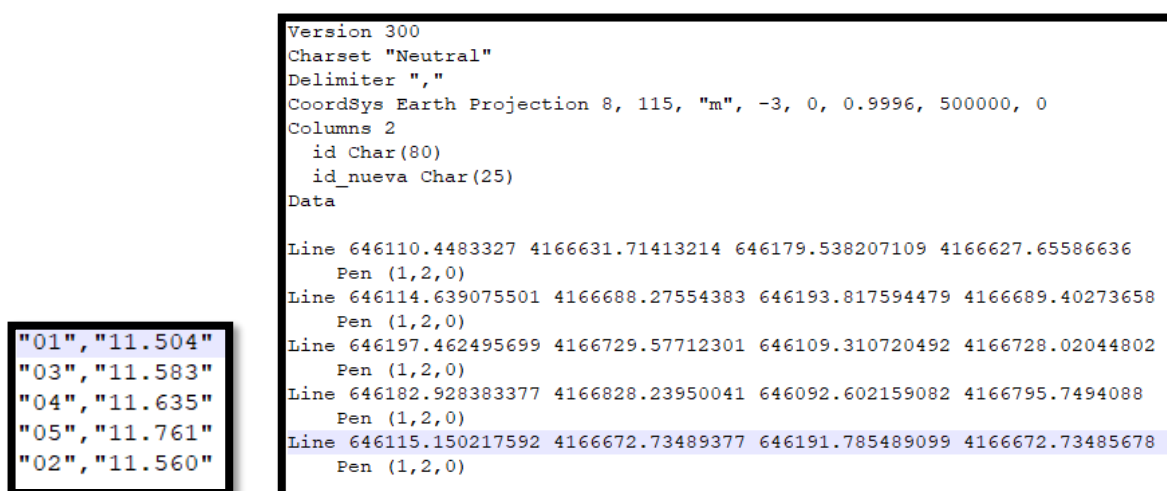


Figura 24-29.- Archivos MID y MIF de MapInfo de las secciones en planta

De modo análogo, pueden introducirse coordenadas geográficas de puntos que definan el eje del cauce.

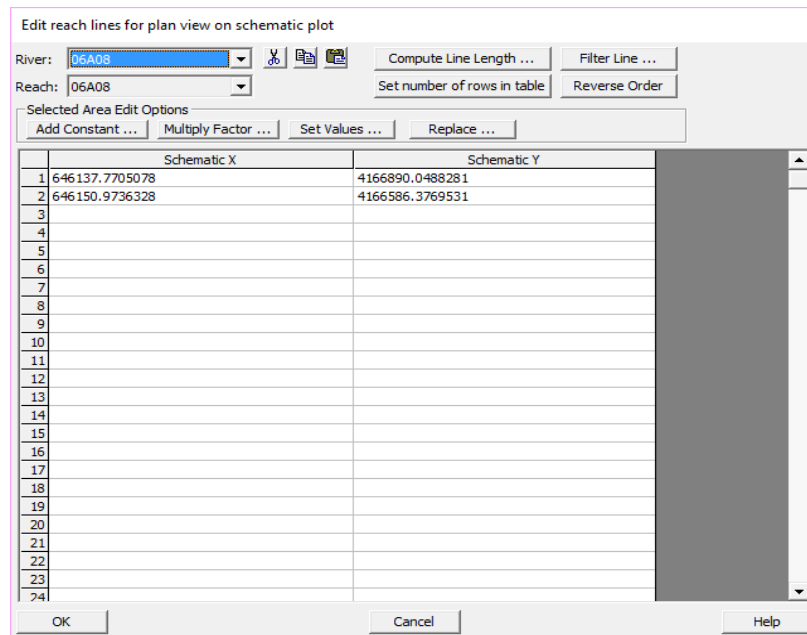


Figura 24-30.- Edición de coordenadas del tramo

Los puntos de las secciones tienen que expresarse desde el lado izquierdo hacia el derecho vista la sección desde aguas arriba, es decir, con la vista según el sentido de la corriente. En caso de que se hayan introducido al revés, pueden cambiarse con el comando de HecRas "Gis Tools/Gis cut lines/reverse ..."

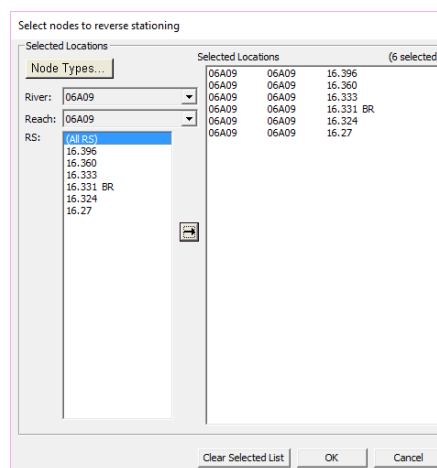


Figura 24-31.- Inversión de nodos de la sección

24.6.2.3 Extensión de las secciones usando un MDT

Un modelo como el anterior, ya georreferenciado, puede revisarse y extender el ancho de las secciones, obteniendo las cotas de un MDT, usando GHR pero sin perder ni alterar lo ya introducido en el modelo HecRas. Para ello se emplearán los comandos de GHR `a_sdf` y `comb_geom`.

El primer paso será preparar el caso de estudio para el uso de comandos `a_sdf`, conforme a un caso general.



Figura 24-32.- Digitalización de secciones extendidas

Geometría basada en MDT

Una vez generadas las capas necesarias, se usará el comando `a_sdf`, con lo que se generará el archivo `a_hecras.sdf`. No es necesario importar esta geometría a HecRas, salvo que se deseen sustituir las secciones existentes o crear una geometría nueva.

Combinación de geometrías

El comando `comb_geom` ha sido concebido para la extensión de secciones. Combinará las secciones de dos archivos SDF y generará un nuevo archivo en el que las secciones serán combinación de las anteriores (se relacionarán por el mismo identificador). Un ejemplo de uso sería:

```
comb_geom sdf_prin=a_hecras.sdf sdf_sec=prev_ren.sdf
```

- `sdf_prin=a_hecras.sdf` es el archivo con las secciones procedentes del MDT (las extendidas), y
- `sdf_sec=prev_ren.sdf` será el archivo con las secciones cuyos puntos desean integrarse en las anteriores.

El resultado serán unas secciones en las que tienen prioridad los puntos de *sdf_sec*

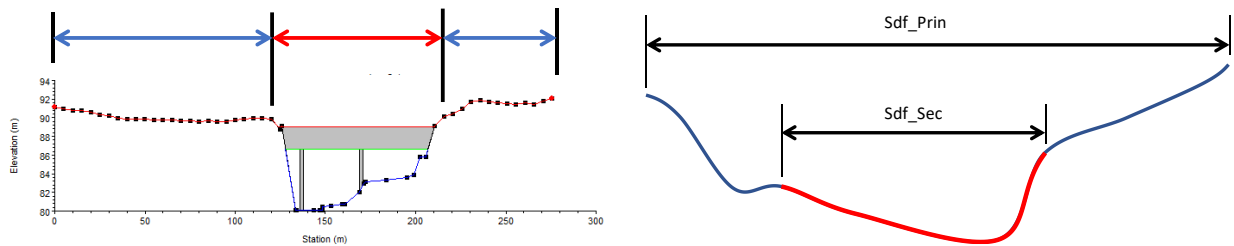


Figura 24-33.- Combinación de secciones. En la zona roja se seleccionarán los puntos de *Sdf_Sec*. En la azul los de *Sdf_Prin*

El resultado quedará almacenado en un archivo denominado *a_HecRas_comb.sdf*. Al importar este archivo desde HecRas, seleccionando la opción de sustituir las secciones, se mantendrán las estructuras, pero se sustituirán los puntos de las secciones.

Quizás sea recomendable emplear comandos en HecRas como sumar una cierta cantidad a las distancias, en la sección de aguas arriba o en la de aguas abajo (para facilitar la interpolación de la sección interior).

Será necesario modificar las distancias horizontales de pilas y otros elementos al margen.

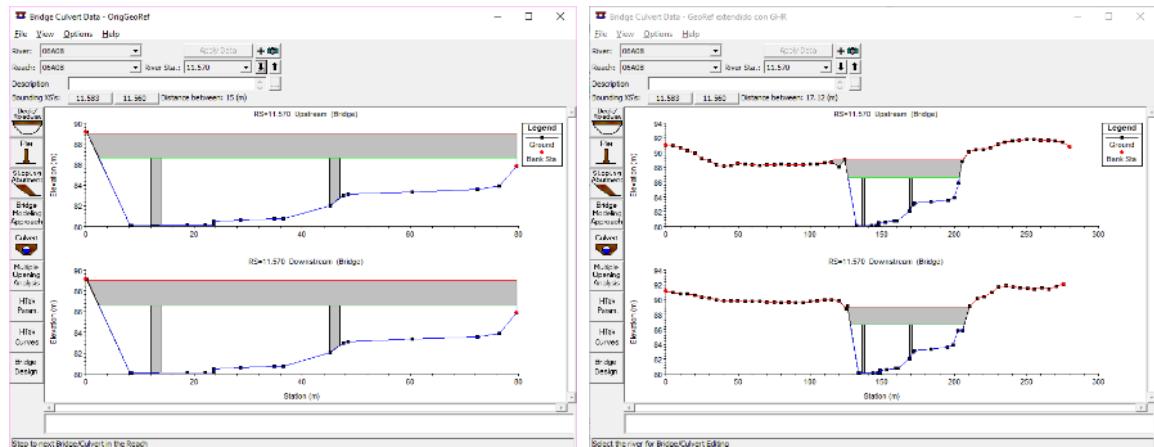


Figura 24-34.- Ejemplo de estructura antes y después de la extensión de las secciones

Tienen que revisarse muros, rugosidades y demás caracterizaciones o parametrizaciones de todas las secciones.

24.6.2.4 Insertar un modelo en otro

Un modelo de detalle como el del ejemplo anterior, al que aquí se denominará submodelo, puede insertarse en otro de mayor extensión.



Figura 24-35.- Superposición de modelos. La sección marcada en rojo, perteneciente al modelo principal, se eliminará para insertar el submodelo

Esto se realizará desde las utilidades de HecRas, de modo análogo a como se hace en el caso de combinación de modelos (importando datos de geometría del submodelo desde el modelo principal), aunque, por tener zonas comunes, habrá que decidir sobre eliminar secciones de uno u otro. Se recomienda eliminar secciones antes de proceder a la inserción del submodelo.

