



EDAPHI

Entorno de Desarrollo
para Análisis
y Cálculo Hidrológico

Angel Luis
Aldana Valverde

2020

EDAPHI

*Entorno de Desarrollo para
Análisis y Cálculo Hidrológico*

2020

Angel Luis Aldana Valverde

© EDAPHI. Entorno de Desarrollo para Análisis y Cálculo Hidrológico

© Angel Luis Aldana Valverde. 2020

Obra registrada el 27-feb-2020 17:26 UTC con código 2002273186465, en el Registro de Propiedad Intelectual de Safe Creative (<https://www.safecreative.org>). Todos los derechos reservados.



<https://www.safecreative.org/work/2002273186465-edaphi-entorno-de-desarrollo-para-analisis-y-calculo-hidrologico>

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.

Sigo una estrategia de difusión de su código de programación por fases, con la intención de ir creando una comunidad de desarrolladores y usuarios. Espero, en un futuro, que se den las condiciones para difundirlo de forma libre sin condiciones, y que pueda ser descargado desde un servidor por cualquiera que esté interesado.

A. Contenido

1	Introducción.....	1
2	Soluciones para el análisis y el cálculo para la hidrología operacional	2
2.1	TAMAÑO DE LA PLANTILLA Y PERFILES PROFESIONALES	2
2.2	ESTUDIOS PREVIOS.....	2
2.3	INFORMACIÓN DISPONIBLE. OPERACIÓN EN TIEMPO REAL	3
2.4	COSTES	3
2.5	CONDICIONES DE OPERACIÓN	3
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	SOSTENIBLE	7
4	Enfoques metodológicos.....	8
4.1	MODELOS DE CÁLCULO Y SIMULACIÓN.....	8
4.2	REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA HIDROLÓGICO.....	8
4.3	ESCENARIOS.....	9
4.4	HORIZONTE DE PREVISIÓN.....	10
4.5	CICLOS DE CÁLCULO.....	13
4.6	CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS DE SIMULACIÓN EN EL PRONÓSTICO HIDROLÓGICO EN TIEMPO REAL.....	13
4.6.1	<i>Planteamiento del problema.....</i>	<i>13</i>
4.6.2	<i>Precalibración.....</i>	<i>15</i>
4.6.3	<i>Consideración y manejo de incertidumbres.....</i>	<i>16</i>
4.6.4	<i>Valoración del error.....</i>	<i>16</i>
4.6.5	<i>Calibración en tiempo real.....</i>	<i>17</i>
4.6.6	<i>Enlace entre modelos para calibraciones.....</i>	<i>19</i>

4.6.7	<i>Solución a adoptar en cada caso</i>	21
5	Enfoque general de los desarrollos informáticos	22
5.1	LENGUAJES Y HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS	22
5.2	DATOS DE ENTRADA	22
5.2.1	<i>Datos geográficos</i>	23
5.2.2	<i>Series temporales</i>	23
5.2.3	<i>Información meteorológica</i>	23
5.3	PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN	23
5.3.1	<i>Ventajas de usar libros MS-Excel como archivos de configuración.</i> ..	23
5.4	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS. SALIDAS	24
5.4.1	<i>Datos geográficos</i>	24
5.4.2	<i>Series temporales</i>	24
5.4.3	<i>Tablas</i>	24
5.4.4	<i>Gráficos</i>	24
5.5	INSTALACIÓN DE LOS PROGRAMAS.....	25
5.6	EJECUCIÓN DE PROGRAMAS.....	25
5.7	INFORMACIÓN DE ACTIVIDAD EN VENTANAS DE COMANDOS	26
5.8	REGISTRO DE ACCIONES. ARCHIVOS .LOG EN LAS CARPETAS CNTRL.....	27
5.9	POSIBILIDAD DE PARADA O PAUSA.....	27
5.10	DESENCADENAMIENTO DE ACCIONES POR EVENTOS DE EJECUCIÓN. ARCHIVOS DE COMANDOS CALL_EXTERN.CMD.....	27
6	Descripción general	29
6.1	MÓDULOS.....	29
6.2	FORMATO DE ARCHIVO DE SERIES TEMPORALES.....	30
6.3	ESTRUCTURA GENERAL DE CARPETAS (DIRECTORIOS) Y ORGANIZACIÓN DE APLICACIONES 31	
6.3.1	<i>Carpeta EDAPHI</i>	31
6.3.2	<i>Carpeta ST</i>	32
6.3.3	<i>Carpeta de módulo o de caso de aplicación</i>	32
6.3.4	<i>Almacenamiento de nodos</i>	33
6.3.5	<i>Organización del código</i>	34
6.4	INSTALACIÓN DE MÓDULOS Y CONFIGURACIÓN DEL ENTORNO.....	35
6.4.1	<i>Variables de entorno</i>	36
6.4.2	<i>Módulos que operan con Python 3</i>	36

6.4.3	<i>Módulos que operan con Python de GIS-Grass</i>	39
7	Utilidades comunes de propósito general	43
8	EDAPHI-Gen. Módulo de configuración y control general	51
8.1	INTRODUCCIÓN	51
8.2	FUNCIONALIDADES	51
8.3	COMANDOS	51
8.4	ARCHIVO DE COMANDOS PRINCIPALES DE EJECUCIÓN	52
8.4.1	<i>Archivo de comandos ciclo.cmd</i>	53
8.5	CONFIGURACIÓN	54
8.5.1	<i>Configuración general</i>	54
8.5.2	<i>Configuración del programador de tareas</i>	54
8.6	GENERACIÓN DE ARCHIVOS DE SERIES TEMPORALES GENERALES	55
8.7	USO DE UTILIDADES COMUNES	56
9	EDAPHI-GMeteo. Generación de productos de hidrología basados en los resultados de modelos numéricos de predicción del tiempo	60
9.1	INTRODUCCIÓN	60
9.2	FUNCIONALIDAD DE LA APLICACIÓN	60
9.3	DATOS DE ENTRADA	61
9.4	RESULTADOS	62
9.5	ORGANIZACIÓN DE ARCHIVOS	63
9.5.1	<i>Carpeta de resultado (Res)</i>	63
9.6	COMANDOS	63
9.7	ARCHIVOS DE COMANDOS PRINCIPALES DE EJECUCIÓN	64
9.7.1	<i>Archivo de comandos ciclo.cmd</i>	65
9.8	RECÁLCULO DE RESULTADOS	66
9.9	CONDICIONES DE ESPERA EN EJECUCIÓN	66
9.10	CONFIGURACIÓN	67
9.10.1	<i>Configuración general</i>	67
9.10.2	<i>Configuración de resultados gráficos en formato matricial (ráster)</i>	67
9.10.3	<i>Configuración de resultados gráficos en formato vectorial (resultados areales)</i>	68
9.10.4	<i>Polígonos para precipitaciones areales</i>	69
9.11	USO DE UTILIDADES COMUNES	69

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

.....	72
10.1	INTRODUCCIÓN..... 72
10.2	FUNCIONALIDAD DE LA APLICACIÓN 72
10.3	RESULTADOS 72
10.3.1	<i>Resultados agregados</i> 74
10.3.2	<i>Máscara de áreas</i> 74
10.3.3	<i>Máscara del contorno</i> 75
10.4	CARPETA SIG 76
10.5	INSTALACIÓN 76
10.6	COMANDOS 76
10.7	ARCHIVOS DE COMANDO DE EJECUCIÓN..... 79
10.7.1	<i>Archivo de comandos ciclo.cmd</i> 79
10.8	CONFIGURACIÓN 80
10.8.1	<i>Configuración de mapas por intervalo</i> 81
10.8.2	<i>Configuración de mapas de agregaciones</i> 81
10.8.3	<i>Cálculos de un intervalo a partir de un archivo de puntos</i> 82
10.9	USO DE COMANDOS COMUNES 83

11 EDAPHI-MHH. Modelos hidrológicos operacionales basados en el software Hec 86

11.1	INTRODUCCIÓN..... 86
11.2	FUNCIONALIDAD DE LA APLICACIÓN 86
11.2.1	<i>Interacción con las aplicaciones Hec</i> 86
11.2.2	<i>Trabajo con escenarios</i> 86
11.2.3	<i>Curvas de gasto en diferentes formatos</i> 88
11.3	RESULTADOS 88
11.3.1	<i>Gráficos de previsiones en caudales o niveles</i> 89
11.4	INSTALACIÓN 90
11.5	COMANDOS 90
11.6	ARCHIVOS DE COMANDOS DE EJECUCIÓN 91
11.7	CONFIGURACIÓN 91
11.7.1	<i>Archivo de configuración general de MHH</i> 92
11.7.2	<i>Modelo HEC-HMS</i> 93
11.7.3	<i>Nodos</i> 94

11.7.4	Nodos V y Q con series temporales dato (entradas al sistema) ..	94
11.7.5	Nodos S con series temporales dato (precipitaciones areales)....	95
11.7.6	Caudales y niveles en nodos tipo Q	96
11.7.7	Salidas de resultados	99
11.7.8	Configuración de MHH para análisis o para previsión operacional en tiempo real	100
11.7.9	Escenarios pasados	100
11.7.10	Escenario de calibración	103
11.7.11	Escenario futuro.....	105
11.7.12	Escenario de análisis (simulación)	107
11.8	MODELACIÓN HIDROLÓGICA	108
11.8.1	Funciones de pérdidas.....	108
11.8.2	Función de transformación.....	109
11.8.3	Flujo base.....	110
11.8.4	Flujo en canales.....	110
11.8.5	Caracterización hidrológica	110
11.8.6	Establecimiento de parámetros de modelación	110
11.9	HIPERMÓDULO MHH-H. HIPERMODELOS BASADOS EN MODELOS MHH	112
11.9.1	Configuración de un hipermodelo.....	113
11.10	USO DE COMANDOS COMUNES	114
12	EDAPHI-Web	117
12.1	INTRODUCCIÓN.....	117
12.2	ORGANIZACIÓN DE ARCHIVOS.....	117
12.3	IMPLEMENTACIÓN DE LAS PÁGINAS	117
12.4	RESULTADOS DE CADA MÓDULO.....	117
12.4.1	XML con datos generales del cálculo.....	118
12.4.2	Tablas de series temporales en formato html.....	118
12.5	EJEMPLO DEL SAIH SEGURA	119
12.6	USO DE COMANDOS COMUNES	122
13	EDAPHI-GHR. Utilidades para la modelación hidráulica combinando Hec-Ras, Grass y otra posible aplicación SIG.....	124
13.1	INTRODUCCIÓN.....	124
13.2	FUNCIONALIDAD DE LA APLICACIÓN	124

13.2.1	Intercambio de información con Hec-Ras a través de archivos SDF	124
13.3	DISEÑO DE LA APLICACIÓN	125
13.3.1	Aplicaciones básicas que integran GHR	125
13.3.2	Estructura de archivos	126
13.4	INSTALACIÓN	127
13.5	COMANDOS	128
13.5.1	Clasificación de comandos	129
13.6	USO DE LA APLICACIÓN	129
13.6.1	Creación de carpeta de caso	129
13.6.2	Uso normal	130
13.7	CASOS DE APLICACIÓN	131
13.7.1	Caso completo	131
13.7.2	Operaciones con proyectos	148
14	EDAPHI-GCuencas. Caracterización y parametrización de cuencas y tramos de ríos	159
14.1	INTRODUCCIÓN.....	159
14.2	FUNCIONALIDAD DE LA APLICACIÓN	159
14.3	DATOS DE PARTIDA	159
14.3.1	Máxima infiltración S	160
14.3.2	Número de curva NC.....	160
14.4	CARPETA SIG	160
14.5	COMANDOS	161
14.5.1	Ejemplo de interacción con Grass.....	163
14.6	RESULTADOS	165
14.7	ARCHIVO DE COMANDO DE EJECUCIÓN	167
14.8	CONFIGURACIÓN	167
15	EDAPHI-MTG. Evaluación de recursos hídricos y cálculo de balance basado en el modelo de Témez	168
15.1	INTRODUCCIÓN.....	168
15.2	FUNCIONALIDAD DE LA APLICACIÓN	168
15.3	MODELACIÓN	169
15.4	DATOS	170
15.5	RESULTADOS	171

15.6	COMANDOS	174
15.7	INSTALACIÓN	174

B. Figuras

Figura 4-1.- Representación del sistema hidrológico con nodos	9
Figura 4-2.- Desfase (D) entre la lluvia y el caudal de escorrentía según el concepto de hidrograma unitario	11
Figura 4-3.- Desfase (D) entre un hidrograma y su propagado aguas abajo	11
Figura 4-4.- Horizonte de previsión en función de la divergencia asumible y la horquilla de previsión	12
Figura 5-1.- Ejemplo de preparación de resultados en MS-Excel con vínculos a resultados	24
Figura 6-1.- Ejemplo de esquema de relación entre módulos	30
Figura 6-2.- Ejemplo de archivo de series temporales	30
Figura 6-3.- Esquema de ejemplo de estructura básica de carpetas EDAPHI	31
Figura 6-4.- Ejemplo de esquema de carpetas de un caso de aplicación de un módulo	32
Figura 6-5.- Ejemplo de esquema de carpetas de varios casos de aplicación de un módulo EDAPHI (MHH en el ejemplo)	33
Figura 6-6.- Organización del código (Py2 y Py3 cuentan con subcarpetas Py y Cmd)	34
Figura 6-7.- Uso de un IDE para la edición del código de programación con ayuda interactiva	35
Figura 6-8.- Ejemplo de archivo HTML de documentación del código	35
Figura 6-9.- Ventana de interacción con el módulo MHH	39
Figura 7-1.- Resultado del comando color_nombres	45
Figura 7-2.- Ejemplo del uso del comando ts_util -w_grd	47
Figura 7-3.- Ejemplo de uso del comando ctm -w_max	49
Figura 7-4.- Ejemplo de zoom en una ventana gráfica	49
Figura 7-5.- Ejemplo del uso del comando scn -list_n	50
Figura 7-6.- Pantalla con resultados del comando demo -evol	50
Figura 8-1.- Ventana de interacción del comando control	52
Figura 8-2.- Ventana del programador de tareas	52
Figura 8-3.- Ventanas del programador de tareas en modo configuración	54
Figura 8-4.- Opciones de configuración que afectan especialmente al comando st_gen	55
Figura 8-5.- Ejemplo de resultado obtenido con utilidades comunes	57
Figura 8-6.- Ejemplo de una consulta gráfica de una variable concreta de la fuente de datos origen	57
Figura 8-7.- Ventana de mapa de lluvias máximas en pluviómetros	58
Figura 8-8.- Ejemplo de listado de comandos específicos definidos con las utilidades comunes del capítulo 7	59
Figura 9-1: Esquema general de la solución	61
Figura 9-2: Ejemplo de contenido de carpeta con archivos GRIB proporcionados por AEMET62	

Figura 9-3.- Ventana de comandos _____	65
Figura 9-4.- Ventana de registro de actividad de GMeteo cuando se emplea el comando ciclo.cmd _____	66
Figura 9-5.- Archivo de configuración Conf_GMeteo.xlsx _____	67
Figura 9-6.- Archivo Conf_Map_Raster.xlsx para configuración de mapas de resultados en forma de mallas _____	67
Figura 9-7.- Ejemplo de resultado gráfico en formato matricial _____	68
Figura 9-8.- Archivo Conf_Map_Areales.xlsx para configuración de mapas de resultados de cálculos areales _____	68
Figura 9-9.- Ejemplo de resultado en formato vectorial _____	69
Figura 9-10.- Ejemplos de salidas gráficas generadas con los comandos descritos _____	71
Figura 10-1.- Colección de gráficos PNG de resultado de los cálculos _____	73
Figura 10-2.- Mapas de resultados de valores agregados en formato matricial / raster _____	74
Figura 10-3.- Mapas de resultados de valores agregados en subcuencas (formato vectorial) _____	74
Figura 10-4.- Representación de la capa masc_areas.asc _____	75
Figura 10-5.- Ejemplo de máscara del contorno _____	75
Figura 10-6.- Ejemplo de proyecto QGIS para visualizar resultados _____	76
Figura 10-7.- Contenido de la hoja Conf del archivo de configuración conf_prec.xlsx _____	80
Figura 10-8.- Ejemplo de hoja de un escenario de cálculo _____	80
Figura 10-9.- Configuración de mapas por intervalo _____	81
Figura 10-10.- Configuración de mapas de agregaciones _____	82
Figura 10-11.- Archivo de _xlsx.xlsx con datos de puntos _____	82
Figura 10-12.- Ejemplos de resultados gráficos obtenidos con archivos de comandos para Prec _____	84
Figura 10-13.- Ejemplos de gráficos de mapas obtenidos con archivos de comandos para Prec _____	85
Figura 11-1.- Estructura de carpetas de un caso de aplicación de MHH _____	88
Figura 11-2.- Colección de gráficos en la carpeta Res\Grf\Nod _____	89
Figura 11-3.- Gráfico de previsión y notas _____	89
Figura 11-4.- Contenido del archivo Conf_MHH_Gen.xlsx _____	92
Figura 11-5.- Configuración general de un caso de aplicación. Hoja Conf _____	92
Figura 11-6.- Ventana del modelo Hec-HMS _____	93
Figura 11-7.- Capas SIG de especificaciones de nodos tipo Q, V y S _____	94
Figura 11-8.- 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) _____	95
Figura 11-9.- Especificación de precipitaciones areales en la hoja In_S del archivo de configuración (izquierda) y en el modelo Hec-HMS (derecha) _____	96
Figura 11-10.- Indicación de método de cálculo de caudales en nodos de tipo Q _____	97