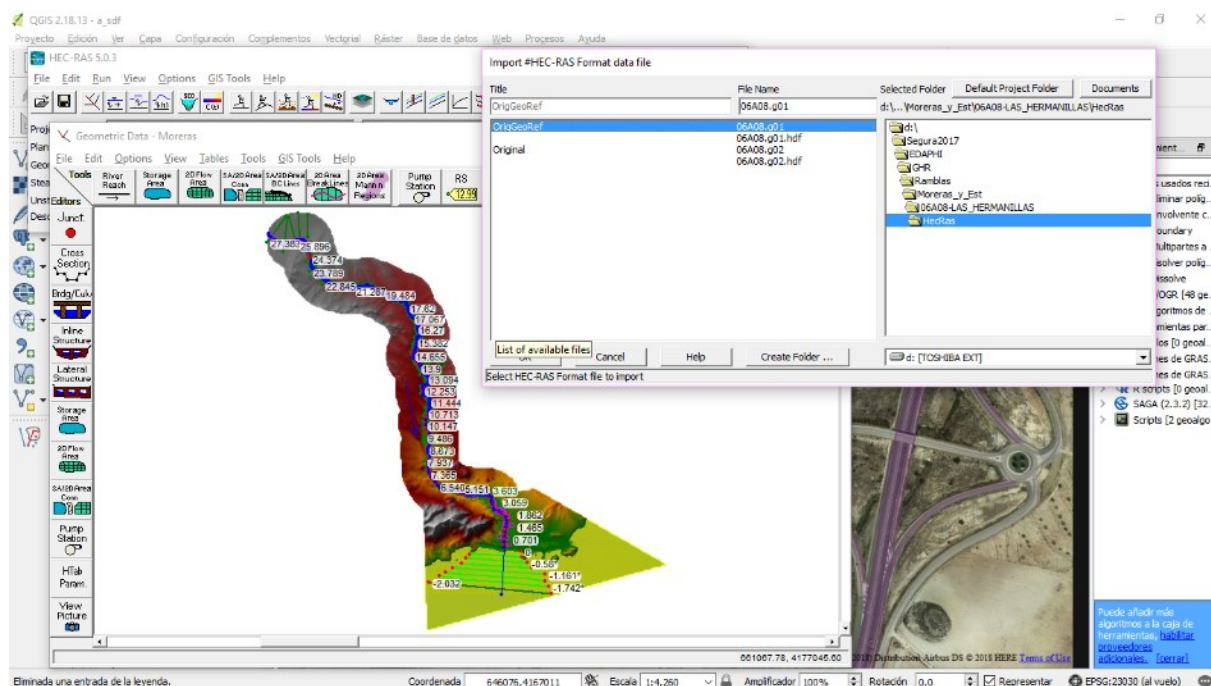


Figura 24-36.- Inserción de un submodelo importando geometría

Hay que revisar secciones, especialmente las orillas y los valores de rugosidad. Será necesario corregir las distancias de la sección aguas abajo del submodelo y de la sección del modelo situado inmediatamente aguas arriba del submodelo insertado.

Se recomienda siempre reducir rugosidad a L-CH-R, lo que puede hacerse desde el comando de "Tables/Mannings ..." y en la ventana hacer click en el botón correspondiente.

24.7 Instalación

La instalación se realizará como un módulo más del entorno EDAPHI que depende de la aplicación Grass con Python 2 (ver 4.7). Adicionalmente, se contará con el software Hec-Ras, pero sin requerimientos especiales, pues la conexión de GHR y esta aplicación se realizará a través de los archivos de intercambio SDF.

25 EDAPHI-MTG. Evaluación de recursos hídricos y cálculo de balance basado en el modelo de Témez

25.1 Introducción

En el año 2017 se creó un amplio equipo de profesionales para apoyar, con fondos del Banco Mundial (<https://www.worldbank.org/>), a Nicaragua en la elaboración del Plan Nacional Hídrico. Para la evaluación de recursos hídricos y el cálculo de balance se constituyó un equipo de especialistas nacionales e internacionales. El reto fue grande, pues unos cálculos de tal magnitud, con pocos antecedentes de base, hubo que realizarlos en apenas cuatro meses, cuando 18 meses ya habría sido un tiempo ajustado. La solución fue en parte posible a las capacidades de programación con que dota un entorno como éste, aparte del esfuerzo y la dedicación de todos los involucrados.

Los trabajos incluyeron, a parte de los referidos cálculos hidrológicos:

- Delimitación de cuencas
- Tratamiento de datos meteorológicos: homogeneización de datos, relleno de datos faltantes, cálculo de mallas de precipitación y temperaturas, cálculo de radiación solar, cálculo de vaporación de referencia y selección de escenario de clima futuro
- Cálculo de evapotranspiración potencial, considerándose los años de referencia históricos 1983, 2000, 2005, 2010 y 2015 a efectos de cambios en los usos del suelo. Se tuvo en cuenta esta evolución en los análisis históricos y se evaluó su influencia. Todo ello previo a la construcción de las mallas geográficas (capas raster) de los correspondientes usos de suelo en las fechas indicadas.

En una fase posterior, se formó al personal de INETER (institución que incluye el Servicio Hidrológico Nacional representado por la Dirección Nacional de Recursos Hídricos) en la programación con Python con EDAPHI y Grass.

El código para esta solución es una primera versión simplificada de EDAPHI. La versión final de MTG se definió del modo más simple posible para facilitar las labores formativas.

Actualmente hay una nueva versión actualizada para operar con GIS-Grass 7.8 y Python 9.0. El código se ha reorganizado con fines de transferencia al personal de INETER. Resulta así un caso simplificado de aplicación EDAPHI.

El equipo de INETER ha desarrollado una versión mejorada de lo que aquí se expone (https://youtu.be/BLVPUT6PUv4?si=5Yvhvk2n_J8Km4F7, en el canal de Youtube de PROHIMET (<https://www.youtube.com/@prohimet7408>, con motivo del 20 aniversario).

25.2 Funcionalidad de la aplicación

La funcionalidad de la aplicación puede resumirse en los siguientes puntos:

- Realiza los cálculos de escorrentías e infiltración para la evaluación de recursos hídricos a escala mensual. Su modelo se basa en el método de Témez
- Emplea el software Grass y Excel, programados con Python y VBA, respectivamente. El primero para los cálculos matriciales y el segundo para acciones relacionadas con la calibración de parámetros y cálculos agregados (en subcuencas).
- Facilita la conexión con otras herramientas SIG
- Presenta resultados detallados, de agregación y resúmenes o síntesis, y en varios formatos

El volumen de información que maneja es alto: la base de datos de Grass contiene 2807 capas raster y 15 vectoriales. En total se cuentan 30,074 archivos en 3,084 carpetas.

25.3 Modelación

El modelo que se implementó en MTG fue el de Témez para la evaluación de recursos hídricos (Figura 25-1).

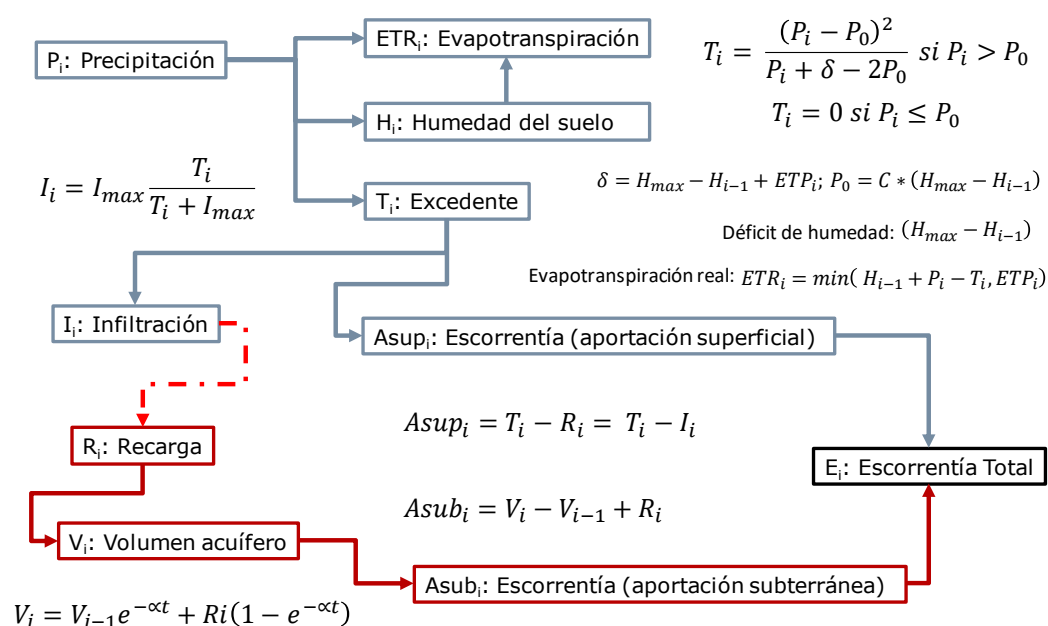


Figura 25-1.- Esquema del modelo de Témez para la evaluación de recurso hídricos

Pero dadas las circunstancias en las que hubo que hacer el trabajo, con el reto del tiempo disponible y con los estudios hidrogeológicos realizándose en paralelo, fue inevitable (o aconsejable para esta primera aproximación) simplificar el esquema conforme a lo indicado en el siguiente esquema (Figura 25-2).

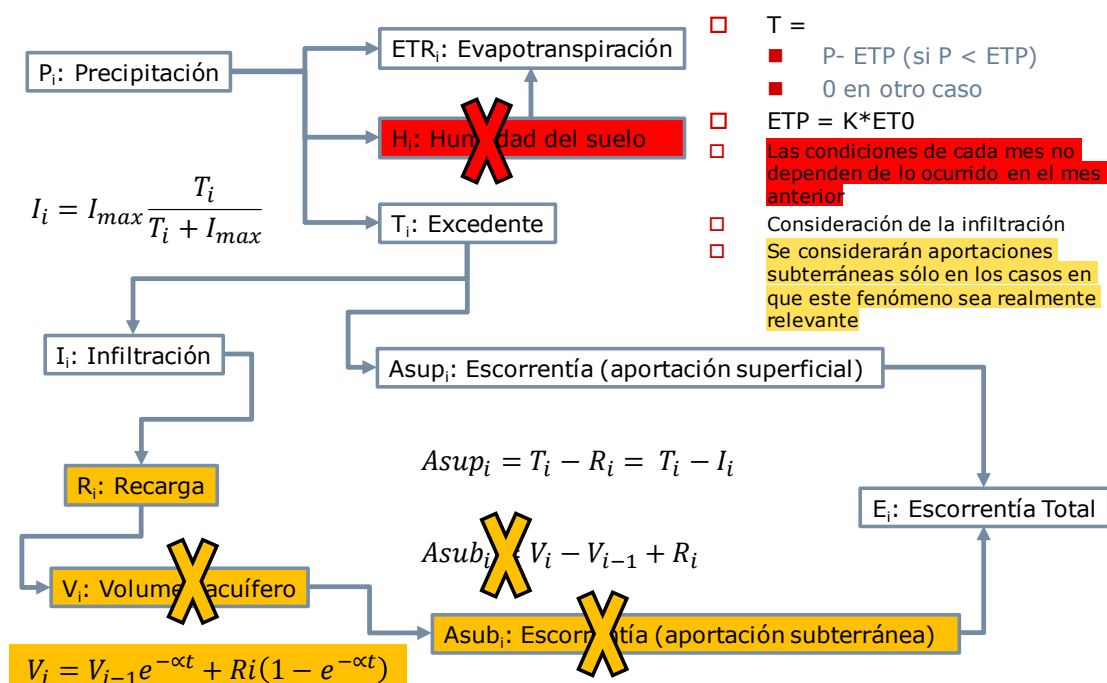


Figura 25-2.- Esquema simplificado del modelo de Témez

25.4 Datos

Los datos de entrada en formato SIG matricial son:

- Parámetro de infiltración para obtener la infiltración máxima
- Evapotranspiraciones de referencia
- Precipitaciones
- Consumos (para el cálculo del balance)
- Mapas de usos del suelo a lo largo del tiempo

Para el contraste de resultados se requieren series temporales de caudales en puntos de la red hidrográfica.

Los parámetros de simulación que admiten calibración son los de infiltraciones y los de evapotranspiraciones reales.

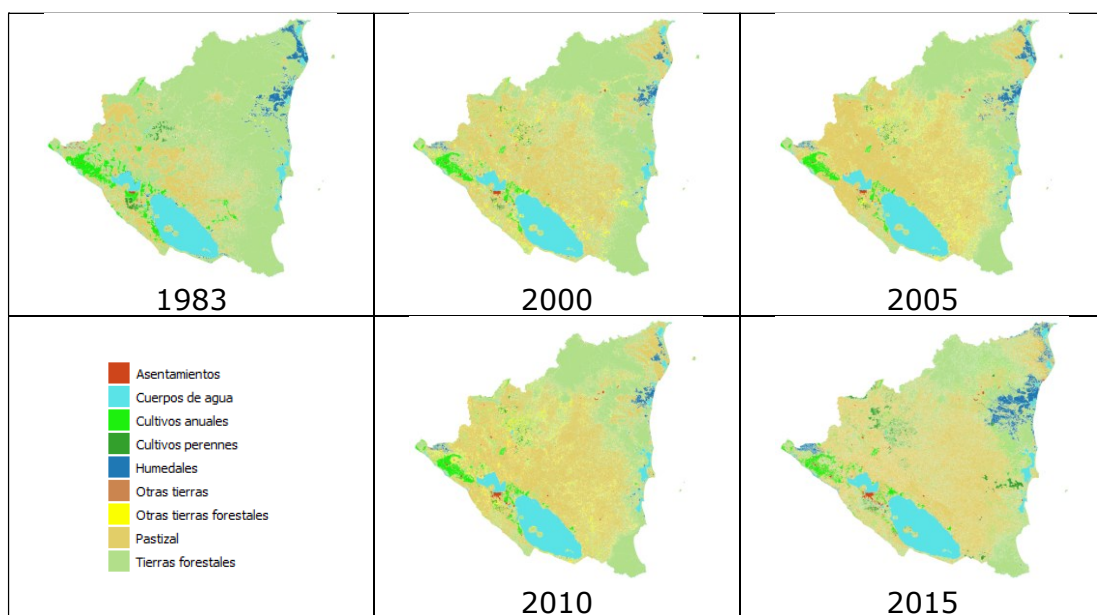


Figura 25-3.- Evolución de los usos del suelo

25.5 Resultados

Los resultados principales son: escorrentías, infiltraciones, evapotranspiraciones reales y balances. Tanto como series temporales de todas las variables con que trabaja en formato de mallas SIG o como valores areales (agregados en subcuencas).

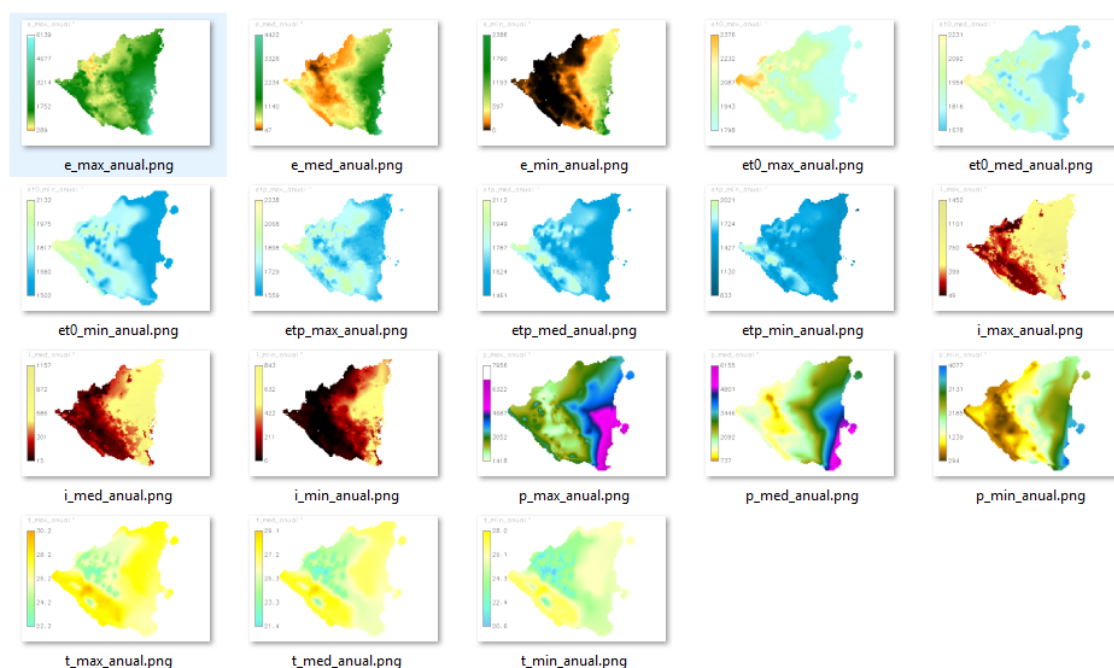


Figura 25-4.- Resultados de síntesis. Estadísticos anuales.

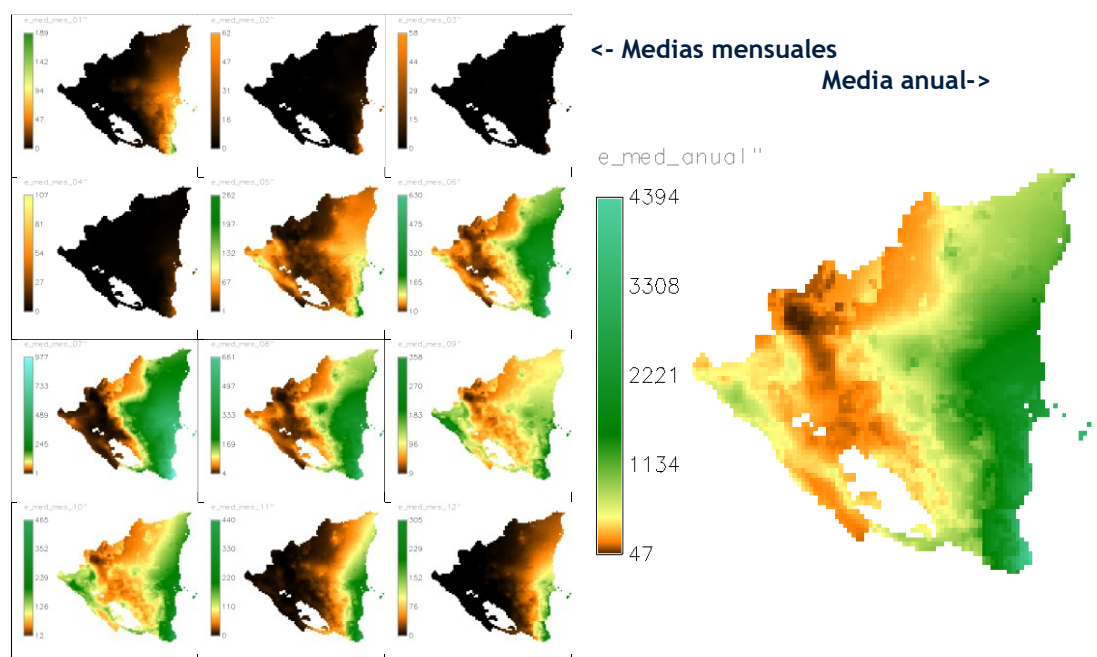


Figura 25-5.- Valores medios mensuales

Genera resúmenes con agregaciones temporales, espaciales y estadísticas, tanto en forma de gráficos como de tablas.

La estructura de archivos de resultados de la evaluación de recursos responde a (para las variables escorrentía, infiltración, evapotranspiración de referencia y potencial, temperatura y precipitación):

- *res\CapasResMod.*- Capas de síntesis en formato GeoTif. Promedios mensuales (mes 1 a 12) y anuales, para las variables.
- *res\Csv.*- Valores areales mes a mes
- *res\Grf\Anuales.*- Valores anuales, año por año. Una subcarpeta por variable.
- *res\Grf\Inter_Anual.*- Estadísticos (promedio, mínimo y máximo) anuales, para cada variable resultado
- *res\Grf\Inter_Mes.*- Estadísticos (promedio, mínimo y máximo) mensuales (mes 1 a 12) para cada variable.
- *Res\Balance.*- Resultados de balance en valores medios. Archivos CSV y PNG.

Los resultados anteriores se complementan con unas utilidades para la consulta de resultados CSV preparadas con archivos MS-Excel, incluyendo programas en VBA. EL mismo tipo de archivos y lenguaje se emplea para utilidades de ajustes de parámetros de cálculo. En total hay 59 archivos CSV con todos los detalles de los cálculos en subcuencas y 6 archivos XLSX con gráficos y tablas.