Figura 11-11.- Especificaciones en blanco si se desea que MHH busque los caudales entre las series temporales dato _____	97
Figura 11-12.- Tablas de curvas de gasto en estaciones de aforos _____	98
Figura 11-13.- Almacenamiento de tablas CKn1 en el archivo de configuración _____	99
Figura 11-14.- Hoja Out para especificar los resultados_____	100
Figura 11-15.- Hoja de definición de un escenario pasado_____	101
Figura 11-16.- Hoja de especificación de parámetros de modelación de subcuencas en escenarios tipo PAS o ST.XLSX_____	102
Figura 11-17.- Hoja de especificación de parámetros de modelación de tramos en escenarios tipo PAS o ST.XLSX _____	103
Figura 11-18.- Hoja de especificación de parámetros de modelación de subcuencas en escenarios tipo CAL _____	104
Figura 11-19.- Hoja de especificación de parámetros de modelación de tramos en escenarios tipo CAL _____	104
Figura 11-20.- Hoja para especificación de los parámetros del algoritmo de computación evolutiva _____	105
Figura 11-21.-Definición básica de escenario de futuro _____	105
Figura 11-22.- Definición de series temporales en futuro _____	106
Figura 11-23.- Referencia a valores futuros de lluvia generados por otro módulo_____	107
Figura 11-24.- Definición de escenario de análisis o simulación (tipo ST.XLSX) _____	107
Figura 11-25.- 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. __	109
Figura 11-26.- Caracterización hidrológica basada en los resultados de EDAPHI-GCuencas110	
Figura 11-27.- Ejemplo de hoja de configuración de parámetros de subcuenca del módulo MHH _____	111
Figura 11-28.- Ejemplo de ventana de configuración de parámetros de propagación de tramos _____	112
Figura 11-29.- EDAPHI-MHH-H opera con procesos en paralelo para el análisis en tiempo pasado con submodelos _____	113
Figura 11-30.- Configuración de un hipermodelo MHH-H_____	114
Figura 11-31: Ejemplo de resultado del comando scn -list_s_____	114
Figura 11-32: Ejemplo de resultado del comando scn -list_s_____	115
Figura 11-33.- Ejemplo de resultado del comando mod -l_nods _____	116
Figura 12-1.- Ventana de acceso al sitio a través de la url http://www.saihsegura.es __	119
Figura 12-2.- Primera página. Acceso a los módulos y casos de aplicación _____	119
Figura 12-3.- Aspecto de la primera página del módulo Prec_____	120
Figura 12-4.- Unas de las páginas de detalle del módulo Prec_____	120
Figura 12-5.- Página de Prec con tablas de series temporales de precipitaciones areales	121

<i>Figura 12-6.- Una de las páginas de GMeteo con animaciones Gif y acceso a gráficos de un intervalo específico</i>	121
<i>Figura 12-7.- Una de las páginas de consulta del módulo MHH</i>	122
<i>Figura 13-1.- Ventana de ayuda</i>	129
<i>Figura 13-2.- Ventana de creación de "buffer de distancia fija"</i>	133
<i>Figura 13-3.- Edición del área de recorte basada en el área buffer</i>	133
<i>Figura 13-4.- Ventana de creación o selección de Location y Mapset de Grass</i>	134
<i>Figura 13-5.- MDT importando en Grass</i>	135
<i>Figura 13-6.- Preparación de capas principales en QGIS</i>	135
<i>Figura 13-7.- Ejemplo resultado de creación automática de secciones</i>	136
<i>Figura 13-8.- Edición de secciones creadas automáticamente</i>	137
<i>Figura 13-9.- Definición de orillas y muros</i>	138
<i>Figura 13-10.- Definición del sistema de referencia en HecRas</i>	139
<i>Figura 13-11.- Importación del MDT desde HecRas</i>	139
<i>Figura 13-12.- Importación del archivo SDF desde la ventana de geometría de HecRas</i>	140
<i>Figura 13-13.- Generación de mallas de calados desde RasMapper</i>	141
<i>Figura 13-14.- Revisión de ancho de secciones a la vista de los resultados de los cálculos de inundación</i>	142
<i>Figura 13-15.- Revisión de muros a la vista de los resultados de HecRas</i>	143
<i>Figura 13-16.- Ejemplo de problemas en la definición de zonas inundadas con RasMapper.</i>	144
<i>Figura 13-17.- Exportación de archivo SDF desde HecRas para su uso con los comandos DE_SDF_</i>	145
<i>Figura 13-18.- Capas generadas con el comando DE_SDF_GEOM a partir del SDF creado desde HecRas</i>	145
<i>Figura 13-19.- Edición de los límites de cada perfil de cálculo</i>	146
<i>Figura 13-20.- Resultados de cálculo de zonas inundadas con el comando de_sdf_res_nolim que emplea los límites de perfiles editados</i>	147
<i>Figura 13-21.- Todas las tareas pueden realizarse directamente en Grass, sin necesidad de otro SIG</i>	147
<i>Figura 13-22.- Análisis final de resultados reflejados en una capa de comentarios</i>	148
<i>Figura 13-23.- Unión de límites de inundación</i>	149
<i>Figura 13-24.- Importar geometría de un archivo HecRas</i>	150
<i>Figura 13-25.- Opciones de importación de geometría</i>	151
<i>Figura 13-26.-Gráfico con la situación de las secciones del modelo sin georreferenciar y digitalización de las mismas en un SIG</i>	152
<i>Figura 13-27.- Renombrado de secciones</i>	152
<i>Figura 13-28.- Edición de coordenadas en HecRas</i>	153
<i>Figura 13-29.- Archivos MID y MIF de MapInfo de las secciones en planta</i>	153

Figura 13-30.- Edición de coordenadas del tramo _____	154
Figura 13-31.- Inversión de nodos de la sección _____	154
Figura 13-32.- Digitalización de secciones extendidas _____	155
Figura 13-33.- Combinación de secciones. En la zona roja se seleccionarán los puntos de Sdf_Sec. En la azul los de Sdf Prin _____	156
Figura 13-34.- Ejemplo de estructura antes y después de la extensión de las secciones	156
Figura 13-35.- Superposición de modelos. La sección marcada en rojo, perteneciente al modelo principal, se eliminará para insertar el submodelo _____	157
Figura 13-36.- Inserción de un submodelo importando geometría _____	157
Figura 14-1.- Resultado del comando cuencas_csv_part que da lugar a subcuencas que forma una partición _____	162
Figura 14-2.- Resultado del comando cuencas_csv_comp que genera las subcuencas completas que drenan a cada punto dato _____	163
Figura 14-3.- Obtención de coordenadas en Grass _____	164
Figura 14-4.- Uso de comandos en la ventana de GCuenca _____	164
Figura 14-5.- Resultado de empleo de los comandos cuenca_xy y rio_ab_xy _____	165
Figura 15-1.- Esquema del modelo de Témez para la evaluación de recurso hídricos ____	169
Figura 15-2.- Esquema simplificado del modelo de Témez _____	170
Figura 15-3.- Evolución de los usos del suelo _____	171
Figura 15-4.- Resultados de síntesis. Estadísticos anuales. _____	171
Figura 15-5.- Valores medios mensuales _____	172
Figura 15-6.- Archivos de MS-Excel con vínculos a CSV, programas VBA para consultas y cálculos. _____	173
Figura 15-7.- Consulta de resultados en otro SIG (caso QSIG) _____	173
Figura 15-8.- Mallas con resultados de balances _____	174

C. Tablas

<i>Tabla 6-1.- Resumen de módulos según su ámbito de utilización.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 6-2.- Ejemplo de tabla alfanumérica asociada a un SHP que define los nodos de tipo Q33</i>	
<i>Tabla 8-1.- Comandos del módulo Gen</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 8-2.- Ejemplo de contenido del archivo de configuración del programador de tareas</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 9-1.- Comandos del módulo GMeteo</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 10-1. – Comandos del módulo Prec.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 11-1. – Comandos del módulo de MHH.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 13-1.- Comandos del módulo GHR</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 14-1.- Comandos del módulo GCuencas</i>	<i>161</i>
<i>Tabla 15-1.- Comandos del módulo MTG</i>	<i>174</i>

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) 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.

Las aplicaciones desarrolladas hasta la fecha, basadas en dicho entorno son:

- Gen.- Módulo con responsabilidad en tareas básicas para el resto de módulos de EDAPHI
- MTG.- Evaluación de recursos hídricos y cálculo de balance basado en el modelo de Témez y sobre SIG
- GCuencas.- Caracterización y parametrización de cuencas y tramos de ríos
- GHR.- Utilidades para la modelación hidráulica combinando Hec-Ras, Grass y otra posible aplicación SIG
- GMeteo.- Generación de productos de hidrología basados en los resultados de modelos de predicción numérica del tiempo.
- Prec.- Procesador de precipitaciones para uso en tiempo real
- MHH.- Modelos hidrológicos operacionales basados en el software Hec
- MHH-H.- Hipermodelo que incluye varios submodelos de tipo MHH.

Se trata de una solución en continua evolución, por lo que este documento puede estar algo desfasado respecto a la última versión del entorno.

2 Soluciones para el análisis y el cálculo para la hidrología operacional

Los problemas de la hidrología operacional, que con frecuencia se desempeña en los Servicios Hidrológicos Nacional, tienen una componente científica, pero, actualmente, la relevancia de ésta es muy pequeña. 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 y, sobre todo, humanos.

2.1 Tamaño de la plantilla y perfiles profesionales

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 de 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.

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.

2.2 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 puede 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.

2.3 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, fuente de incertidumbre o error de un modelo de pronóstico está en los datos de entrada.

2.4 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.

2.5 Condiciones de operación

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.

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 5).

En el mismo capítulo 4, y relacionado con la arquitectura modular, 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 (MHH, Prec, etc. – 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).

Cabe la opción de que la salida de un módulo, o de su aplicación a un caso concreto, sea la entrada para 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, 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), 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 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 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).

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.

4.1 Modelos de cálculo y simulación

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 está concebido para incorporar soluciones externas.

En los ejemplos de desarrollos que se describen en este documento pueden encontrarse soluciones que integran aplicaciones de cálculo hidrológico, de cálculo hidráulico y sistemas de información geográfica.

Por tanto, dado este enfoque, no hay un método concreto de cálculo y simulación, sino que se ofrecen múltiples alternativas propias (del mismo entorno) o externas.

4.2 Representación del sistema hidrológico

La representación del sistema hidrológico dentro de EDAPHI es sencilla. Se realiza sobre un conjunto de nodos:

- Nodos P.- Pluviómetros que cuentan con datos de precipitación.
- Nodos Q.- Cuentan con datos de caudal. Generalmente, serán estaciones de aforo. No es imprescindible que cuenten con datos. También pueden ser puntos de interés en los que se desea contar con un resultado. Este tipo de nodo cuenta con variables principales de nivel y caudal.
- Nodos V.- Servirán para representar embalses, pues cuentan con capacidad del almacenamiento. Sus variables son: caudal de entrada, caudal de salida, nivel y volumen almacenado.

- Nodos S.- Representan las áreas receptoras de lluvia, es decir, las subcuencas. Este tipo de modo se representa geográficamente con puntos, aunque cada uno tiene asociado un polígono (el área receptora de lluvia que drena a un punto). Sus variables principales son caudal y precipitación.

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.

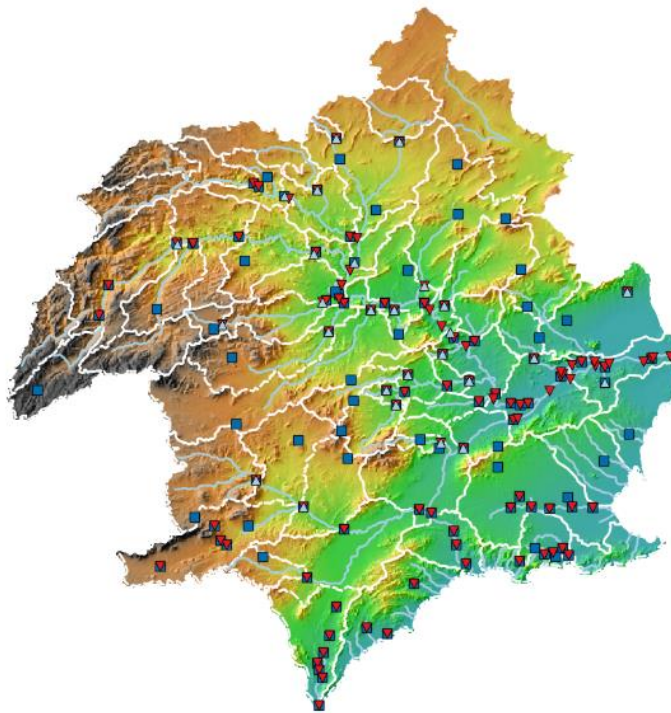


Figura 4-1.- Representación del sistema hidrológico con nodos

4.3 Escenarios

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

- Escenario de entrada. – Generalmente estará definido por un conjunto de series temporales de entradas al sistema, como precipitaciones o salidas de embalse. Puede estar referido a tiempo pasado o a tiempo futuro.
- Escenario pasado o de análisis. - Tendrá asociados unos parámetros de simulación, unas variables de entrada al sistema hidrológico y unas salidas resultado de los cálculos basados en los anteriores.
- 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.

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

Los escenarios de análisis se emplean, por ejemplo, en la fase de calibración de modelos, con cálculos en tiempo pasado (reciente). Los escenarios futuros se emplean en el pronóstico propiamente dicho, con cálculos que abarcan desde el pasado reciente hasta el horizonte de previsión en futuro. Los escenarios de entrada suelen estar asociado a otro de los anteriores.

4.4 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 4-2), que define la respuesta de una cuenca a una precipitación uniforme de volumen con valor unidad.

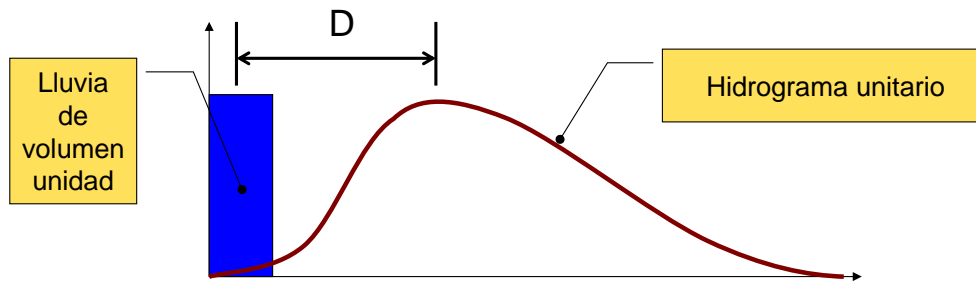


Figura 4-2.- Desfase (D) entre la lluvia y el caudal de escorrentía según el concepto de hidrograma unitario

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 4-3) 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).

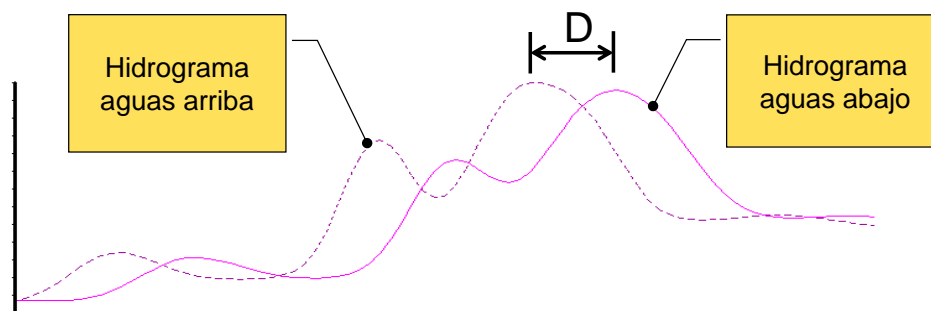


Figura 4-3.- Desfase (D) entre un hidrograma y su propagado aguas abajo

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 cada 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 4-4) 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

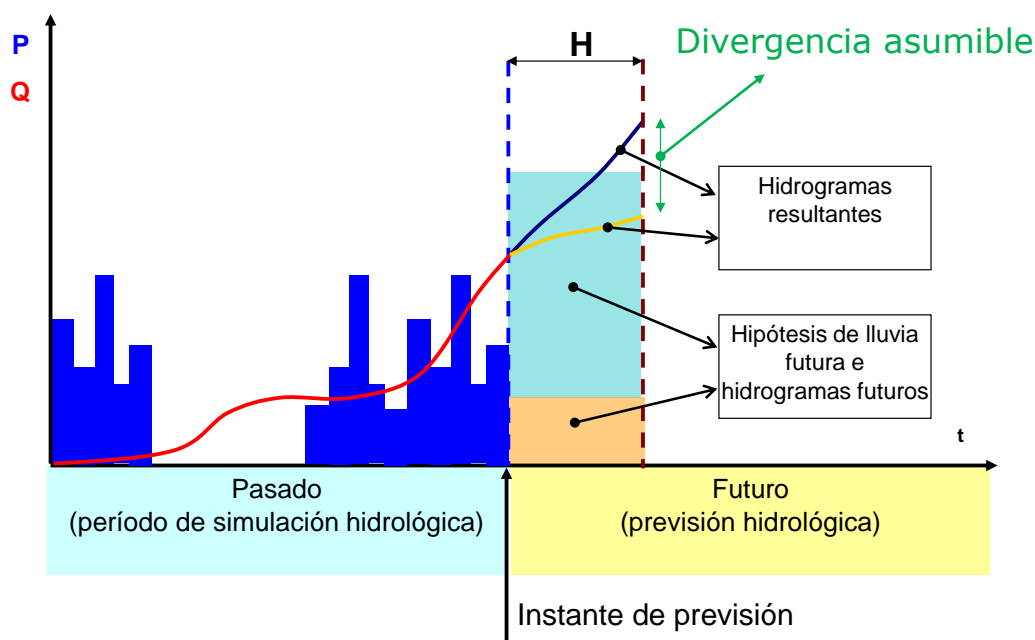


Figura 4-4.- Horizonte de previsión en función de la divergencia asumible y la horquilla de previsión

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.