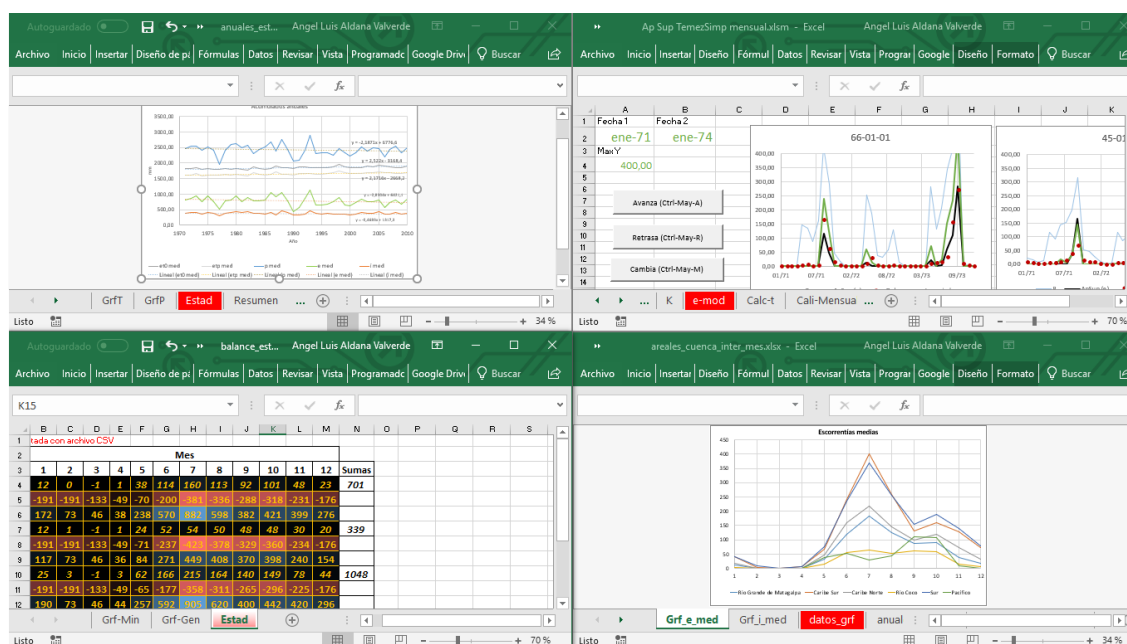


Figura 25-6.- Archivos de MS-Excel con vínculos a CSV, programas VBA para consultas y cálculos.

Además, en la base de datos Grass (carpeta *Grass*) se mantienen los valores mensuales (mes a mes para cada año) de cada variable.

Los resultados pueden ser consultados desde otro SIG

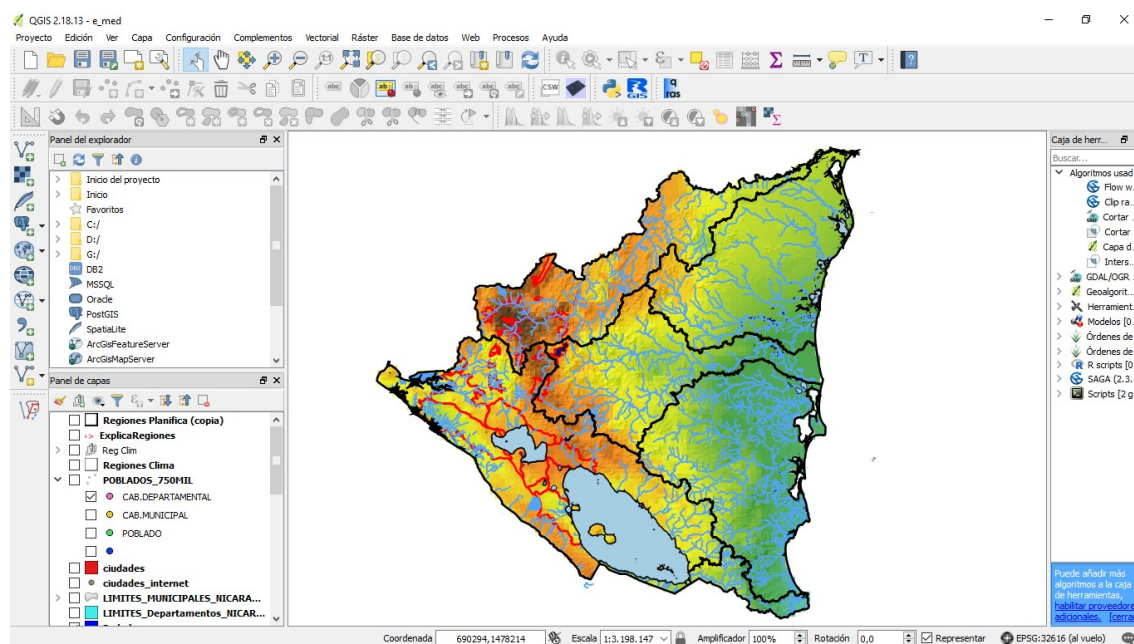


Figura 25-7.- Consulta de resultados en otro SIG (caso QGIS)

Los balances se realizan en valores mensuales medios. Los resultados son análogos a los anteriores, con gráficos y archivos CSV.

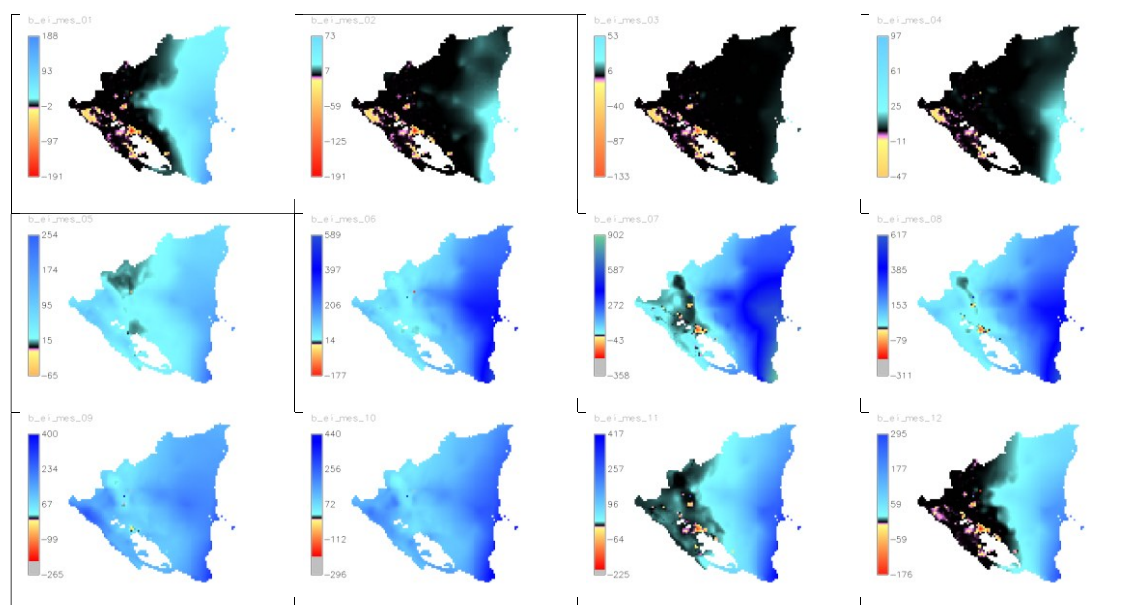


Figura 25-8.- Mallas con resultados de balances

25.6 Comandos

Los comandos con que cuenta esta aplicación son:

Comando	Descripción
ayuda	Ayuda
bal_calcula	Cálculo del balance

bal_datos_bas	Cálculo del balance
borra_fechas	Borra mallas en la BD de Grass, correspondiente a un intervalo de fechas
cd_caso	Cambia al directorio de caso
crea_caso	Crea las subcarpetas de caso a partir de la carpeta principal
crea_loc	Crea el "LOCATION" de Grass en el directorio Grass de caso a partir de las características de un Tif
dir_caso	Muestra o asigna el directorio del caso
edita_cod	Editar el código lanzando PyCharm
ejecuta_grass	Ejecutar un comando Grass
ejecuta_py	Ejecuta el módulo py que se indique como argumento
eval_calcula	Realiza los cálculos de evaluación de recursos hídricos
eval_datos_bas	Carga las mallas dato Tif (p, et0, k, kv) y cuencas
limpia_res	Elimina resultados de cálculo tipo mapset, PNG y Tif. Deja los CSV
mtg_completo	Realiza todas las operaciones de manera secuencial

Tabla 25.- Comandos del módulo MTG

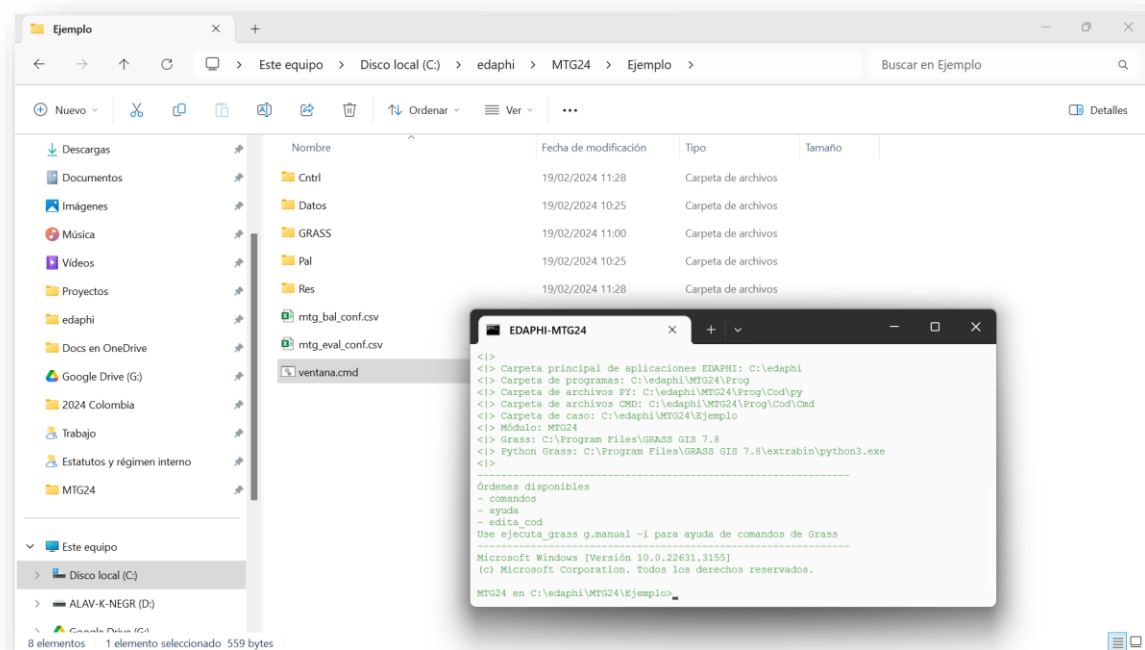
25.7 Instalación

El código va acompañado de unas instrucciones breves de instalación, complemento de explicaciones y apoyo por videoconferencia, que se recogen a continuación.