4.5 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.

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

4.6.1 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).

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.

4.6.1.1 Proceso cíclico

El pronóstico hidrológico en tiempo real se tiene que concebir como un proceso cíclico, en el que cada refresco de datos (medidas o resultados de otros modelos) da inicio a un nuevo ciclo que acaba en la difusión del pronóstico.

- 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 los reajustes deben ser supervisados.
- Reajuste en cada varios ciclos: El proceso de calibración no será necesario incorporarlo en cada vuelta, aunque cabe realizarlo, 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.

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

4.6.1.2 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. 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 puede ser del orden de la mitad del tiempo de respuesta.

Cuando se sigue este procedimiento, el modelo tendrá siempre una cierta memoria de lo ocurrido anteriormente, según el periodo de análisis de pasado reciente. Este periodo se irá desplazando en el tiempo (ventana móvil) cada ciclo con nuevos datos.

4.6.1.3 *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 dependen fundamentalmente de los errores en la medida. Esto 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 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 escorrentía distintos de los llevarían al modelo a una buena representación de la realidad (no percepción errónea de la misma causada por medidas de mala calidad).

4.6.2 **Precalibración**

Estudios basados en datos históricos y en estudios hidrológicos de diversas fuentes y 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 hacer lo contrario. El objetivo de los estudios será lograr un rango 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.

4.6.3 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.

4.6.4 Valoración del error

La valoración del error de pronóstico, además de lo indicado en el apartado de calidad de las medidas, cuenta con dificultades operacionales para definir valores máximos y valores umbrales, ambos 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, puede reducir 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.

4.6.5 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.

4.6.5.1 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 de manera altamente satisfactoria 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.

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.

4.6.6 Enlace entre modelos para calibraciones

4.6.6.1 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 trivial pero 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.

4.6.6.2 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.

En el caso de aplicación de EDAPHI en la cuenca del Segura se probó el enlace de los modelos hidrológicos para crecidas basados en el índice a con los resultados de humedad del suelo del modelo Harmony-Arome. Los resultados no fueron del todo satisfactorios, por lo que la solución no fue puesta en operación. Esto fue, quizás, por la falta de datos históricos para realizar los contrastes y ajustes o porque los conceptos de humedad del terreno en el modelo hidrológico (realmente se puede asociar a varios subprocesos hidrológicos que afectan a capas amplias del terreno y engloba los de la interceptación y la evapotranspiración, aunque el más relevante en volumen sea la infiltración) difieren del que se emplea en el meteorológico (humedad de las capas superficiales del terreno). No obstante, se pretende seguir realizando más pruebas de este tipo.

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

Actualmente se trabaja en establecer la relación de a con algún índice o parámetro resultante del sistema guía de crecidas repentinas (FFGS, <https://www.hrcwater.org/>, http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/flood/ffgs/index_en.php), como el denominado ASM (Average Soil Moisture basado en el Sacramento Soil Moisture Accounting Model).

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.

4.6.6.3 Hipermodelos

Trabajar con un sistema hidrológico puede ser complicado. La calibración de un modelo con muchos parámetros es tarea ardua y difícil. 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.

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

4.6.7 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 los mismos (entrenamiento, experiencia y conocimiento del sistema hidrológico concreto)
- La calidad de las medidas.
- La necesidad de la robustez de la solución.

5 Enfoque general de los desarrollos informáticos

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.

5.1 Lenguajes y herramientas complementarias

Se emplean herramientas de tipo software libre o código abierto. Para los módulos que aquí se describen:

- 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
- Los desarrollos se programan en Python o en alguna de sus variantes especializadas.

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, VB Script o Html.

5.2 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.

5.2.1 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.

5.2.2 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.

5.2.3 Información meteorológica

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

5.3 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

5.3.1 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.

5.4 Presentación de resultados. Salidas

5.4.1 Datos geográficos

Se emplean los mismos formatos que para las entradas

5.4.2 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 5-1).

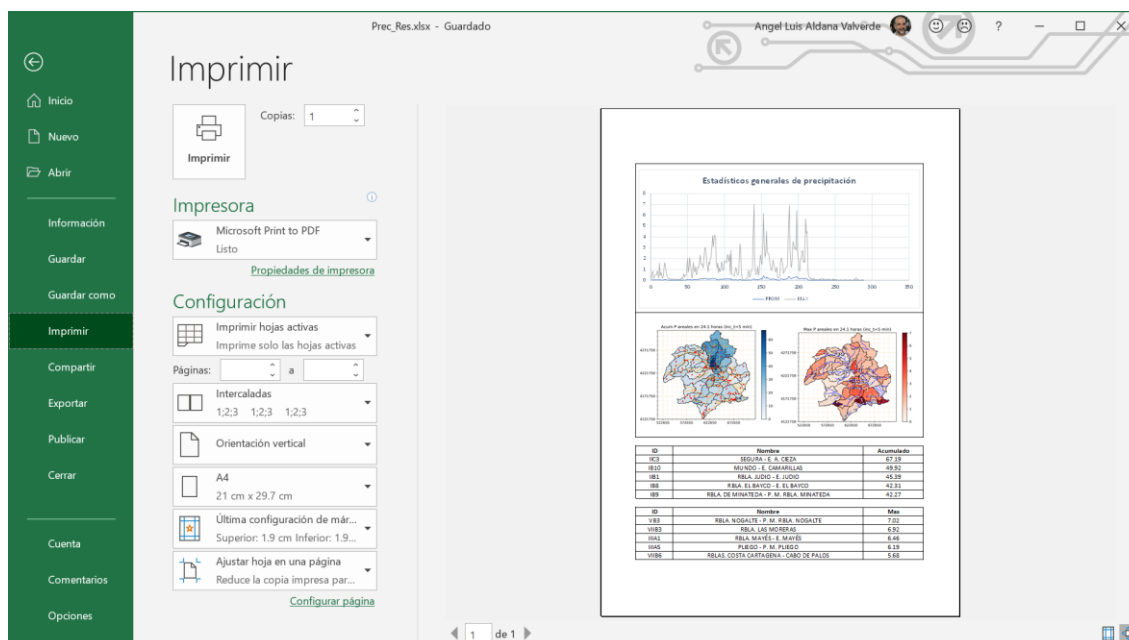


Figura 5-1.- Ejemplo de preparación de resultados en MS-Excel con vínculos a resultados

5.4.3 Tablas

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

5.4.4 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.

5.5 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 10, incluso anteriores (no se tiene constancia de limitaciones), así como en otras plataformas (según el caso de aplicación y de las herramientas complementarias necesarias).

5.6 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 lo que sigue y a algunas de las características descritas anteriormente, 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 6.4.1). Así, 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, como lo siguiente que completa las utilidades del módulo Prec (ver capítulo 10).

```
@echo OFF
REM @A Genera resultados areales en %EDAPHI_DIR%\Prec\Res con ctm
Echo ^<^|^>
Echo ^<^|^> * Comando de caso %0 en el entorno de la aplicación
%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
    acumuladas en subcuencas.
    call ctm -g_acum
    arch_conf=%EDAPHI_DIR%\Prec\Conf_Mapas\conf_mapa_s_acum.xlsx
    dir_res=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%%d
    arch_ct=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%%d\areales.xlsx n_sheet=Series
```

```
echo ^<|^> * Llamada a ctm desde %0
Rem El siguiente comando genera el mapa de precipitaciones areales
máximas en subcuencas.
call ctm -g_max
arch_conf=%EDAPHI_DIR%\Prec\Conf_Mapas\conf_mapa_s_max.xlsx
dir_res=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%d
arch_ct=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%d\areales.xlsx n_sheet=Series
Rem Las siguientes líneas son para generar todos los mapas de areales,
intervalo por intervalo
del /Q %EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%d\png_s\*.png
call ctm -g_it_a
arch_conf=%EDAPHI_DIR%\Prec\Conf_Mapas\conf_mapa_s_int.xlsx
dir_res=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%d\png_s
arch_ct=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%d\areales.xlsx n_sheet=Series
)
```

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

Al escribir la palabra "comandos" en la ventana de comandos, el sistema mostrará la lista de comandos disponibles. La descripción del archivo de comandos se extrae del texto que sigue a "REM @A".

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 que mantienen los nombres:

- 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.

5.7 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, como 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

5.8 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.

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.

5.9 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)

5.10 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, que ordena la ejecución del hipermódulo MHH-H, a través de su archivo de comandos para cada ciclo de cálculo, una vez ha terminado la ejecución y otras operaciones como cargar archivos en un servidor ftp y copiar archivos para su publicación web:

```
@echo off
```

```
echo ^<^|^>
Echo ^<^|^> %EDAPHI_Ap%.%0
echo ^<^|^>
echo Argumentos recibidos:
echo      %*
if "%1"=="FIN" (
    echo Copiando archivos a %EDAPHI_DIR%\Html\%EDAPHI_Ap%
    xcopy /S /Y %EDAPHI_DIR%\%EDAPHI_Ap%\Res\Html %EDAPHI_DIR%\Html\%EDAPHI_Ap%
    for %%d in (5min, 30min, 60min) do copy /Y
%EDAPHI_DIR%\%EDAPHI_Ap%\Res\%%d\max.png %EDAPHI_DIR%\Html\%EDAPHI_Ap%\Grf\%%d
    for %%d in (5min, 30min, 60min) do copy /Y
%EDAPHI_DIR%\%EDAPHI_Ap%\Res\%%d\acum.png %EDAPHI_DIR%\Html\%EDAPHI_Ap%\Grf\%%d
    echo Copiados archivos a %EDAPHI_DIR%\Html\%EDAPHI_Ap%
    echo %EDAPHI_DIR%\%EDAPHI_Ap%\Cmd\res_a_ftp.cmd
    start %EDAPHI_DIR%\%EDAPHI_Ap%\Cmd\res_a_ftp.cmd
    echo Se lanza MHH-H\EC
    cd /D %EDAPHI_DIR%\MHH-H\EC
    start /I ciclo.cmd
)
```

Esto también se podría haber resuelto con la orden en el archivo de ejecución cíclica de Prec.

6 Descripción general

6.1 Módulos

La siguiente tabla resume la función de cada módulo, 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.

Módulo	Trabajos preparatorios	Uso en tiempo real
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
GHR	Inundabilidad, relaciones caudal nivel	Posibles desarrollos de modelos hidráulicos para uso en tiempo real
GCuencas	Caracterización de cuencas y tramos.	Definición de escenarios probabilistas
GMeteo		Escenarios futuros para modelos hidrológicos sobre precipitación y estado de humedad del terreno.
Prec	Datos históricos	Cálculo de precipitaciones a partir de datos telemétricos
MHH	Simulación hidrológica con datos históricos o probabilistas	Simulación y previsión a partir de datos telemétricos
MHH-H	Hipermodelo. Simulación hidrológica con submodelos MHH	Hipermodelo. Simulación y previsión a partir de datos telemétricos con modelos MHH

Tabla 6-1.- Resumen de módulos según su ámbito de utilización

También se incluye un capítulo para la aplicación MTG, de evaluación de recursos hídricos que opera a escala mensual.

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.

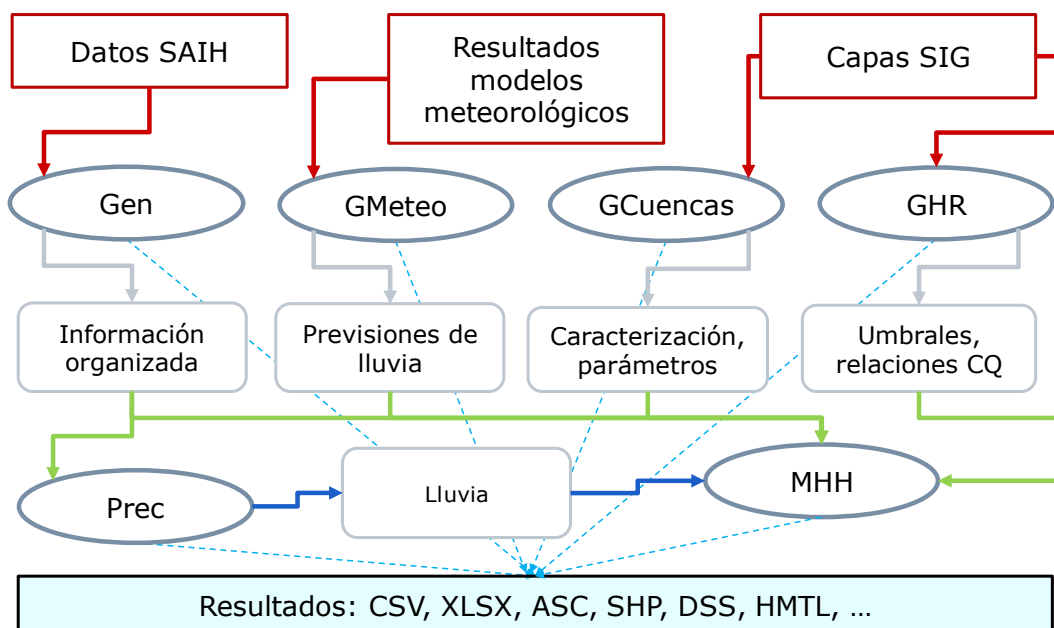


Figura 6-1.- Ejemplo de esquema de relación entre módulos

6.2 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.

Instante actual:	20/04/2019 14:00																		
Nombre variable:	IIB1	IB3	IB10	IA7	IIB2	IIIB	IIA2	IIA5	IIA1	IIA4	IIA6	IA4	IIA3	IIIC	IIIA1	IIIA6	IIIA7	IIIA	
Tipo:	Lluv	Lluv	Lluv	Lluv	Lluv	Lluv	Lluv	Lluv	Lluv	Lluv	Lluv	Lluv	Lluv	Lluv	Lluv	Lluv	Lluv	Lluv	
Modelo:	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	Harmony-	
Instante \ unidades:	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
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		
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		
20/04/2019 16:00	0.05	2.08	0.38	2.62	0	0	2.77	0.34	0.91	0.28	0.23	0.22	0.96	0.01	0.33	0.33	0.09		
20/04/2019 17:00	0.01	3.58	1.19	2.7	0.42	0.01	2.22	0.37	1.44	0.52	0.34	0.74	0.87	0.29	0.36	0.39	0.36		
20/04/2019 18:00	0.01	0.42	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
20/04/2019 19:00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
20/04/2019 20:00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
21/04/2019 00:00	0	0.28	0.15	0.68	0	0	0.93	0.14	0.03	0.23	0.42	0	0	0	0	0	0		
21/04/2019 01:00	0.01	0.12	0.19	0.74	0	0	0.42	0	0.22	0.05	0	0.07	0.28	0	0	0	0		
21/04/2019 02:00	0	0.21	0.15	0.73	0	0.01	1.42	0.31	0.28	0.28	0.73	0.02	0.07	0	0	0	0		
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		
21/04/2019 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		
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		
21/04/2019 06:00	0.03	0	0.17	0.48	0.2	0.14	1.03	0.30	0.55	0.11	0.37	0.57	0.45	0.01	0.07	0.2	0.04		

Figura 6-2.- Ejemplo de archivo de series temporales

Se asocian los siguientes identificadores de tipos de series:

- P.- Lluvia en pluviómetro o sbucnea

- 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
- E.- Caudal de entrada al embalse
- V.- Volúmen almacenado en embalse

Cabe hacer algunas 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 MHH que usan esta información, por ejemplo.