En primer lugar, hay que instalar la utilidad *GisGrass* en la versión indicada.

Copiar la carpeta *MTG24*, preferiblemente en la carpeta *C:\EDAPHI* (quedaría como *C:\EDAPHI\MTG24*).

Si se ha instalado todo con los valores por defecto, bastará con buscar la carpeta *C:\EDAPHI\MTG24\Ejemplo* en el navegador de Windows y hacer doble click en el archivo *ventana.cmd*.



Se mostrará una ventana como la mostrada en la figura anterior. A partir de ahí, seguir las instrucciones que se presentan, empezando por teclear “ayuda” y pulsar la tecla ENTER.

Si se ha cambiado la configuración por defecto o desea comprobarse la configuración antes del paso anterior, se tendrá que usar el archivo “C:\edaphi\MTG24\Cmd\ini_conf.cmd”. Incluye comentarios que facilitarán la realización de cambios en caso de que sean necesarios.

```

1  @Echo off
2  Rem Este archivo es llamado desde ventana.cmd
3  REM Para lo siguiente, ver GISBASE\EDAPHI\GRASS.bat y "%GISBASE%\etc\env.bat"
4  set GISBASE=C:\Program Files\GRASS GIS 7.8
5  set GRASS_PYTHON=%GISBASE%\extrabin\python3.exe
6  set PYTHONHOME=%GISBASE%\Python39
7  set GRASS_PROJSHARE=%GISBASE%\share\proj
8  set PROJ_LIB=%GISBASE%\share\proj
9  set GDAL_DATA=%GISBASE%\share\gdal
10 set FONTCONFIG_FILE=%GISBASE%\etc\fonts.conf
11 set PATH=%GISBASE%\extrabin;%GISBASE%\bin;%PYTHONHOME%;%PATH%
12 REM set RStudio temporarily to %PATH% if it exists
13 IF EXIST "%ProgramFiles%\RStudio\bin\rstudio.exe" set PATH=%PATH%;%ProgramFiles%\RStudio\bin
14 REM set R_USER if %USERPROFILE%\Documents\R\ exists to catch most common cases of private R libraries
15 IF EXIST "%USERPROFILE%\Documents\R\" set R_USER=%USERPROFILE%\Documents\
16 REM set R temporarily to %PATH%
17 IF EXIST "%ProgramFiles%\R\" ("%GISBASE%\extrabin\R" path)
18
19 Rem Cabe imponer algunas especificaciones para Grass
20 rem set GRASS_VERBOSE=1
21 Rem Lo siguiente sirve para las dimensiones de los gráficos PNG
22 rem set GRASS_RENDER_WIDTH=1000
23 rem set GRASS_RENDER_HEIGHT=1000
24 set EDAPHI_AP=MTG24
25 Rem Entorno general
26 prompt $EDAPHI_AP en $P$G
27 Title EDAPHI-$EDAPHI_AP
28 Set EDAPHI_GRASS=grass78
29 SET EDAPHI_DIR_PROG=%EDAPHI_DIR%\MTG24\Prog
30 Rem Los módulos específicos de la aplicación estar en:
31 SET EDAPHI_DIR_PY=%EDAPHI_DIR_PROG%\Cod\Py
32 Rem De modo análogo, para los archivos Cmd:
33 Set PATH=%EDAPHI_DIR_PROG%\Cod\Cmd;%EDAPHI_DIR_C%\Cmd;%EDAPHI_DIR%\Cmd;%PATH%
34 Rem Para que se pueda acceder a los módulos Py como bibliotecas. El orden importa:
35 set PYTHONPATH=%EDAPHI_DIR_PROG%\Cod\Py;%PYTHONPATH%
36 set PYTHONPATH=%GISBASE%\Python39;%GISBASE%\etc\python;%PYTHONPATH%
37 SET EDAPHI_GRASS_CMD="%GRASS_PYTHON%" "%GISBASE%\etc\EDAPHI_GRASS%.py" "%EDAPHI_DIR_C%\GRASS\%EDAPHI_GRASS_LOCATION%\%EDAPHI_GRASS_MAPSET%" --exec
38 Rem Para lanzar módulos PY

```

El archivo `ventana.cmd` usa el anterior y también establece algunas variables de entorno.

25.7.1 Uso de MTG24 en un nuevo caso de aplicación

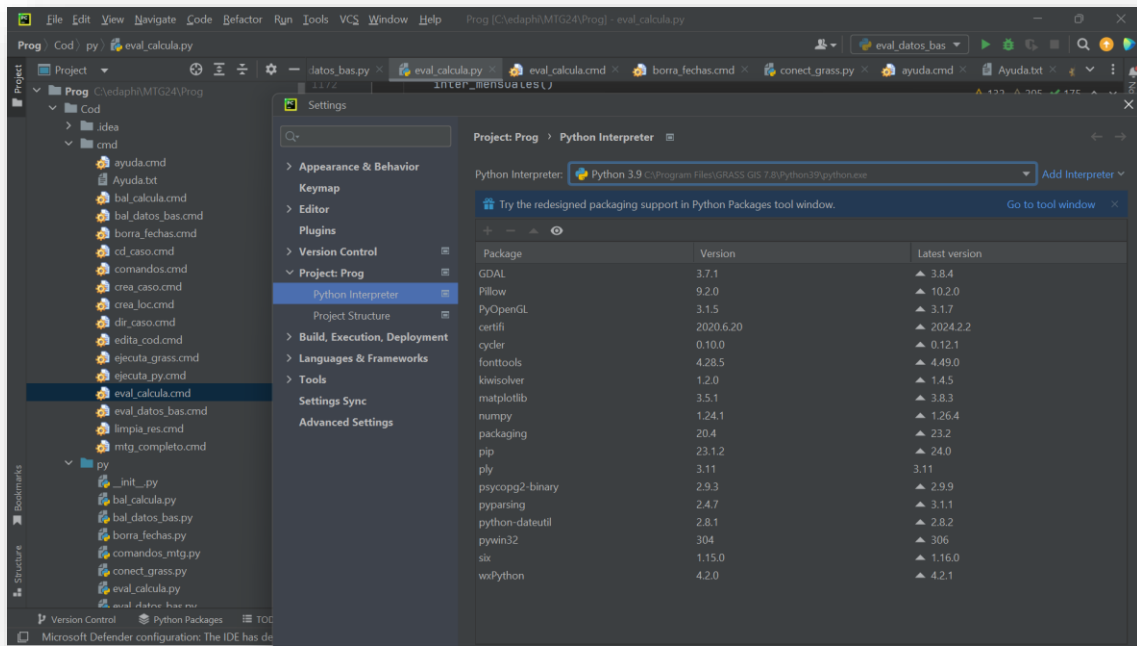
Se recomienda seguir los pasos que muestra el comando “ayuda” en una nueva subcarpeta de caso, que podría ser “`c:\edaphi\MTG24\Prueba`”, empezando desde cero a partir del ejemplo de la carpeta “`c:\edaphi\MTG24\Ejemplo`”.

25.7.2 Instalación para desarrollo

Si se desea trabajar en el código, se recomienda usar PyCharm. El código está en la carpeta `C:\edaphi\MTG24\Prog`.

Desde la ventana del caso de aplicación puede abrirse el proyecto de PyCharm con el comando `edita_cod`. Se recomienda este modo para que se tengan las variables de entorno debidamente establecidas.

PyCharm debe configurarse (comando de menú File/Settings) usando “`C:\Program Files\GRASS GIS 7.8\Python39\python.exe`”, por ejemplo, como intérprete.



26 EDAPHI-ADDA. Análisis de datos diarios para la calibración del parámetro "a"

26.1 Introducción

Los parámetros de transformación de lluvia-escorrentía son una de las mayores fuentes de incertidumbre de los modelos de pronóstico hidrológico. Es pues recomendable realizar estudios con datos históricos para evaluar su variación por cuencas y establecer relaciones con la precipitación en días anteriores.

Para calibrar estos parámetros se recurre a una formulación específica que dependerá, a su vez, de otros parámetros a calibrar. La calibración se basará en cuencas sin regulación con datos históricos de caudal.

26.2 Funcionalidad de la aplicación

Por ello se ha desarrollado ADDA, con el objetivo general de realizar estudios históricos para establecer relaciones entre parámetros de escorrentía y precipitación antecedente.

La finalidad última (todo ello en función de la precipitación antecedente) será:

- Precalibración de los parámetros de escorrentía y definición de sus rangos de variación, lo que implica una mejora significativa del enfoque de autocalibración de parámetros (ver 8.7 y 0), pues requiere de rangos lo más estrecho que sea posible y con fundamento en estudios.
- Definición de escenario basado en parámetros precalibrados. Aún sin los ajustes en tiempo real, los cálculos basados en la precalibración pueden ya ofrecer resultados con precisión suficiente en muchos casos.

26.3 Datos

Requiere para cada subcuenca a analizar datos históricos de caudal y lluvia areal media. Estos pueden almacenarse en archivos XLSX.

Las lluvias pueden calcularse con Prec a partir de datos históricos en pluviómetros.