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

6.3.1 Carpeta EDAPHI

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

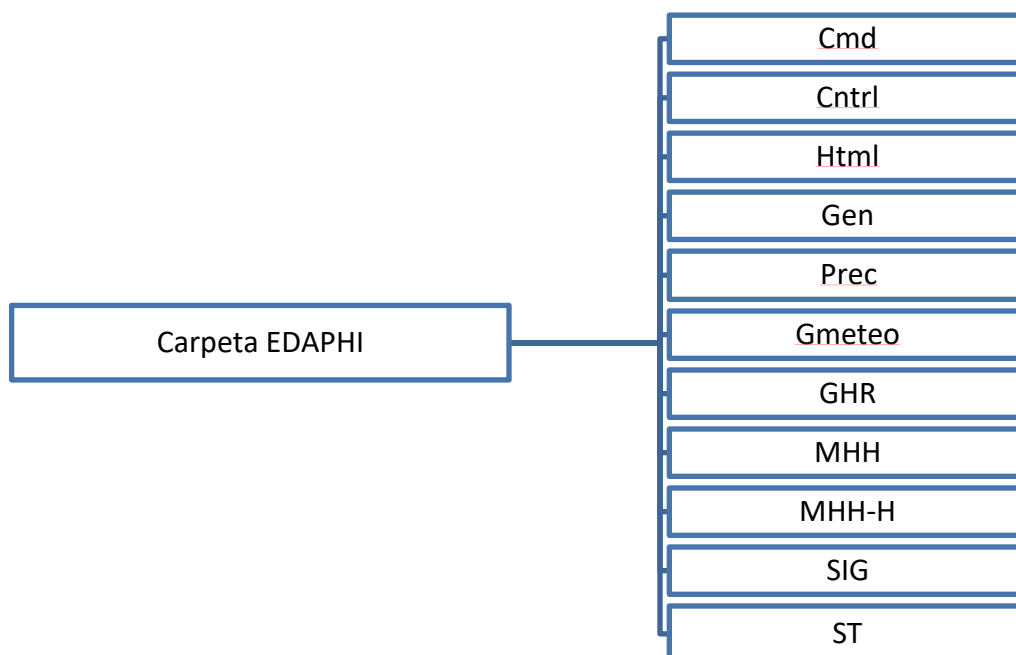


Figura 6-3.- Esquema de ejemplo de estructura básica de carpetas EDAPHI

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.

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.

6.3.2 Carpeta ST

La carpeta ST con datos de series temporales generales para todos los módulos (datos de episodio), con los nombres **st_gen_##min.csv**, donde ## será la longitud de intervalo (05, 30, 60, ...) de discretización. Las series temporales son preparadas por el módulo Gen, aunque podrían ser generadas de otro modo y configurar el entorno sin recurrir a éste. El módulo Gen genera también archivos XLSX que facilitan la visualización, pero cada módulo EDAPHI buscará el archivo CSV que corresponda a la discretización que se elija para las operaciones que realice.

6.3.3 Carpeta de módulo o de caso de aplicación

Los módulos pueden tener casos de aplicación (subsistemas, por ejemplo). Un caso de aplicación tendrá un esquema como el siguiente, aplicable también a módulos que no distinguen casos:

¹ Sólo para aquellas aplicaciones que dependen de Grass

² Sólo para aquellas aplicaciones que dependen de Hec

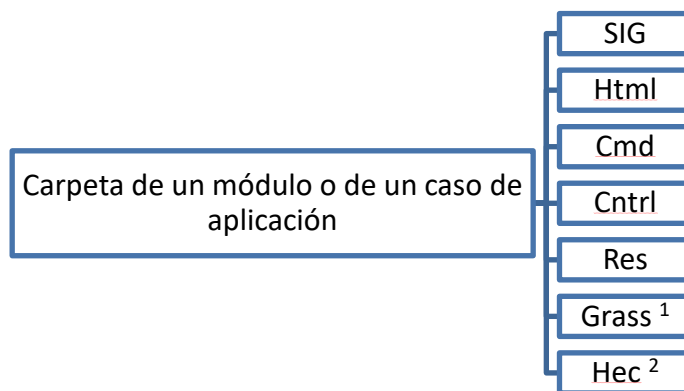


Figura 6-4.- Ejemplo de esquema de carpetas de un caso de aplicación de un módulo

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

La información geográfica, importante en hidrología, se almacena en la carpeta *SIG*. La carpeta HTML sirve para almacenar archivos útiles para la publicación de resultados por Internet. En ocasiones resultará necesario o útil recurrir a archivos de comandos del sistema operativo que se almacenarán en la carpeta *Cmd*. Los módulos generan archivos

de traza de ejecución u otros útiles para su control que se almacenan en la carpeta *Cntrl*. Finalmente, la carpeta *Res* sirve para almacenar resultados.

Un módulo que distingue casos de aplicación es MHH, cuya subcarpeta puede encontrarse a su vez subdividida en subcarpetas para cada caso:

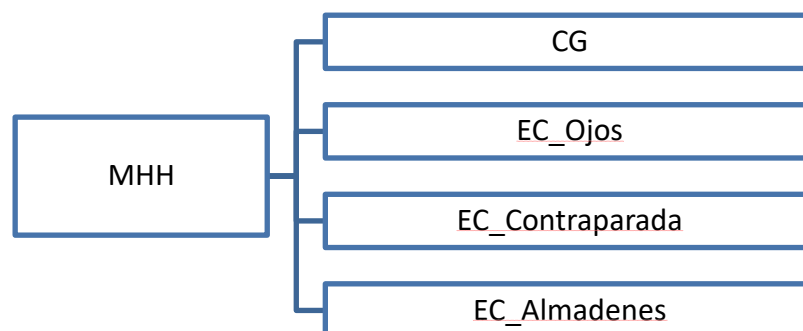


Figura 6-5: Ejemplo de esquema de carpetas de varios casos de aplicación de un módulo EDAPHI (MHH en el ejemplo)

La estructura de cada subcarpeta sería la del anterior esquema

6.3.4 Almacenamiento de nodos

La lista de nodos se almacena en carpetas *SIG* con formatos SHP. En la general o en la específica del módulo con el mismo nombre. 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
02A05A1	Aforo río Argos (Ab. Emb. Argos)
02R02A1	Aforo en Río Segura (Archena)
02R01A1	Aforo en Río Segura (Cieza)
03A03A3	Caudal Total río Segura Calasparra + Acequias
03A02A2	Aforo en Río Segura Bayo + Acequia
01O04A1	Aforo en Rbla Salada (Marco de control)
01A01A1	Aforo en Río Segura - Contraparada
02A02A2	Total Ojós + Acequias
02A01A2	Caudal Total Segura Ag.Arr.Almadenes
02A04A1	Aforo en río Segura - Blanca

Tabla 6-2.- Ejemplo de tabla alfanumérica asociada a un SHP que define los nodos de tipo Q

6.3.5 Organización del código

El código se estructura a partir de una carpeta raíz con una subcarpeta por módulo. A su vez, cada módulo cuenta subcarpetas para los archivos de comandos (subcarpeta *Cmd*), para los archivos Python (carpeta *Py*) y otras complementarias para documentación (*Doc*) y utilidades (*Util*). Si es necesario, se añade la subcarpeta que corresponda.

Hay archivos de programas de uso común entre los módulos que se almacenan en la carpeta *Cmn*.

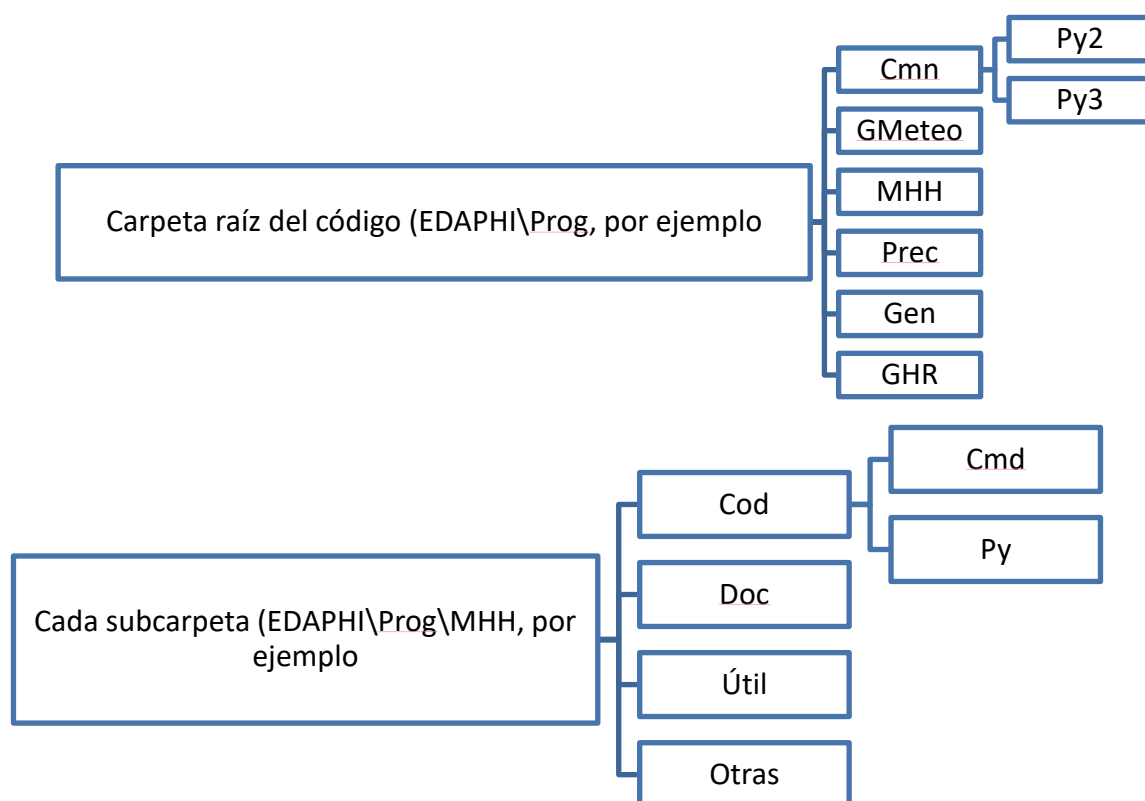


Figura 6-6.- Organización del código (Py2 y Py3 cuentan con subcarpetas *Py* y *Cmd*)

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").

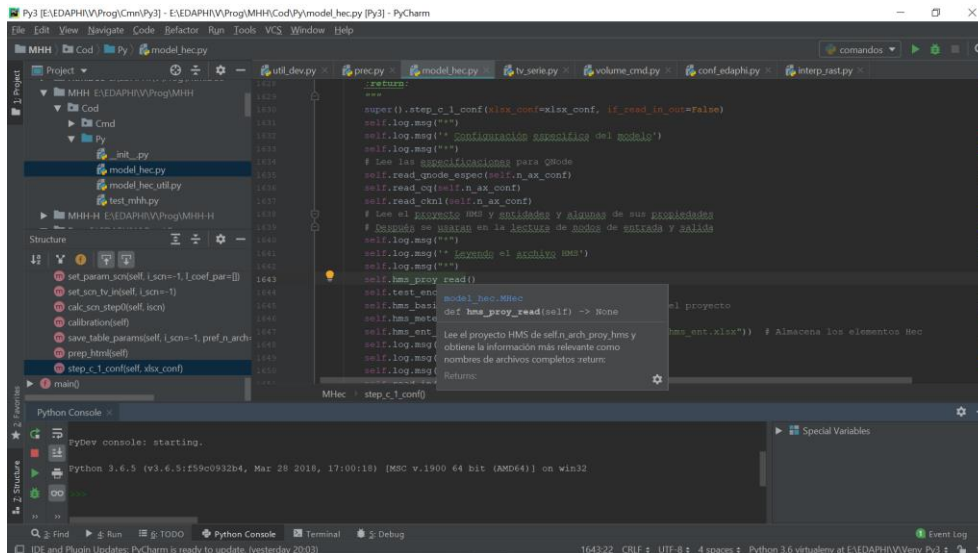


Figura 6-7.- Uso de un IDE para la edición del código de programación con ayuda interactiva

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

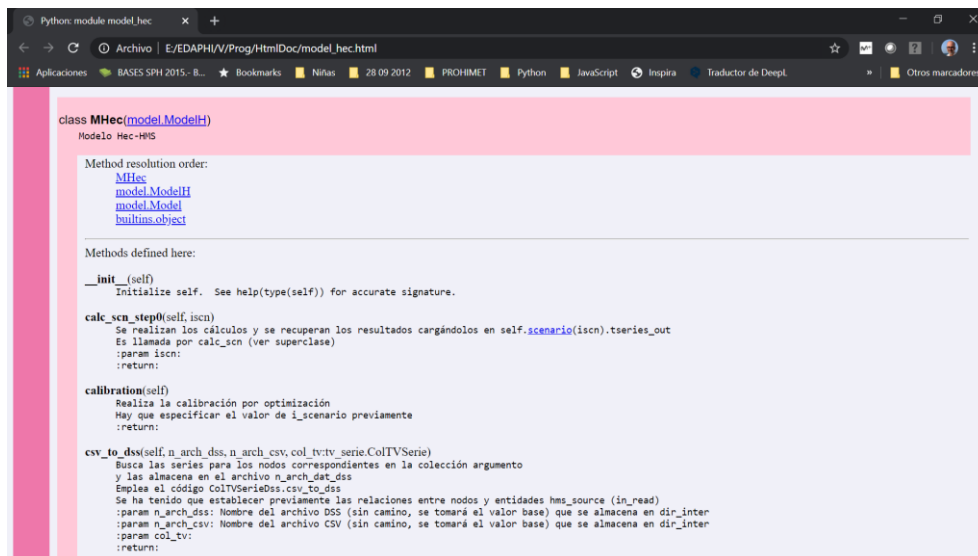


Figura 6-8.- Ejemplo de archivo HTML de documentación del código

6.4 Instalación de módulos y configuración del entorno

En la fecha de la edición de este documento, las aplicaciones basadas en GIS-Grass emplean una versión de Python 2, mientras que los desarrollos que no recurren a este software han sido programados con Python 3. Ello obliga a considerar dos vías de configuración general de aplicaciones. En breve estará disponible una versión (no beta) de Grass basada en Python 3, aunque seguramente siga siendo recomendable la distinción de aplicaciones que dependan de Grass.

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.

6.4.1 Variables de entorno

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 detectar con anterioridad en ejemplos de archivos de comandos que incluyen variables como %EDAPHI_DIR%. Al usar el comando general (ver capítulo 7) *conf_bas_desc*, parte del resultado es el siguiente, en el que pueden encontrarse las variables de entorno:

```
...
* Carpeta principal de EDAPHI
EDAPHI_DIR=E:\EDAPHI
* Carpeta de programas
EDAPHI_DIR_PROG=E:\EDAPHI\Prog
* Carpeta de módulos específicos de Python
EDAPHI_DIR_PY=E:\EDAPHI\Prog\MHH\Cod\Py
* Carpeta de módulos comunes / generales de Python
EDAPHI_DIR_PY_CMN=E:\EDAPHI\Prog\Cmn\Py3\Cod\Py
* Aplicación / módulo
EDAPHI_AP=MHH
* Carpeta de caso
EDAPHI_DIR_C=E:\EDAPHI\MHH\CG
...
```

6.4.2 Módulos que operan con Python 3

Los módulos Gen, Prec, MHH y MHH-H han sido programados con Python 3.6. El primer paso para poder usar estas aplicaciones será instalar Python desde <https://www.python.org>.

Atención: La versión actual de EDAPHI funciona con Python 3.6.5

6.4.2.1 Preparación del entorno virtual Python

Para evitar posibles conflictos con otras aplicaciones que puedan funcionar en el ordenador con Python 3, se recurre al empleo de un entorno virtual de Python que se configurará con los paquetes necesarios para EDAPHI. Para ello, se ejecutarán los siguientes comandos desde una ventana de comandos (*cmd.exe*)

- 1) Indicar la carpeta de programas EDAPHI:
 - `SET EDAPHI_DIR_PROG=%cd%\Prog`
- 2) Construir el entorno virtual Python:
 - `python -m venv %EDAPHI_DIR_PROG%\Venv_Py3`
- 3) Activar el entorno virtual
 - `%EDAPHI_DIR_PROG%\Venv_Py3\Scripts\activate`
- 4) Instalar los módulos/paquetes necesarios
 - `pip install -r %EDAPHI_DIR_PROG%\Gen\Util\venv_pack.txt`

El archivo `venv_pack.txt` contendrá el listado de paquetes, el cual puede ser generado desde un entorno debidamente configurado con el comando:

```
pip freeze > %EDAPHI_DIR_PROG%\Gen\Util\venv_pack.txt
```

Su contenido puede ser:

```
chardet==3.0.4
cyclcr==0.10.0
et-xmlfile==1.0.1
imageio==2.3.0
jdcal==1.4
kiwisolver==1.0.1
matplotlib==2.2.2
numpy==1.14.2
openpyxl==2.5.3
Pillow==5.0.0
pyparsing==2.2.0
pyshp==1.2.12
python-dateutil==2.7.2
pytz==2018.4
schedule==0.5.0
six==1.11.0
xlrd==1.1.0
xlwt==1.3.0
```

6.4.2.2 Configuración general del entorno

El archivo `EDAPHI\Cmd\edaphi_e_py3.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 3 y el entorno virtual VEnv_Py3
Rem en un módulo deben establecerse, antes de llamar a éste:
Rem EDAPHI_AP, EDAPHI_DIR_C, EDAPHI_DIR
Rem *****
Rem El directorio de programas:
```

```
Set EDAPHI_DIR_PROG=%EDAPHI_DIR%\Prog  
call %EDAPHI_DIR_PROG%\Cmn\Py3\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
```

6.4.2.3 Configuración del arranque de un módulo

Los módulos EDAPHI se ejecutan 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, MHH, MHH-H)
- EDAPHI_DIR_C.- Carpeta de caso de aplicación
- EDAPHI_DIR.- Carpeta general de EDAPHI

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

```
@Echo off  
Set EDAPHI_AP=MHH  
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  
Echo -----  
Echo Escriba comandos para ver las opciones  
Echo -----  
Cmd /V:ON /E:ON /T:F2
```

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.

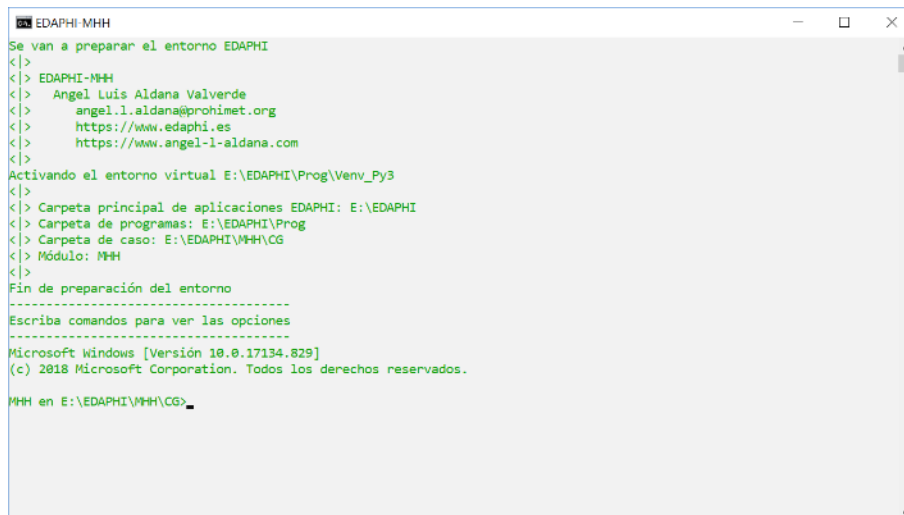


Figura 6-9.- Ventana de interacción con el módulo MHH

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 como el siguiente:

```
@Echo off
set EDAPHI_AP=MHH
color F2
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 (Caso Gen)
Title EDAPHI#OP-%EDAPHI_AP%-%EDAPHI_DIR_C%
call calc_opera xlsx_conf=conf_cg_opera.xlsx
exit
```

Como se dijo anteriormente, los nombres `ventana.cmd` y `ciclo.cmd` son opcionales, aunque recomendados.

6.4.3 Módulos que operan con Python de GIS-Grass

Los módulos GMeteo, 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: Se ha comprobado el funcionamiento de los módulos EDAPHI que funcionan con GIS-Grass versiones 7.4 a 7.6

6.4.3.1 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.

6.4.3.2 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, MHH, MHH-H)
- 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 MHH:

```
@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

Los archivos de comandos comunes son accesibles desde cualquier módulo y son de propósito general. Algunos tendrán una respuesta inmediata, caso del comando `color_nombres` (Figura 7-1), por ejemplo, y otros ofrecerán múltiples opciones.

Así, al teclear comandos en la línea de comandos del sistema operativo aparecerá algo como lo siguiente (en el caso concreto de la ventana de la aplicación Prec):

```
|
| Comandos generales / comunes:
|
| * anim.....Genera animaciones GIF a partir de archivos PNG
| * arch_csv.....Utiidades para archivos CSV
| * arch_xls.....Convierte un archivo XLSX a uno o varios CSV
| * bezier.....Curva Bezier a partir de puntos en un archivo
| XLSX
| * cod_cmd.....Cambia la codificación de los archivos CMD
| específicos de un módulo EDAPHI
| * cod_consola.....Pruebas y descripciones de códigos de consola
| * cod_det.....Detección de códigos de página de un archivo
| * color_nombres.....Muestra una ventana con los colores disponibles
| * color_nombres_list....Muestra una lista con los colores disponibles
| * color_tablas.....Muestra una ventana con los colores disponibles
| * conf_bas_desc.....Muestra detalles de configuración relacionados
| con EDAPHI
| * ctm.....Utilidades para archivos de series temporales
| * demo.....Acceso a demos de módulos diversos de EDAPHI
| * docs.....Abre una ventana del explorador de la carpeta
| %EDAPHI_DIR%\Docs
| * edi_cod.....Lanza el editor de código
| * edi_csv.....Facilita la edición de archivos CSV como los
| usados en la configuración de algún módulo
| * geoprj.....Utilidades para sistemas de referencia espaciales
| (geográficos)
| * mapa.....Genera una ventana de mapa según la configuración
| en un archivo xlsx
| * mod.....Utilidades básicas o generales para modelos
| * rast_vect.....Utilidades de conversión de capas vectoriales a
| raster (mallas)
| * raster.....Ofrece varias posibilidades de manejo de raster
| (mallas)
| * scn.....Utilidades relacionadas con los escenarios de un
| modelo
| * ts_util.....Utilidades para archivos de series temporales
| * ts_util_points.....Obtiene la información de puntos de un episodio
| XLSX y genera SHP de nodos
| * ts_util_sel.....Utilidades para selección de variables de
| archivos de de series temporales
```

```
* vect.....Ofrece varias posibilidades de manejo de capas
SIG vectoriales
* volumen.....Facilita cambios de volumen de sonido
|
| Comandos específicos de Prec:
|
* calc_epi_inc.....Realiza los cálculos, en modo incremental,
tomando los datos de episodio
* calc_epi_todo.....Realiza los cálculos de todos los intervalos
tomando los datos de episodio
* crea_masc_areas.....Crea la máscara de las áreas especificadas en el
archivo de configuración
* crea_masc_cont.....Crea la máscara del contorno de cuenca
especificado en el archivo de configuración
* de_xlsx.....Realiza cálculos desde el archivo de_xlsx.xlsx
* interp_rast.....Interpolador matricial
* prec.....Cálculo de precipitaciones. Comando general
* test_call_extern.....Permite probar la llamada a call_extern.cmd
|
| Comandos específicos del caso de aplicación
|
* areales_ctm.....Genera resultados areales en
%EDAPHI_DIR%\Prec\Res con ctm
* areales_ts.....Genera resultados areales en la carpeta
%EDAPHI_DIR%\Html\Prec y %EDAPHI_DIR%\Prec\Res con
ts_util
* v_grd_areales.....Muestra una ventana de representación matricial
de resultados areales. Argumento obligado:
5min, 30min o 60min
* v_mapa_acum.....Muestra una ventana de acumulaciones areales.
Argumento obligado: 5min, 30min o 60min
* v_mapa_max.....Muestra una ventana de máximos areales. Argumento
obligado: 5min, 30min o 60min
* v_tv_is.....Muestra una ventana de serie temporal de una
subcuenca. Argumento obligatorio: índice de la
Serie
```

Se puede observar los tres grupos de comandos de un caso de aplicación. En este capítulo se abordan los del primero.



Figura 7-1.- Resultado del comando color_nombres

Se recomienda usar el argumento -h inmediatamente después del comando para obtener ayuda.

Así, si se escribe en la ventana ts_util -h aparecerá lo siguiente, que informa de las posibilidades que ofrece:

```
<|>
<|> Prec.ts_util
<|>
Argumentos de acción:
  -sub_int: Genera un archivo (en dir_res añadiendo .sub_int. a la
extensión con subintervalo. Admite parámetros int_ini=, int_fin=, xlsx=,
cvs= y dir_res=
  -w_tv: Muestra un gráfico t-v con todas las variables o con una si se
indica valor i_s
  -w_tv_s: Almacena un gráfico t-v con todas las variables o con una si se
indica valor i_s
  -w_grd: Muestra una matriz de datos
  -w_grd_s: Guarda una matriz de datos en un archivo PNG. Admite parámetro
dir_res
  -w_grd_epi: Guarda en Res los PNG de episodio según conf general
  -info: Información básica del archivo
  -stats: Genera un libro (nombre con .stats. en dir_res) con estadísticas
de series temporales
  -stats_t: Genera un libro (nombre con .stats_t. en dir_res) con
estadísticas por instante
  -stats_h: Muestra estadísticas de series temporales en el navegador
  -stats_t_h: Muestra estadísticas por instante en el navegador
  -csv_to_xls: Transforma un archivo CSV en otro XLS, con el mismo nombre
(salvo extensión) y almacenado en dir_res
```

```
-csv_to_xlsx: Transforma un archivo CSV en otro XLSX, con el mismo
nombre (salvo extensión) y almacenado en dir_res
-html_table_vars: Genera un archivo HTML con el resumen de las
variables que contiene
-----
Argumentos complementarios:
xlsx=nombre_archivo.XLSX
xls=nombre_archivo.XLS
nsheet=Nombre de la hoja de cálculo con datos (por defecto: Series)
csv=nombre_archivo.CSV
dir_res=Directorio de resultados (por defecto ST de configuración
general)
arch_css=Archivo de estilo CSS (comando html)
title=título en comandos w_grd
scn_excl=: Escenarios que se excluyen (comandos -stats_t y stats). Por
defecto es Min_Scns_Fut|Max_Scns_Fut
scn=: Si se indica, sólo se calculan los valores del escenario scn
(comandos -stats_t y stats)
attrib=: Obligatorio para stats_t y opcional para stats
i_s=: Opcional para el comando -w_vt
-----
Argumentos de tiempo para cálculos (-stats) o extracción de datos (-
sub_int)
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
(carpetas ST)
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
-t_act: t_ini es el instante actual
-----
Ejemplos:
-csv_to_xlsx csv=%EDAPHI_DIR%\ST\st_gen_60min.csv dir_res=E:\EDAPHI
-info xlsx=%EDAPHI_DIR%\ST\GHR_201904201600.xlsx nsheet=Datos
-stats_h xlsx=Res\60min\areales.xlsx nsheet=Series attrib=P
-stats xlsx=%EDAPHI_DIR%\ST\GHR_201904201600.xlsx nsheet=Datos
t_ini="19/04/2019 22:00" t_fin="20/04/2019 12:00"
-stats_t xlsx=%EDAPHI_DIR%\MHH\CG\Res\Nod\01A02A1.xlsx
dir_res=%EDAPHI_DIR%\MHH\CG\Res\Nod attrib=C
-stats_t_h xlsx=%EDAPHI_DIR%\MHH\CG\Res\Nod\01A02A1.xlsx attrib=C
-w_grd xlsx=%EDAPHI_DIR%\ST\GHR_201904201600.xlsx nsheet=Datos attrib=P
-w_grd_s xlsx=%EDAPHI_DIR%\ST\st_gen_05min.xlsx nsheet=Series attrib=S
dir_res=%EDAPHI_DIR%\Html
-sub_int int_ini=0 int_fin=12 xlsx=%EDAPHI_DIR%\ST\st_gen_05min.xlsx
nsheet=Series attrib=S dir_res=e%EDAPHI_DIR%\st
```

```
-w_tv xlsx=%EDAPHI_DIR%\st\st_gen_05min.Stats_t.xlsx
```

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.

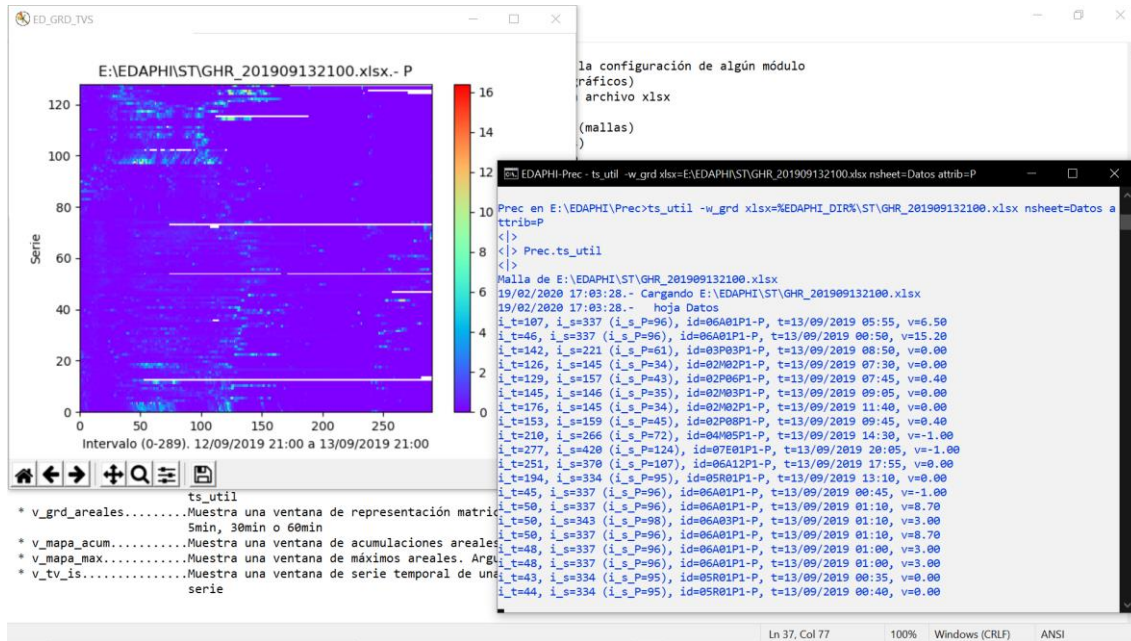


Figura 7-2.- Ejemplo del uso del comando *ts_util -w_grd*

Otros comandos como *ctm* también ofrecerá posibilidades de interacción. Si se usa el argumento *-h* aparecerá lo siguiente:

```
Argumentos de acción:
-w_it: Muestra una ventana con valores en un instante determinado
-w_it_a: Muestra una ventana animada
-w_max: Muestra una ventana con los máximos
-w_min: Muestra una ventana con los mínimos
-w_med: Muestra una ventana con los promedios
-w_acum: Muestra una ventana con los acumulados

-----

Argumentos obligatorios:
it=: Número de intervalo (para comando -w_it)
dir_res=: Carpeta de resultados (para comandos g_
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)
nf_paltxt=: nombre del archivo texto con la tabla de colores
formato GRASS
dpi=: Puntos por pulgada para archivos gráficos (Por defecto,
dpi=300)
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

Ejemplos:
-w_max arch_vec=%EDAPHI_DIR%\Sig\subcuencas_prec.shp
arch_ct=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\60min\areaales.xlsx n_sheet=Series
-w_it it=5 arch_vec=%EDAPHI_DIR%\Sig\subcuencas_prec.shp
arch_ct=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\60min\areaales.xlsx n_sheet=Series
-w_max arch_vec=%EDAPHI_DIR%\Sig\nod_p.shp
arch_ct=%EDAPHI_DIR%\St\st_gen_60min.xlsx n_sheet=Datos id_vec=id size=10
attrib=P
-w_it_a arch_vec=%EDAPHI_DIR%\Sig\subcuencas_prec.shp
arch_ct=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\60min\areaales.xlsx n_sheet=Series
n_tcolor=plasma inter_s=0.5
-w_max arch_conf=conf_mapa_s_max.xlsx
-g_acum arch_conf=conf_mapa_s_acum.xlsx
dir_res=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\60min
-w_max arch_conf=conf_mapa_s_max.xlsx
arch_ct=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\30min\areaales.xlsx n_sheet=Series
```

En un caso concreto el comando *ctm -w_max* mostraría la ventana siguiente (Figura 7-3).