La caracterización de subcuencas puede realizarse con GCuencas

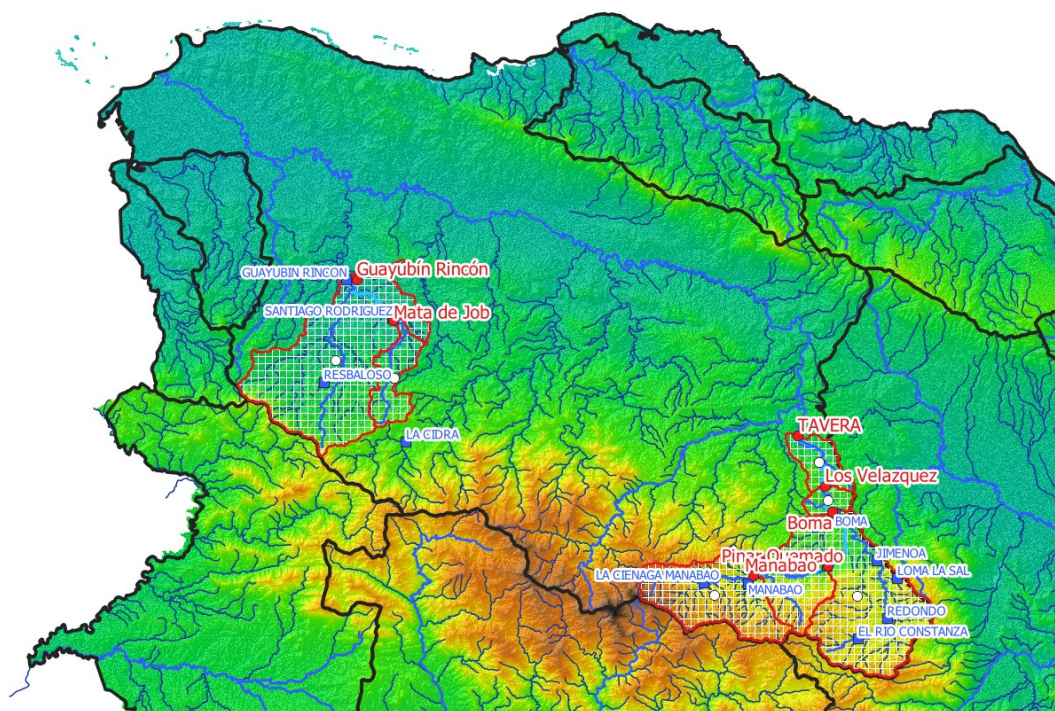


Figura 26-1.- Base SIG para un caso de aplicación (Yaque del Norte en República Dominicana) definida con GCuencas

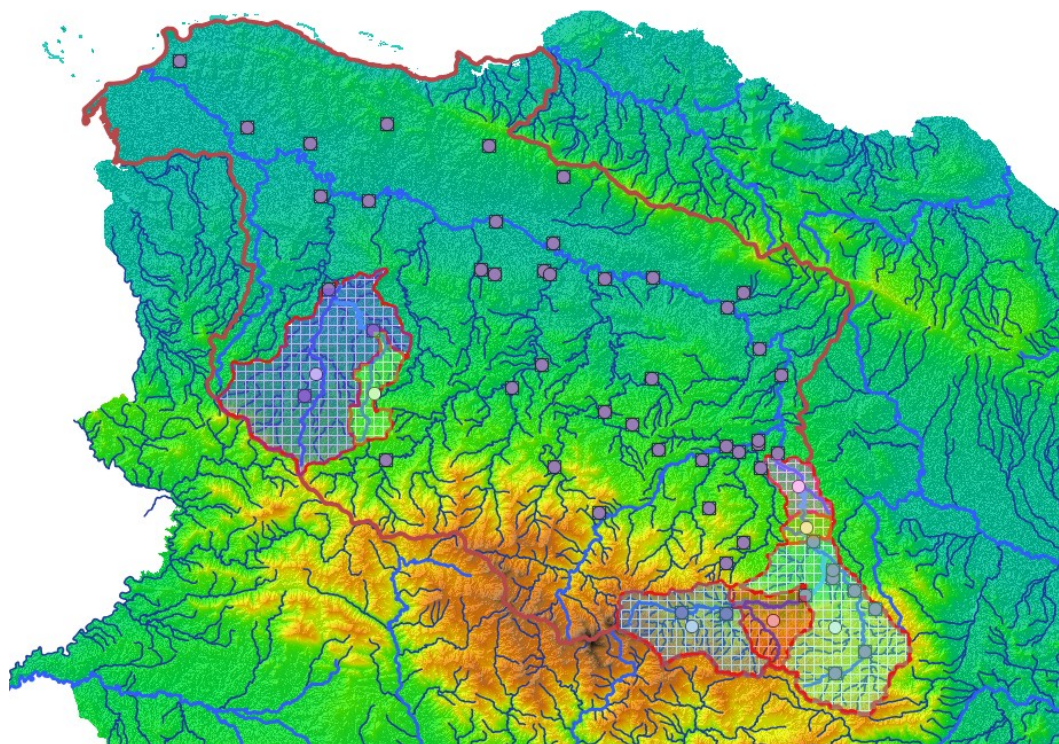


Figura 26-2.- Base SIG de Prec para el mismo caso de aplicación

26.4 Modelización

Lo relacionado al parámetro a y su relación con la precipitación en días anteriores está descrito en el apartado 8.2.2.

26.4.1 Adaptación del hidrograma unitario

Los cálculos de pronóstico, para subcuencas que se simulan con hidrogramas unitarios, se realizan con discretizaciones de 60, 30 o 15 minutos. Este análisis se basa en datos diarios. Para lograr la máxima compatibilidad de análisis basados en datos diarios aplicados a discretizaciones menores se recurre al uso de hidrograma unitario con dato diario de precipitación, realizando un cálculo suponiendo que la lluvia se reparte en 24 horas conforme a una distribución SCS-I (elegida arbitrariamente, aunque la elección de otra hipótesis similar apenas altera el resultado).

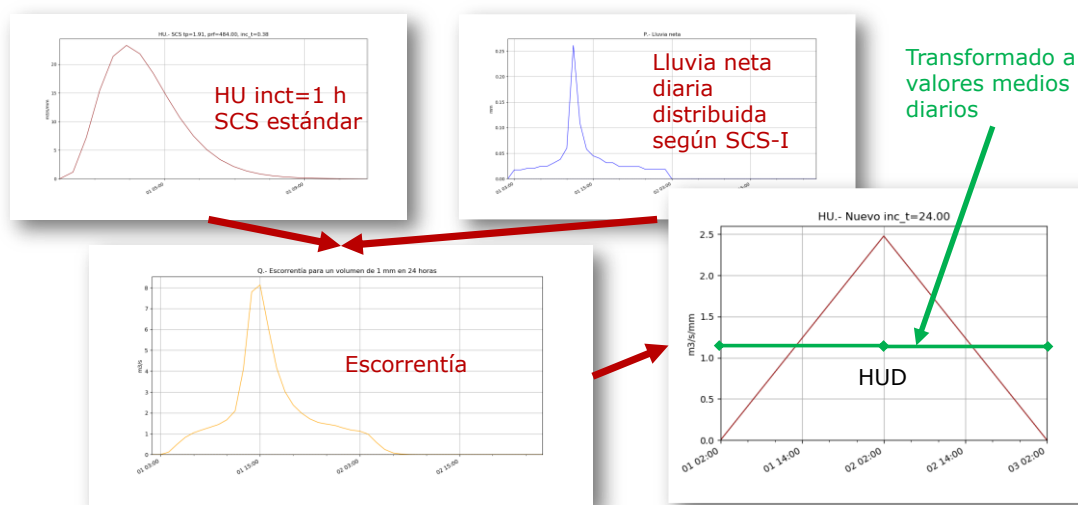


Figura 26-3.- Esquema de adaptación del hidrograma unitario para intervalos de tiempo diarios

26.4.2 Caudal base

El caudal base consiste en la suma de dos componentes: una parte supuesta constante y otra según la ecuación que se incorpora al hidrograma unitario:

$$Q_{bt} = q_{ratio} * qp * e^{-kt}$$

qp es el caudal punta del hidrograma unitario, y kt y q_{ratio} son parámetros a calibrar, todo ello a escala inferior a la diaria.

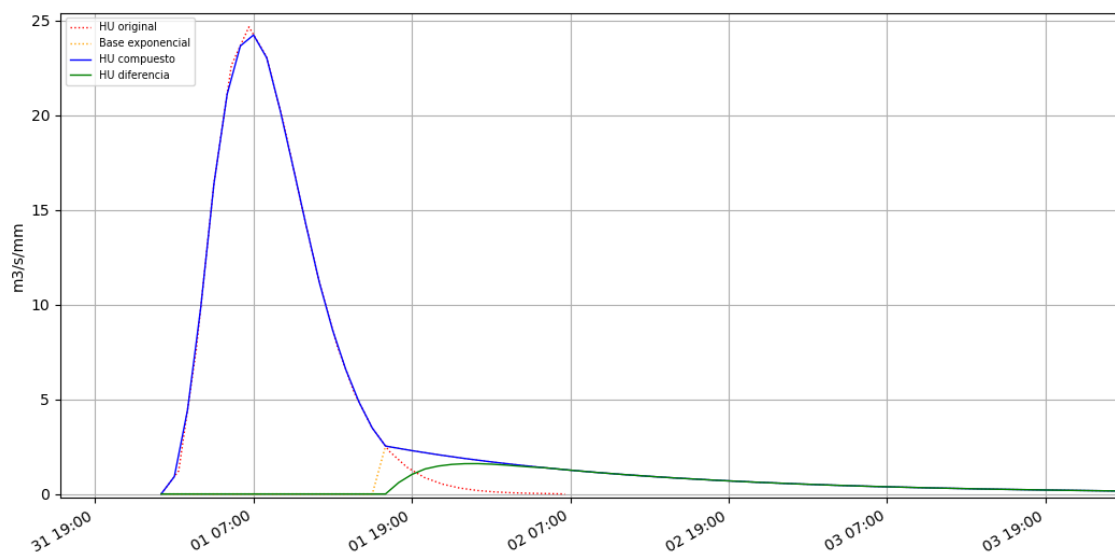


Figura 26-4.- Caudal base representado en el hidrograma unitario

26.5 Configuración

Este módulo se configura de modo análogo a MHH, por lo que no se van a repetir los apartados uno por uno. Tan solo se indica a continuación las singularidades de ADDA con respecto a MHH:

- No recurre a las aplicaciones Hec
- Sólo tiene nodos tipo S
- Sólo funciona con escenarios de tipo simulación (SIM) y de un tipo determinado distinto a los de MHH.