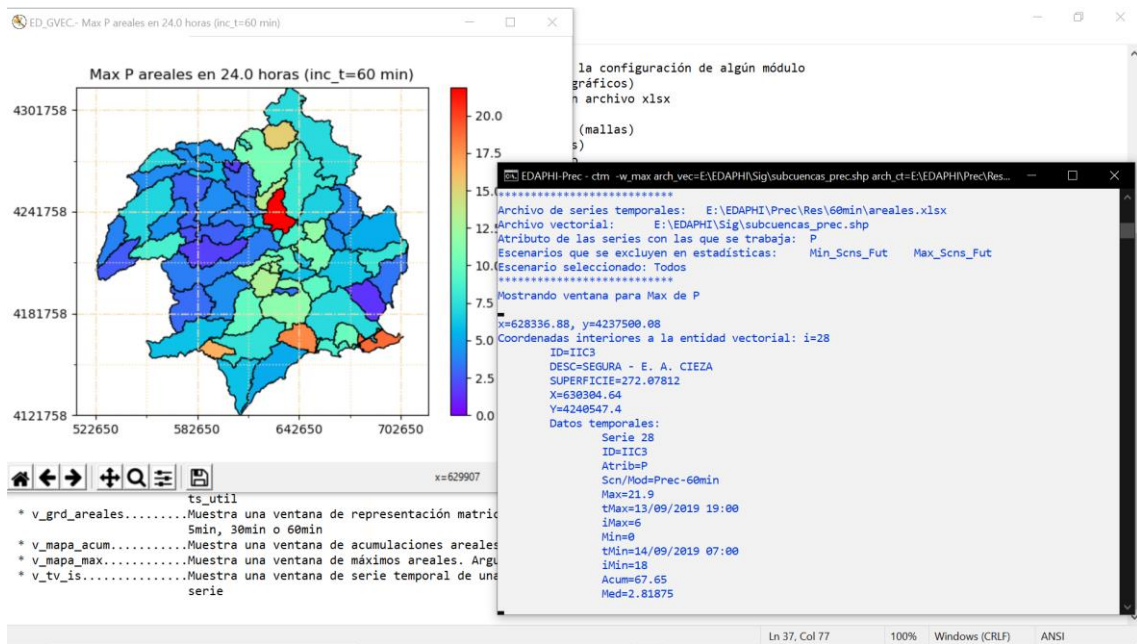


Figura 7-3.- Ejemplo de uso del comando ctm -w_max

Este tipo de comandos con salida gráfica admiten las instrucciones de zoom, desplazamiento, guardar archivo gráfico o redistribuir partes (Figura 7-4)

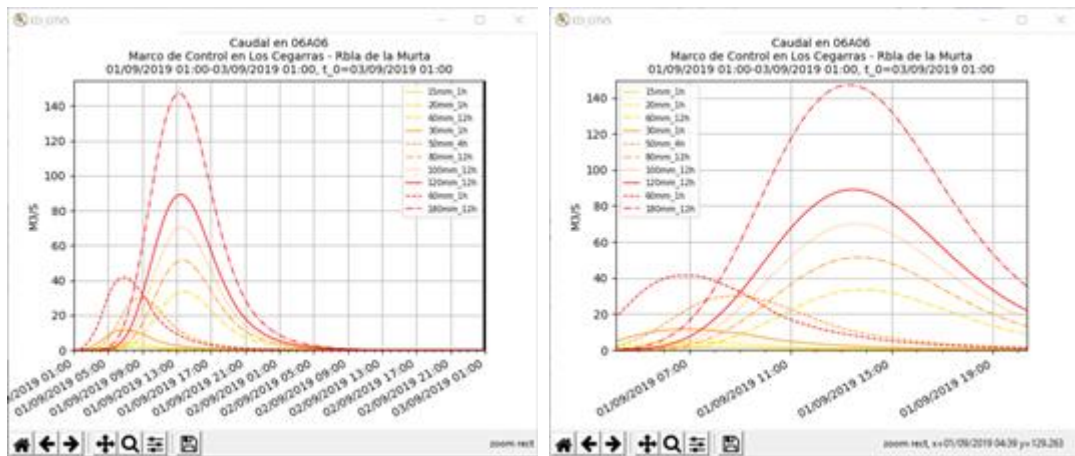


Figura 7-4.- Ejemplo de zoom en una ventana gráfica

Otros comandos ofrecen salida alfanumérica, como `scs -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 (Gen, Prec, MHH) se incluye algo sobre comandos de propósito general.


```

EDAPHI-MHH-E:\EDAPHI\MHH\CG
<> MHH.scn: Utilidades relacionadas con los escenarios de un modelo
<>
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 -list_s xlsx_conf=conf_cg_operas.xlsx
<>
<> 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

MHH en E:\EDAPHI\MHH\CG>
    
```

Figura 7-5.- Ejemplo del uso del comando *scn -list_n*

Hay comandos con finalidad de demo, como complemento de explicación de funcionalidades incluidas en el entorno. Tal es el caso del comando *demo -evol* que ofrece varios ejemplos con el que experimentar en el uso de algoritmos de computación evolutiva para minimizar o maximizar funciones (Figura 7-6)

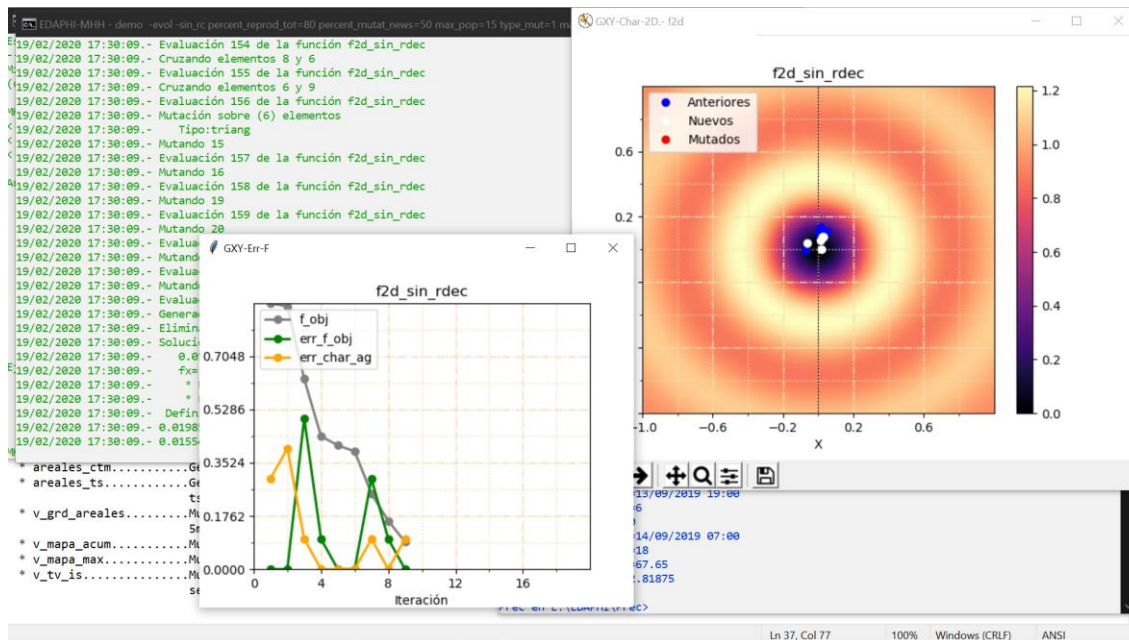


Figura 7-6.- Pantalla con resultados del comando *demo -evol*

8 EDAPHI-Gen. Módulo de configuración y control general

8.1 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 serán suficiente para su uso.

8.2 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

8.3 Comandos

Los comandos disponibles son:

Comando	Descripción
conf_gen_desc	Descripción de la configuración general de EDAPHI
control	Control de ejecución de algunos módulos
ftp_carga_res	Carga resultados de un módulo en el sitio FTP
prep_dist_ap	Prepara los archivos de módulos para su instalación
prog_mods	Editar opciones del programador de tareas de módulos EDAPHI
prog_mods_ini	Inicia el programador de tareas de módulos EDAPHI
repro_event	Reproduce un periodo (evento) a partir de un conjunto de archivos de datos temporales
st_gen	Lee los datos de telemetría y genera los archivos CSV st_gen* tras varias operaciones
trz_mod	Genera trazas de ejecución de modelos en la carpeta Cntrl_Fut
v_edaphi	Muestra una lista de ventanas EDAPHI
venv_act	Activa el entorno virtual Python
venv_crea	Crea el entorno virtual Python
venv_desact	Desactiva el entorno virtual Python
venv_pack_inst	Instala los paquetes Python necesarios
venv_pack_inst_pem	Instala los paquetes Python necesarios usando archivo PEM, --cert en pip
venv_pack_list	Muestra y escribe la lista de paquetes a instalar en el entorno virtual Python

w_grd_epi	Genera los gráficos matriciales de series temporales con los datos más recientes
-----------	--

Tabla 8-1.- Comandos del módulo Gen

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

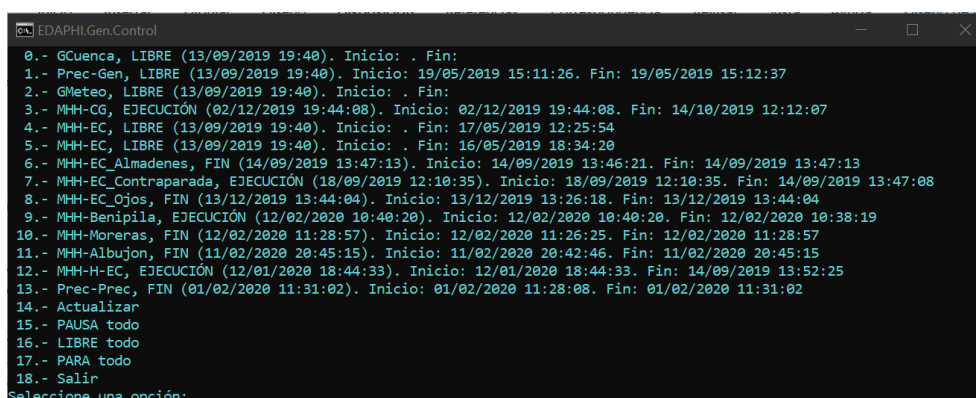


Figura 8-1.- Ventana de interacción del comando control

Otro comando 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
```

Es preferible emplear el comando *prog_mods_ini*, en lugar de *prog_mods*, para que se abra otra ventana como la siguiente:

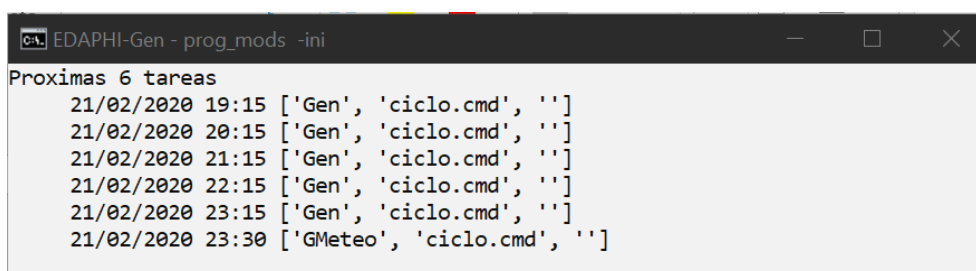


Figura 8-2.- Ventana del programador de tareas

8.4 Archivo de comandos principales de ejecución

Gen se inicia del modo general con un archivo ventana.cmd como el siguiente:

```
@Echo off
set EDAPHI_AP=Gen
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
Echo -----
Echo Escriba comandos para ver las opciones
Echo -----
Title EDAPHI-%EDAPHI_AP%
cmd /V:ON /E:ON /T:F0

```

8.4.1 Archivo de comandos ciclo.cmd

El archivo de comando ciclo.cmd, para uso en cada ciclo de cálculos, puede ser como el siguiente:

```

rem @Echo off
set EDAPHI_AP=Gen
color F0
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 (Caso
Gen)
Title EDAPHI#OP-%EDAPHI_AP%
call st_gen -t_act
if %ERRORLEVEL% GEQ 1 (
    echo -- ATENCIÓN, se ha producido un ERROR
    echo Error en %0
    pause
) else (
    echo Se lanza Prec
    cd /D %EDAPHI_DIR%\Prec
    start /I ciclo.cmd
)

```

Con estos comandos, realiza una búsqueda de los datos más recientes y genera los archivos de series de uso general para el resto de los módulos EDAPHI (comando *st_gen -t_act*).

Una vez concluido, lanza la aplicación Prec, haciendo uso de su comando ciclo.cmd.

Estas opciones de ejecución enlazando aplicaciones son configurables según el caso. Parte de lo anterior se expone a modo de ejemplo. Esta es otra de las ventajas de la ejecución a través de archivos de comandos: la gran flexibilidad y versatilidad que ofrece.

8.5 Configuración

8.5.1 Configuración general

El archivo *conf_gen.xlsx* 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

8.5.2 Configuración del programador de tareas

Los siguientes comandos están relacionados con la programación de tareas: *prog_mods_ed* y *prog_mods_ini*

```

EDAPHI-Gen - prog_mods_ed
Gen en E:\EDAPHI\Gen>prog_mods_ed
<>
<> Gen.prog_mods_ed Programador de tareas
<>
EDAPHI-Prog_Mods
0.- Editar la configuración
1.- Iniciar las tareas
2.- Salir
Seleccione una opción: 0
0.- Módulo
1.- Comando
2.- Argumentos
3.- Horas (Ejemplo 1: 06:00|12:00|18:00 Ejemplo 2: 60-m)
4.- Salir
Seleccione una opción: 1
Comando (GMeteo) [ciclo.cmd]=
Comando (Gen) [ciclo.cmd]=
    
```

Figura 8-3.- Ventanas del programador de tareas en modo configuración

El primero sirve para configurar el programador, lo que también puede hacerse editando el archivo *conf_prog.csv*, cuyo contenido puede ser como el siguiente:

Módulo	Comando	Argumentos	Horas (Ejemplo 1: 06:00 12:00 18:00 Ejemplo 2: 60-m)
--------	---------	------------	--

GMeteo	ciclo.cmd		05:30 11:30 17:30 23:30
Gen	ciclo.cmd		0:15 1:15 2:15 3:15 4:15 5:15 ...

Tabla 8-2.- Ejemplo de contenido del archivo de configuración del programador de tareas

En la carpeta principal de EDAPHI se puede incluir un archivo (se aconseja denominar *EDAPHI_prog.cmd*) con el siguiente contenido:

```
@Echo off
SET EDAPHI_DIR=%cd%
cd /D %EDAPHI_DIR%\Gen
start /I ini_prog.cmd
```

El contenido del archivo *ini_prog.cmd* es:

```
@Echo off
set EDAPHI_AP=Gen
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
call %EDAPHI_DIR_PROG%\%EDAPHI_AP%\Cod\Cmd\prog_mods_py.cmd -ini
```

8.6 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*.

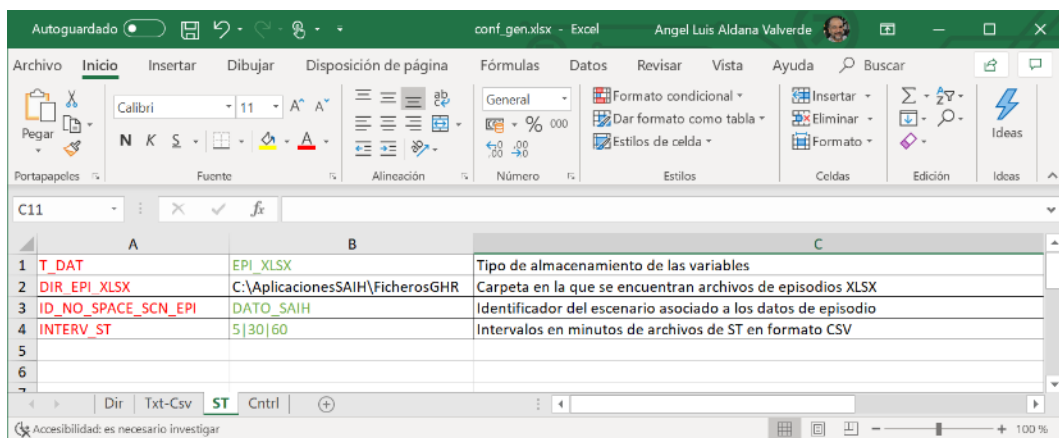


Figura 8-4.- Opciones de configuración que afectan especialmente al comando *st_gen*

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.

8.7 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 14)

```
@echo OFF
REM @A Calcula estadísticas del archivo st_gen_05min y crea resultados en
%EDAPHI_DIR%\st y %EDAPHI_DIR%\Gen\Res\Html\Grf
for %%d in (P,C,Q,N,S) do (
    rem Cálculo de estadísticas
    call ts_util -stats_t xlsx=%EDAPHI_DIR%\st\st_gen_05min.xlsx
    dir_res=%EDAPHI_DIR%\st attrib=%%d
    rem Generación de gráficos
    call ts_util -w_tv_s xlsx=%EDAPHI_DIR%\st\st_gen_05min.Stats_t-%%d.xlsx
    title="Valores representativos" dir_res=%EDAPHI_DIR%\Gen\Res\Html\Grf
)
```

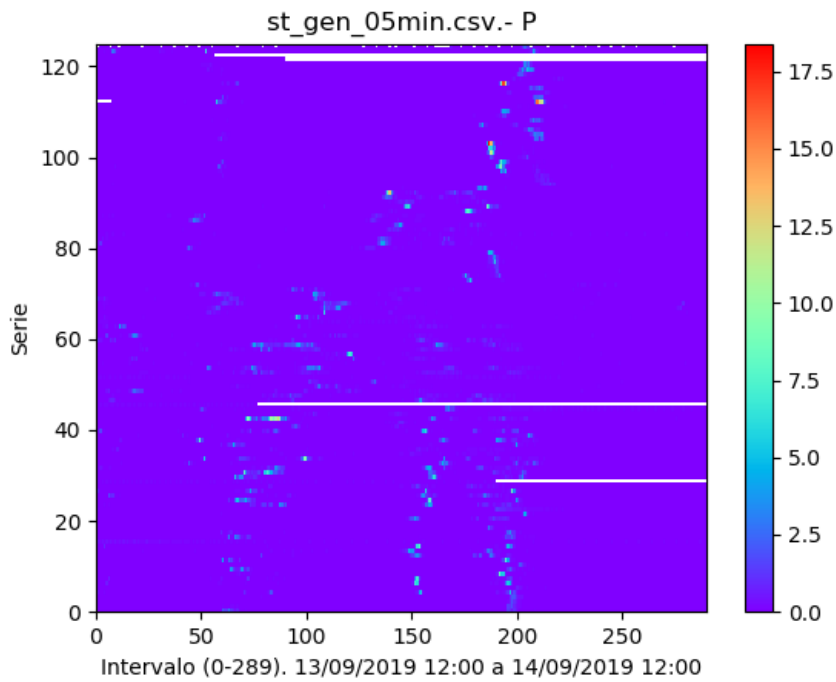


Figura 8-5.- Ejemplo de resultado obtenido con utilidades comunes

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

```
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.