A	B	C
1	DESC	ADDA YaqueNorte
2	LEVEL_LOG	2
3	INV_V	-999,999
4	T_NOD	S
5	SEC_CONF	PAS
6	DPI_SAVE_PNG	300
7	PREP_HTML	N
8	DIR_GIS_GEN	N
9	LEGEND_LOC	best
10	PRECPAS	Series dato %EDAPHI_DIR_C% \Prec\Res\YaqueNorte\areales.xlsx Series
11	SERIES_DAT	Series dato %EDAPHI_DIR_C% \ST\Diarios_q_sel.xlsx Series
12	INTERV_CALC_MIN	1440
13	D_ACUM	5 10 15 20 25 30 60
14	INTERV_ACUM_PN_D	2

Figura 26-5.-Hoja principal de configuración de ADDA

26.5.1 Definición de escenarios

Los escenarios se definirán de forma idéntica a como se hace en MHH, salvo que limitada y en función de una colección de parámetros (sección PARAM_TAB) específica (PQ_NC_APL_QBC).

Cada escenario estará asociado a una curva de "a" en función de la precipitación antecedente.

A	B	C
1	T_SCN	SIM
2	INTERV_CALC_MIN	1440
3	ID	Estación seca
4	DESC	Estación seca
5	PARAM_TAB	PQ_NC_APL_QBC Parámetros de lluvia-esorrentía Param_s_sec
6	COLOR	chocolate
7	LINEWIDTH	2
8	LINESTYLE	dotted

Figura 26-6.- Definición de un escenario de cálculo

La tabla de parámetro será similar a la de la siguiente figura:

Autoguardado

conf_adds_yn.xlsx

Buscar (Alt+Q)

Angel Luis Aldana Valverde

Comentarios

Compartir

ArchivoInicioInsertarDibujarDisposición de páginaFórmulasDatosRevisarVistaProgramadorComplementosAyuda

F13

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Subcuencas completas (agregan parciales)	CN	Area_km2	IO	L_km	Qbas_cte	Qmin_cerr	A_MAX	A_MIN	AA_P_MED	AA_POT	AA_DAYS	K_DAYS	QBAS	Q_RATIO	QBAS
Mata de Job	75.93	78.34	0.0136	29.05	0.10	1.00	2.50	0.22	8.80	12.00	15.00	0.008	0.100		
Guayubín Rincón	77.40	545.29	0.0134	47.76	0.90	6.30	2.50	0.22	8.80	12.00	15.00	0.008	0.100		
Manabao	71.08	214.01	0.0390	26.47	3.00	8.00	2.50	0.22	8.80	12.00	15.00	0.008	0.100		
Pinar Quemado	71.37	318.86	0.0331	42.74	4.00	12.00	2.50	0.22	8.80	12.00	15.00	0.008	0.100		
Boma	73.00	695.66	0.0281	56.96	8.00	15.00	2.50	0.22	8.80	12.00	15.00	0.008	0.100		
Los Velazquez	73.25	725.51	0.0268	65.16	12.00	19.00	2.50	0.22	8.80	12.00	15.00	0.008	0.100		
Tavera	73.89	785.69	0.0241	82.83	9.00	20.00	2.50	0.22	8.80	12.00	15.00	0.008	0.100		

Figura 26-7.- Establecimiento de parámetros PQ_NC_APL_QBC en una hoja

Este módulo está preparado para operar con diferentes periodos de cálculo de precipitaciones medias, pues es uno de los parámetros a estudiar.

26.6 Resultados

Genera resultados en archivos XLSX y PNG con gráficos. También cuenta con utilidades interactivas para visualizar los gráficos en detalle

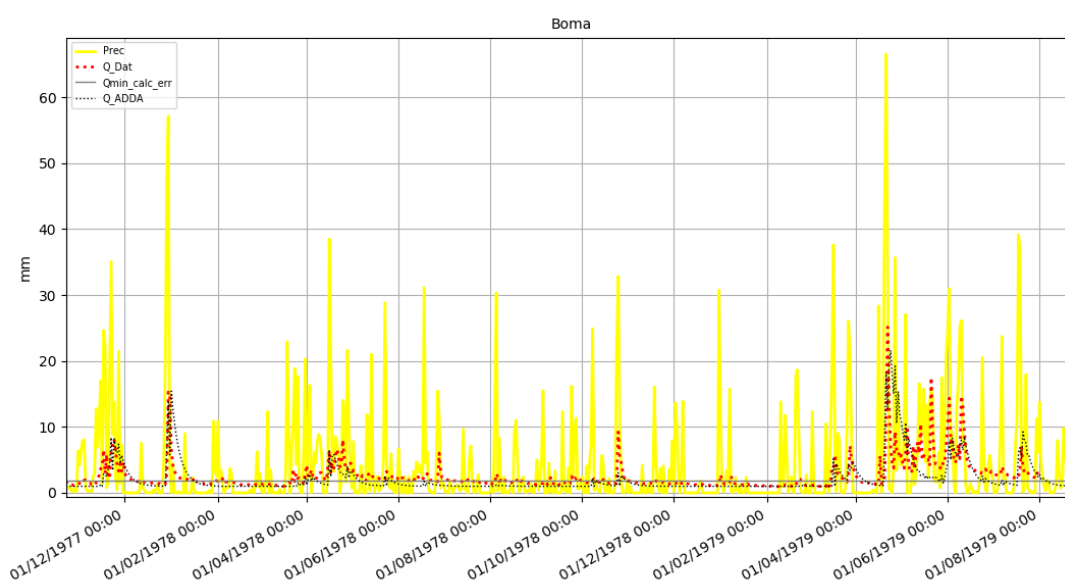


Figura 26-8.- Ejemplo de gráfico de resultados que incluyen precipitación (amarillo), caudal calculado (negro) y caudal dato (rojo)

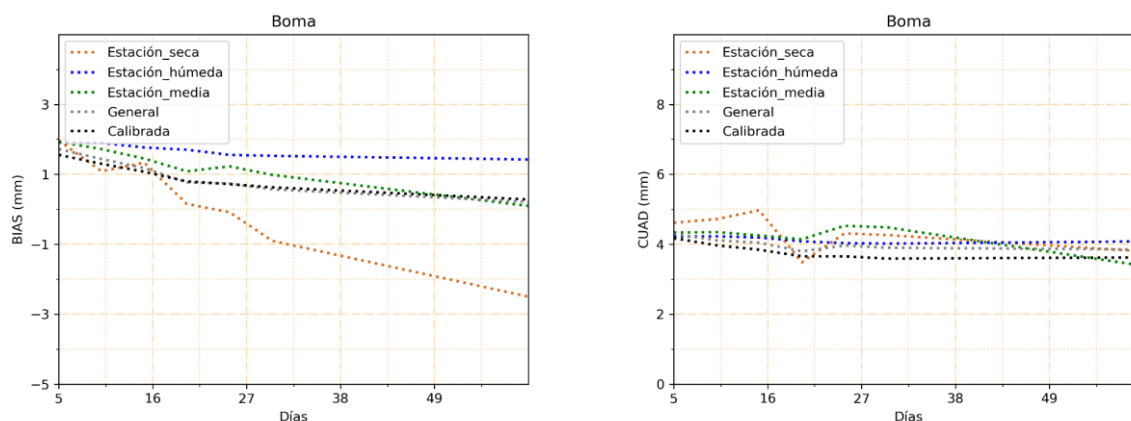


Figura 26-9.- Ejemplo de gráficos de resultados de cálculo de errores en función del periodo de cálculo de precipitación antecedente

26.7 Comandos

El comando es *adda*, y sus opciones son:

```
Argumento obligatorio:
  xlsx_conf=- Nombre del archivo de configuración
Comandos
  -read_conf.- Lee la configuración y muestra las lecturas
  -list_subc.- Presenta un lista de las subcuencas
  -list_scn.- Presenta una lista de los escenarios (considerando la
combinatoria)
  -list_ferr.- Presenta una lista de las fórmulas de error
  -grf_hud.- Muestra ventanas gráficas de HU diario
  -calc_sim.- Cálculo de simulación
  -calc_err.- Cálculo de errores de la simulación
  -calc_sub.- Cálculo interactivo de una subcuenca
    isubc=- índice de subcuenca
  -grf_subc_vt.- Ventana de gráfico por subcuenca de caudales
    isubc=- índice de subcuenca
    iscn=- índice de escenario
    txt_scn=- Alternativa a iscn mediante se seleccionan
escenarios cuyo id contenga el texto
    /mm.- Para mostrar series en mm
    /mm_pb.- Para mostrar series en mm e incluyendo
precipitación
  -grf_subc_err.- Ventana de gráfico de errores de simulación por
subcuenca
    isubc=- índice de subcuenca
    ifml=- índice de fórmula
    /mm.- Para mostrar resultados en mm
    y_min=- (Opcional) Valor mínimo de la escala de ordenadas
    y_max=- (Opcional) Valor máximo de la escala de ordenadas
  -grf_all_err.- Genera archivos de gráfico errores de simulación en
todas las subcuencas
    ifml=- índice de fórmula
    /mm.- Para mostrar resultados en mm
    y_min=- (Opcional) Valor mínimo de la escala de ordenadas
    y_max=- (Opcional) Valor máximo de la escala de ordenadas
```

Ejemplos:

```
xlsx_conf=conf_adda_yn.xlsx -list_subc
xlsx_conf=conf_adda_yn.xlsx -grf_hud isubc=0
xlsx_conf=conf_adda_yn.xlsx -calc_subc isubc=0
xlsx_conf=conf_adda_yn.xlsx -calc_sim
xlsx_conf=conf_adda_yn.xlsx -grf_subc_vt isubc=6 txt_scn=Calibrada
xlsx_conf=conf_adda_yn.xlsx -grf_subc_vt isubc=6 txt_scn=_30 /mm
xlsx_conf=conf_adda_yn.xlsx -grf_subc_vt isubc=6
txt_scn=solo_datos /mm_pb
xlsx_conf=conf_adda_yn.xlsx -grf_subc_vt isubc=6 iscn=0 /mm_pb
xlsx_conf=conf_adda_yn.xlsx -grf_subc_err isubc=2 ifml=4 /mm
y_min=0
xlsx_conf=conf_adda_yn.xlsx -grf_all_err ifml=0 /mm y_min=-15
y_max=15
```

26.8 Instalación

No tiene necesidades especiales de instalación.

27 EDAPHI-WOF. Utilidades de acceso a datos a través de un servicio web WaterOneFlow

27.1 Introducción

Actualmente se extiende el uso de servicios web para poner a disposición datos hidrológicos. Uno de ellos es WaterOneFlow (ver <https://his.cuahsi.org/wofws.html>) que es compatible con WaterML (<https://www.ogc.org/standards/waterml>), un estándar de archivo de intercambio de información hidrológica.

El equipo de "BYU Hydroinformatics Laboratory", de la "Brigham Young University", ha desarrollado el paquete PyWaterML (<https://pywaterml.readthedocs.io/en/latest/>), que resulta especialmente útil para el acceso a datos a través de un servicio web WaterOneFlow.