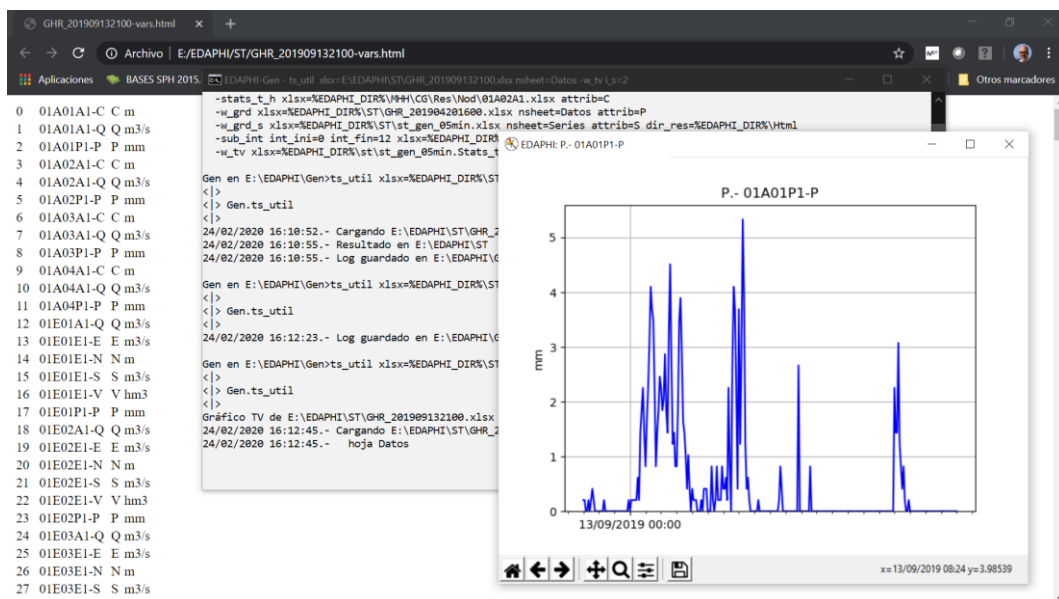


Figura 8-6.- Ejemplo de una consulta gráfica de una variable concreta de la fuente de datos origen

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

```
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 máximas 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 ctm -w_max arch_ct=%EDAPHI_DIR%\st\st_gen_%1.csv  
    arch_conf=%EDAPHI_DIR%\Gen\Conf_Mapas\conf_mapa_PMax.xlsx  
)
```

Que ofrecerá una ventana de valores máximos de precipitación en pluviómetros

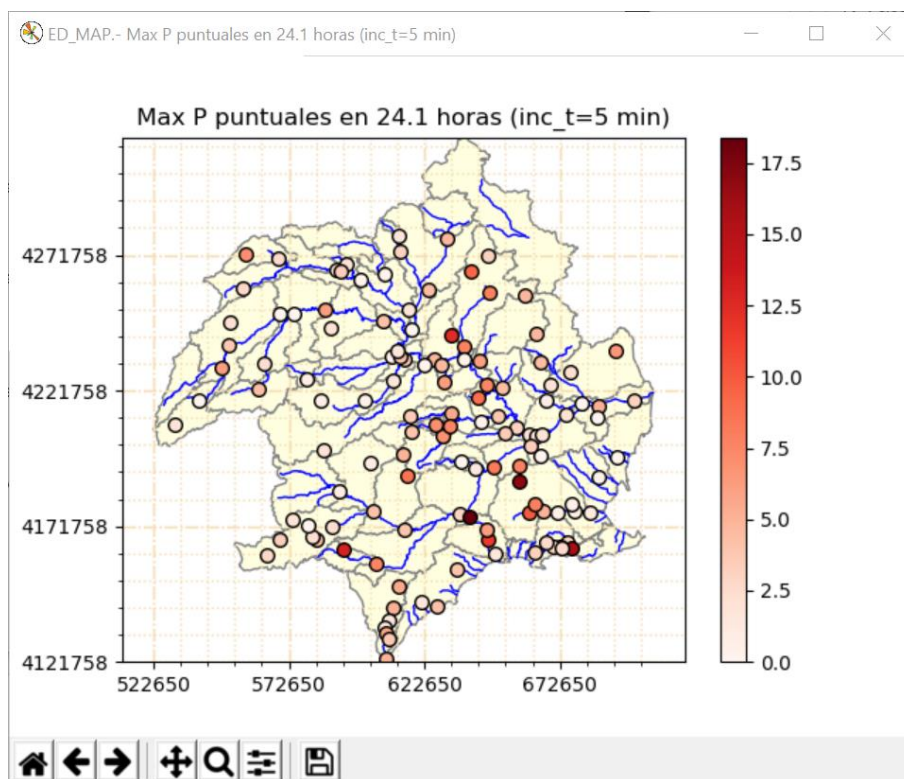


Figura 8-7.- Ventana de mapa de lluvias máximas en pluviómetros

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

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 que muestra el siguiente recorte de la ventana de comandos:

```
Comandos específicos del caso de aplicación

* stats.....Calcula estadísticas del archivo st_gen_05min y crea resultados en %EDAPHI_DIR%\st y
               %EDAPHI_DIR%\Gen\Res\Html\Grf
* 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
```

Figura 8-8.- Ejemplo de listado de comandos específicos definidos con las utilidades comunes del capítulo 7

9 EDAPHI-GMeteo. Generación de productos de hidrología basados en los resultados de modelos numéricos de predicción del tiempo

9.1 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 realizará cambios de proyección geográfica, de resolución y realizará 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.

9.2 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.

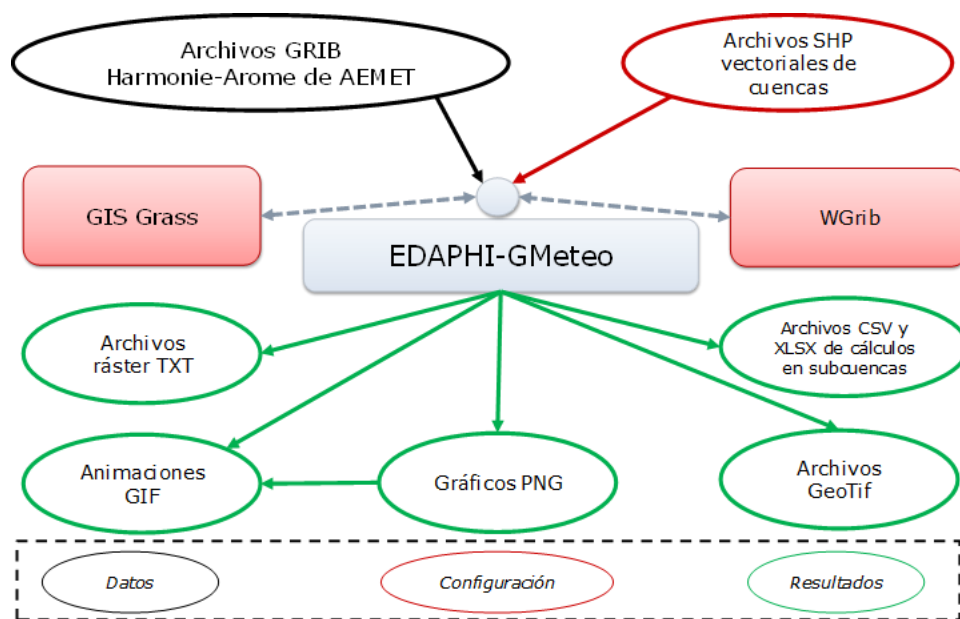


Figura 9-1: Esquema general de la solución

9.3 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.

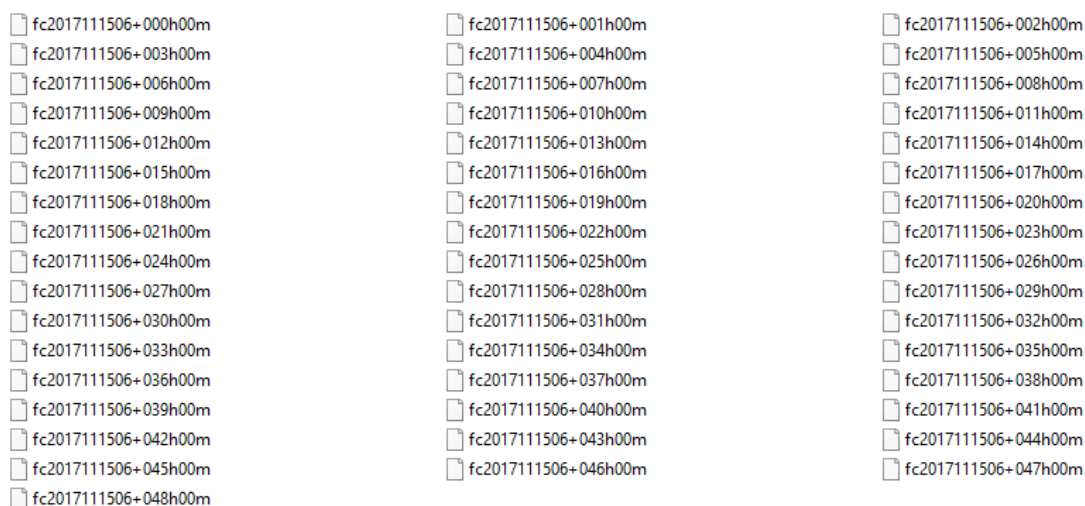


Figura 9-2: Ejemplo de contenido de carpeta con archivos GRIB proporcionados por AEMET

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.

9.4 Resultados

Los resultados serán (ver detalles en 9.5.1):

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

9.5 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

9.5.1 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

9.6 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
grib_dir	Extrae los datos de todos los archivos del directorio %EDAPHI_DIR_AP%\grib
grib_mat	Extrae la malla de un archivo GRIB y los almacena en un archivo wgrib_mat
importa_grib	Extrae toda la información de un archivo GRIB y genera archivos asociados, incluyendo la BD de Grass
limpia_res	Borra todos los resultados de operaciones anteriores
lista_reg	Listado de registros
op_acum	Genera las agregaciones a partir de las mallas básicas
op_areales	Calcula valores areales medios en cuencas del directorio Pol
op_dif	Deshace acumulaciones en el tiempo
op_lineal	Realiza las transformaciones lineales
op_valid	Realiza las validaciones
res_aplica_pal	Aplica las tablas / paletas de colores
res_areal_tmp	Genera un gráfico areal en tmp y lo muestra
res_gif_anim	Utiliza el módulo Anim para generar los GIF
res_gif_areal_anim	Utiliza el módulo Anim para generar los GIF
res_html	Genera los resultados para la web
res_png	Genera los archivos PNG
res_raster_tmp	Genera un gráfico en tmp de un raster y lo muestra
res_tif	Genera archivos Tif
res_txt	Genera archivos Txt en coordenadas UTM
test_call_extern	Permite probar la llamada a call_extern
todo_dir	Realiza todas las operaciones sobre todos los archivos GRIB

Tabla 9-1.- Comandos del módulo GMeteo

9.7 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
    
```



Figura 9-3.- Ventana de comandos

9.7.1 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.

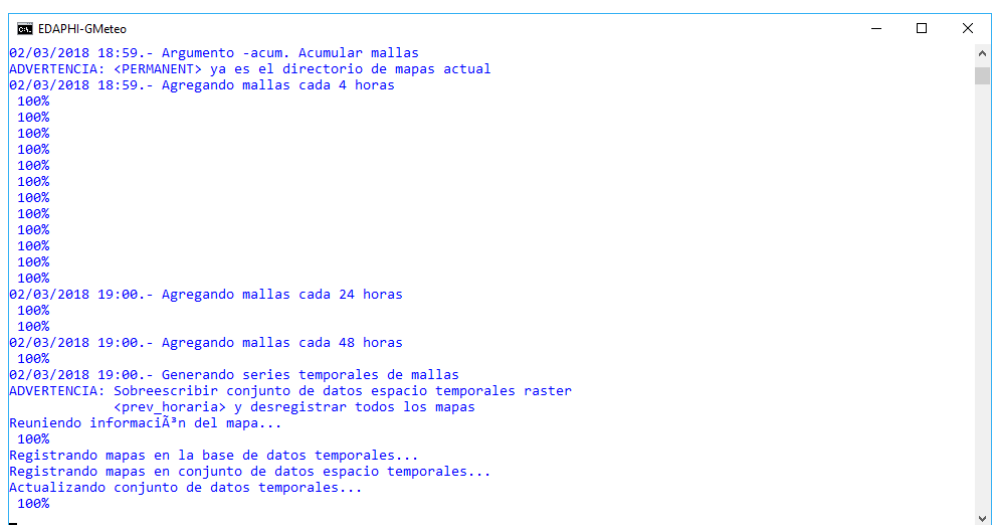


Figura 9-4.- Ventana de registro de actividad de GMeteo cuando se emplea el comando *ciclo.cmd*

Este comando es útil para ser usado desde otro programa o el programador de tareas del sistema operativo.

9.8 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*.

9.9 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

9.10 Configuración

La configuración de la aplicación se realiza a través de archivos *Conf_GMeteo.xlsx*, *Conf_Map_Raster.xlsx* y *Conf_Map_Areal.xlsx*.

9.10.1 Configuración general

Se realiza con el archivo *Conf_GMeteo.xlsx*. 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

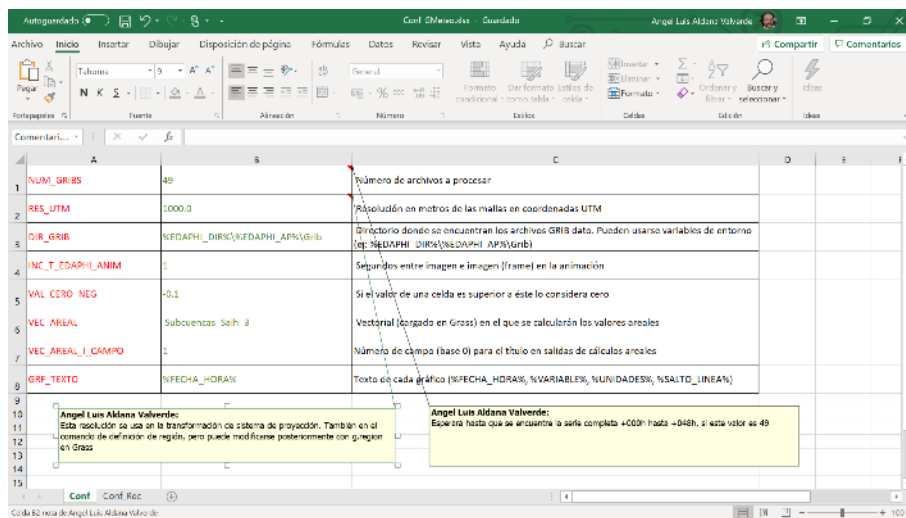


Figura 9-5.- Archivo de configuración Conf_GMeteo.xlsx

9.10.2 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.

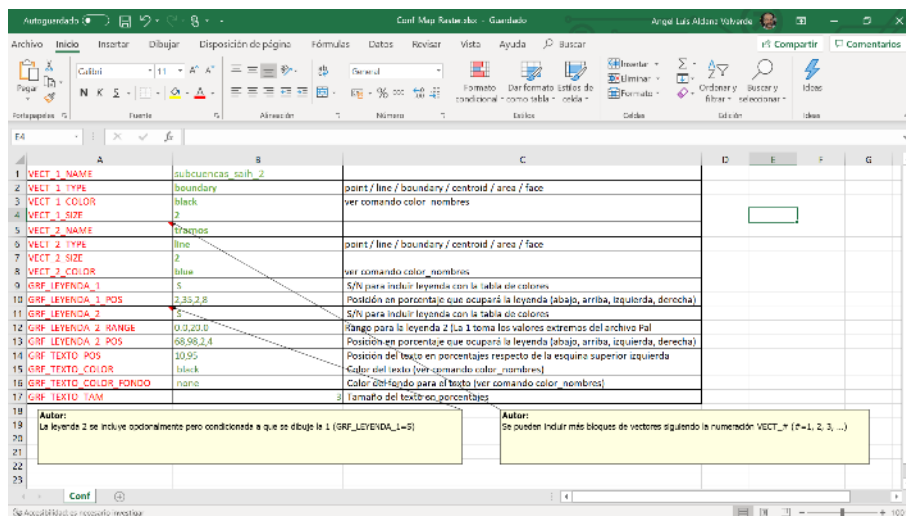


Figura 9-6.- Archivo Conf_Map_Raster.xlsx para configuración de mapas de resultados en forma de mallas

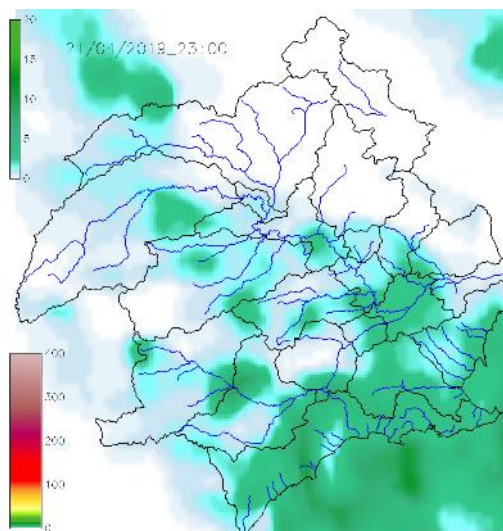


Figura 9-7.- Ejemplo de resultado gráfico en formato matricial

9.10.3 Configuración de resultados gráficos en formato vectorial (resultados areales)

Los valores areales medios en polígonos tendrán su resultado en forma de mapas (además de las correspondientes tablas en archivos CSV o XLSX), los cuales son configurables a través del archivo *Conf_Map_Areal.xlsx*.

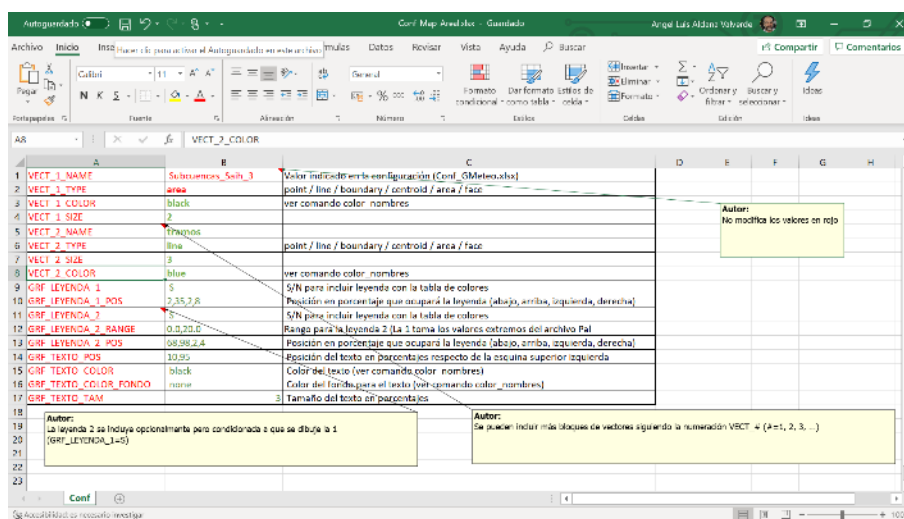


Figura 9-8.- Archivo *Conf_Map_Areales.xlsx* para configuración de mapas de resultados de cálculos areales

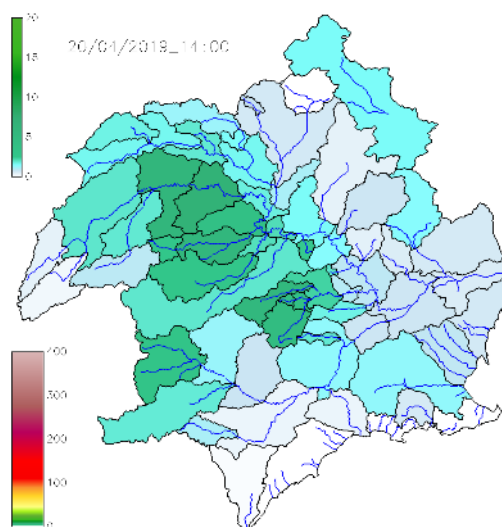


Figura 9-9.- Ejemplo de resultado en formato vectorial

9.10.4 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.

9.11 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 la versión 3.6. 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
    
```