27.2 Funcionalidad de la aplicación

El principal objetivo de WOF es integrar PyWaterML dentro de EDAPHI y añadir algunas funcionalidades complementarias.

Como es habitual en las aplicaciones de EDAPHI, este módulo puede ser usado en modo comandos y por programación en Phyton.

Provee comandos de acceso a datos con posibilidades de generar mapas, archivos XLSX y CSV, además de presentar información en pantalla

El uso del módulo por programación, en Python, facilita el uso de pywaterml y convierte sus resultados en forma de diccionario a resultados en forma de listas compatibles con las formas de almacenamiento dentro de EDAPHI

27.3 Resultados

Los resultados al ser usado en modo comando, se almacenan en archivos XLSX, aunque también puede generar mapas interactivos.

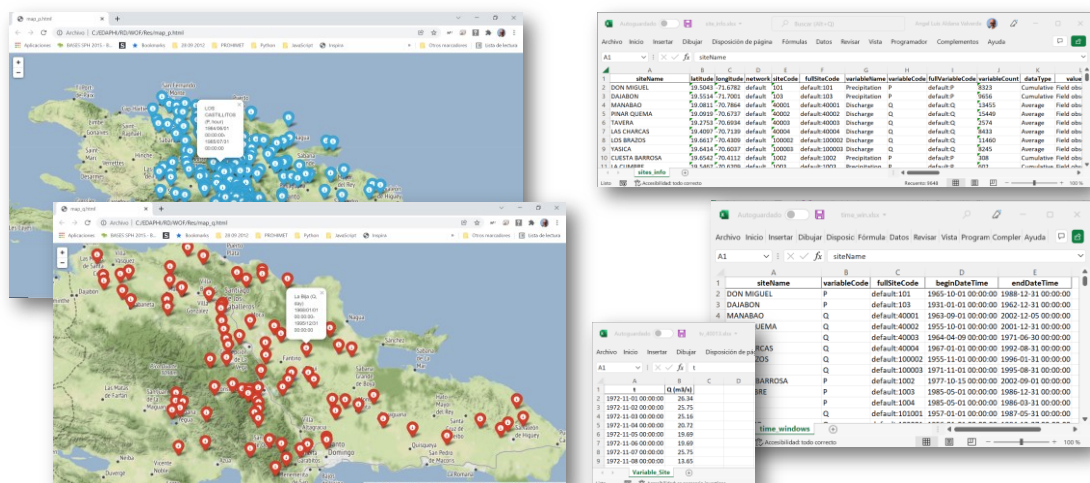


Figura 27-1.- Ejemplos de resultados de mapas y hojas de cálculo

27.4 Comandos

Al escribir `ed_cmd wof` en la línea de comandos aparece lo siguiente, que explica las múltiples opciones y argumentos a emplear en cada caso:

```
* Argumentos obligatorios para todos los comandos
url=: Dirección del WaterOneFlow Web Service
inc_minutes=: Intervalo en minutos de los datos del servidor
```

```
No serán necesarios si se almacena en la carpeta de caso un archivo
url.txt con los datos necesarios
Ejemplo de contenido:
http://128.187.106.131/app/index.php/dr/services/cuahsi_1_1.asmx?WSDL,
1440
```

```
* Comandos:
-h: Muestra estas líneas
-vars: Obtiene las variables
-sites: Obtiene la información de los sitios
      n_csv=: Genera un archivo CSV, si se indica
      n_xlsx=: Genera un archivo XLSX, si se indica
      /print: Imprime la información
-s_name: Obtiene información de sitios según el nombre
         sitename=: Nombre del sitio
-site_info: Obtiene la información detallada del sitio
            fullSiteCode=: Identificador del sitio (si no se indica
            buscará en todos los sitios)
            n_csv=: Genera un archivo CSV, si se indica
            n_xlsx=: Genera un archivo XLSX, si se indica
            /print: Imprime la información
-var_site: Obtiene la información completa de la variable de un
            sitio
            fullSiteCode=: Identificador del sitio
            start_date=: Formato 1985-05-01 11:00:00. Si no se indica
            toma el más antiguo
            end_date=: Formato 1985-05-01 11:00:00. Si no se indica
            toma el más reciente
```

```

        n_csv=: Genera un archivo CSV, si se indica
        n_xlsx=: Genera un archivo XLSX, si se indica
    -tv_var: Obtiene pares instante valor de la variable de un sitio
        fullSiteCode=: Identificador del sitio
        start_date=: Formato 1985-05-01 11:00:00. Si no se indica
toma el más antiguo
        end_date=: Formato 1985-05-01 11:00:00. Si no se indica
toma el más reciente
        n_csv=: Genera un archivo CSV, si se indica
        n_xlsx=: Genera un archivo XLSX, si se indica
        type_v=: una de las opciones
values|mean_interpolation|backward_interpolation|forward_interpolation.
Por defecto "values"
        /print: Imprime la información
        /grf: Muestra un gráfico
    -month_av_site: Obtiene la información completa de la variable de un
sitio
        fullSiteCode=: Identificador del sitio
        start_date=: Formato 1985-05-01 11:00:00. Si no se indica
toma el más antiguo
        end_date=: Formato 1985-05-01 11:00:00. Si no se indica
toma el más reciente
        n_csv=: Genera un archivo CSV, si se indica
        n_xlsx=: Genera un archivo XLSX, si se indica
        /print: Imprime la información
    -time_win: Obtiene la ventana de tiempos general de todos los sitios
        fullSiteCode=: Identificador del sitio (si no se indica
buscará en todos los sitios)
        n_csv=: Genera un archivo CSV, si se indica
        n_xlsx=: Genera un archivo XLSX, si se indica
        /print: Imprime la información
    -down_all_d: Descarga todos los datos diarios
        n_xlsx_out=: Nombre del archivo XLSX resultado
(obligatorio)
        n_xlsx_in=: Nombre del archivo XLSX de sitios (opcional),
con fila de cabeceras: siteName, variableCode, fullSiteCode y
unitAbbreviation
        n_sheet=: Nombre de la hoja de n_xlsx_in con los datos de
sitios
        start_date=: Formato 1985-05-01 11:00:00
        end_date=: Formato 1985-05-01 11:00:00
        type_v=: una de las opciones
values|mean_interpolation|backward_interpolation|forward_interpolation.
Por defecto "values"
    -map_s: Genera un archivo de mapa Leaflet almacenado en un archivo
HTML
        n_arch_html=: Nomnbre del archivo HTML
        fullSiteCode=: Identificador del sitio (si no se indica
seleccionará todos los sitios)
        v_code=: Tipo de variable [P, Q, ...] (si no se indica
seleccionará todas las variables)

* Ejemplos:
    -sites n_csv="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\sites.csv"
n_xlsx="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\sites.xlsx" /print
    -s_name sitename="TAVERA"
    -vars n_csv="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\vars.csv"
n_xlsx="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\vars.xlsx" /print
    -site_info n_csv="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\site_info.csv"
n_xlsx="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\site_info.xlsx"
    -site_info fullSiteCode=default:402 /print

```

```

    -var_site fullSiteCode=default:402
n_csv="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\var_site.csv"
n_xlsx="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\var_site.xlsx" start_date="1985-05-01
00:00:00" end_date="1985-05-30 23:00:00"
    -var_site fullSiteCode=default:402 n_xlsx="var_site.xlsx"
type_v=mean_interpolation start_date="1985-05-01 00:00:00" end_date="1985-
05-30 23:00:00"
    -tv_var fullSiteCode=default:402
n_xlsx="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\tv.xlsx" start_date="1985-05-01 00:00:00"
end_date="1985-05-30 23:00:00"
    -tv_var fullSiteCode=default:402
n_xlsx="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\tv.xlsx" type_v=mean_interpolation
start_date="1985-05-01 00:00:00" end_date="1985-05-30 23:00:00"
    -tv_var fullSiteCode=default:402 /grf url="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\tv"
-down_all_d n_xlsx_out="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\tv_all.xlsx"
start_date="1931-01-01 00:00:00" end_date="2016-08-31 00:00:00"
n_xlsx_in="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\site_info_sel.xlsx" n_sheet=sites_info
-month_av_site fullSiteCode=default:402
n_xlsx="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\m_var_site.xlsx"
-time_win n_xlsx="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\time_win.xlsx"
-time_win /print fullSiteCode=default:402
-map_s n_html="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\map.html"
-map_s n_html="C:\EDAPHI\RD\WOF\Res\map_q.html" v_code=Q

```

27.5 Configuración

Este módulo no tiene opciones de configuración, a excepción de lo indicado en el apartado anterior respecto al archivo opcional *url.txt*, cuyo contenido puede ser algo como lo siguiente:

```

http://128.187.106.131/app/index.php/dr/services/cuahsi_1_1.asmx?WSDL,
1440

```

27.6 Instalación

No tiene necesidades especiales de instalación.

Resumen

EDAPHI es el entorno de desarrollo de modelos de análisis y pronóstico hidrológicos. Consiste en una serie de bibliotecas de programación que permiten la generación de aplicaciones de análisis y pronóstico hidrológico. Está especialmente orientado hacia el pronóstico hidrológico, como meta más ambiciosa, pero también ofrece soluciones a otros problemas de la hidrología operacional, y es muy útil en tareas de hidrología de diseño.

Autor

Doctor Ingeniero por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid (España). Ha desarrollado gran parte de su carrera profesional en el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (hasta el año 2013), trabajando principalmente en cuestiones relacionadas con los sistemas automáticos de información hidrológica, la predicción hidrológica y la operación de embalses en situaciones de crecidas.

Ha trabajado en muchos países de Latinoamérica, en algunos países de Europa del Este y dos de África.

Es el coordinador de la red PROHIMET (Red iberoamericana para el monitoreo y pronóstico de fenómenos hidrometeorológicos), desde su fundación en 2005. Fue asesor técnico de la IAHR en el periodo 2018-2019, y vicepresidente de la AME en el periodo 2009-2011.

Ha participado en proyectos de sistemas de alerta temprana y en fortalecimiento de servicios hidrológicos de muchos países.

Ha desarrollado un gran número de modelos de pronóstico hidrológico y otras herramientas para análisis hidrológico.

Cuenta con experiencia en hidrometría, campo en el que ha formado a muchos profesionales.

Ha realizado numerosos trabajos relacionados con la seguridad hidrológica de presas.

Actualmente trabaja como consultor independiente internacional.