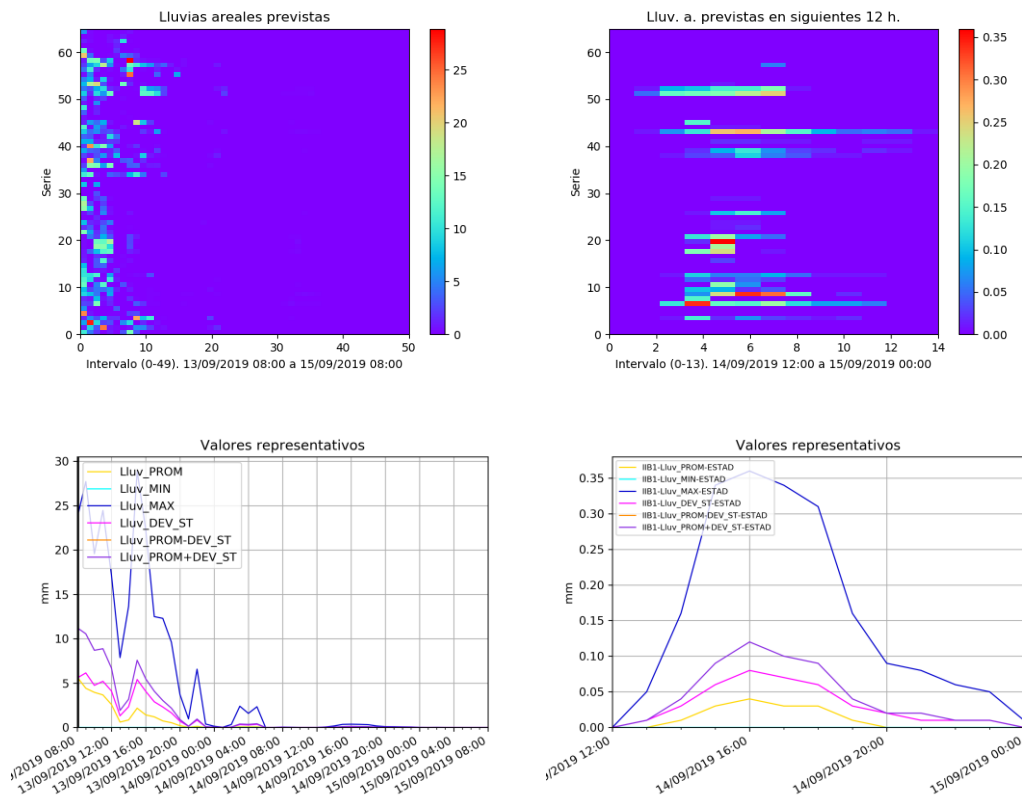


Figura 9-10.- Ejemplos de salidas gráficas generadas con los comandos descritos

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

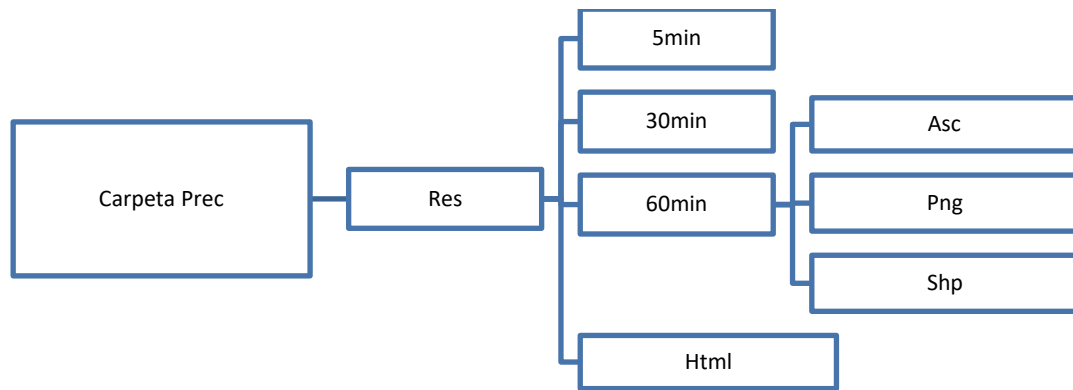
Las funcionalidades de Prec son:

- Cálculo de mallas de precipitaciones por intervalo
- 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.

10.3 Resultados

Prec genera un gran número de resultados organizados conforme 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 4.3).

En la raíz de la carpeta *Res* se almacenan los archivos GIF con animaciones, las máscaras para cálculos (ver 10.3.2 y 10.3.3) y resultados de cálculo cuando se emplea el comando *de_xlsx*.

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.

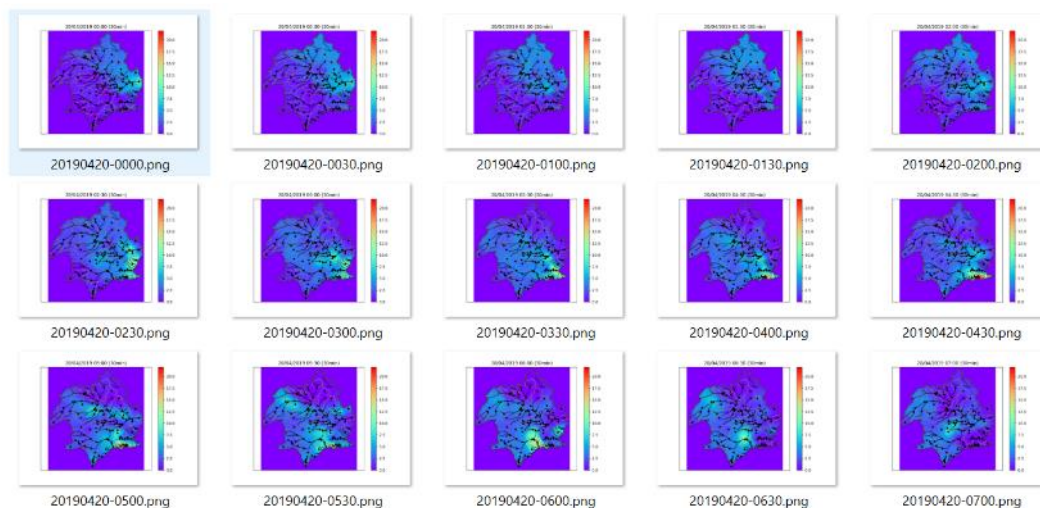


Figura 10-1.- Colección de gráficos PNG de resultado de los cálculos

10.3.1 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).

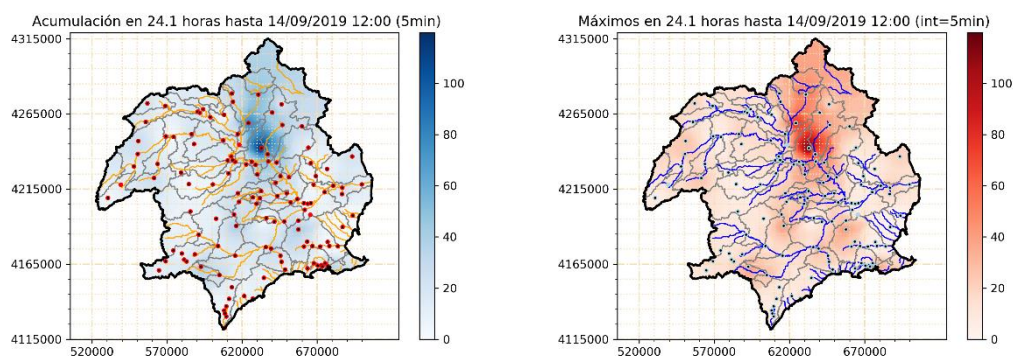


Figura 10-2.- Mapas de resultados de valores agregados en formato matricial / raster

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

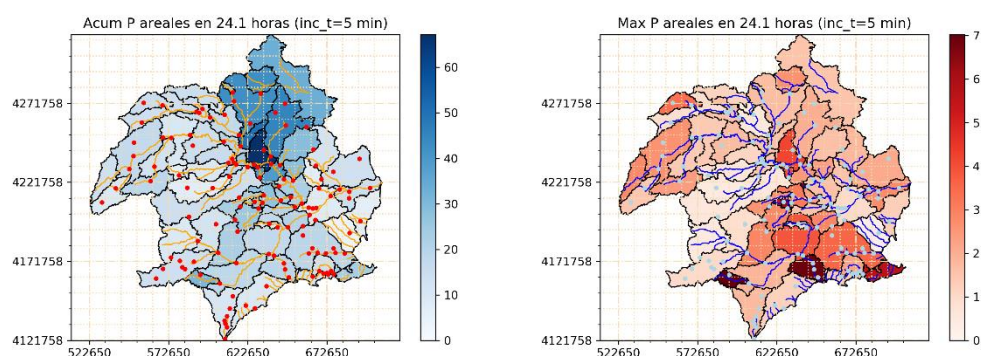


Figura 10-3.- Mapas de resultados de valores agregados en subcuencas (formato vectorial)

10.3.2 Máscara de áreas

La aplicación usa una máscara de las áreas en las que se va a realizar los cálculos de valores areales medios. Para esa tarea, transforma las áreas de los vectores en una capa matricial. Dicha máscara (archivo *masc_areas.asc*) debe ser supervisada. También se genera el archivo *masc_areas.csv* que contiene el listado de identificadores de polígonos junto a la superficie de cada área.

Estos archivos pueden generarse de forma externa a la aplicación e incorporarse (serían datos, en este caso, aunque se almacenen en la misma carpeta *Res*)

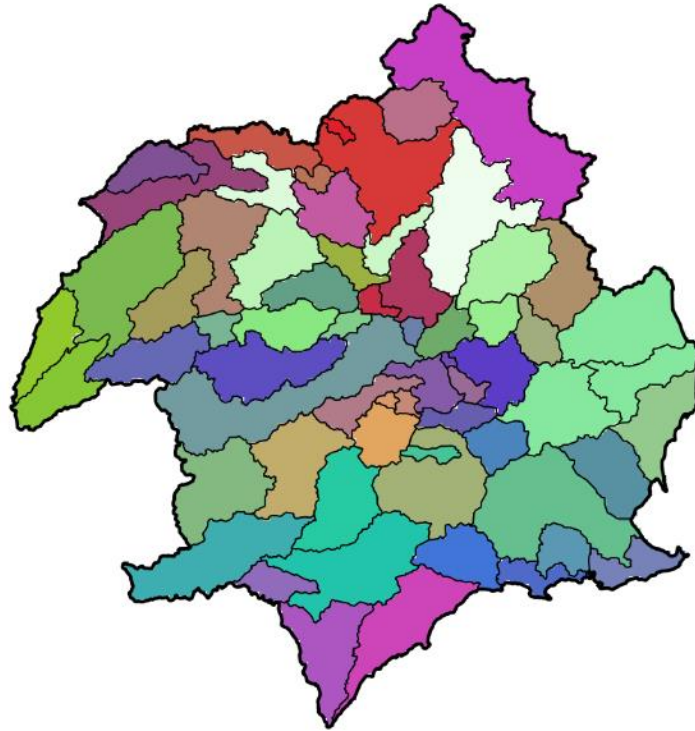


Figura 10-4.-Representación de la capa *masc_areas.asc*

10.3.3 Máscara del contorno

También se genera una máscara para el contorno en los que se generarán resultados. 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*.

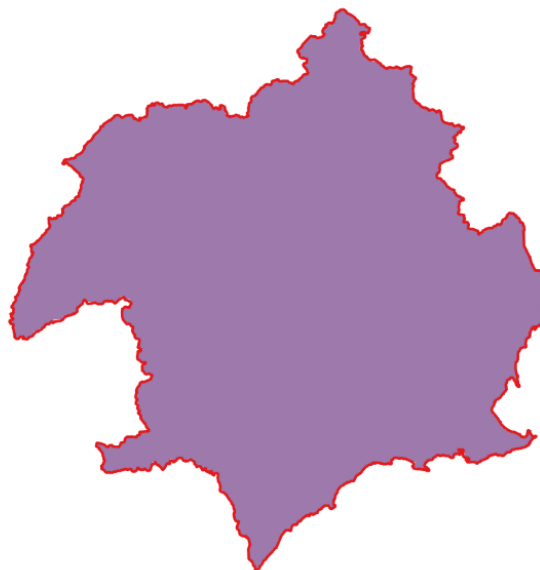


Figura 10-5.- Ejemplo de máscara del contorno

10.4 Carpeta SIG

La carpeta *Prec\Sig* no es necesaria, en general, pues este módulo operará con la carpeta SIG común (*%DIR_EDAPHI%\Sig*). Aunque puede usarse, 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*:

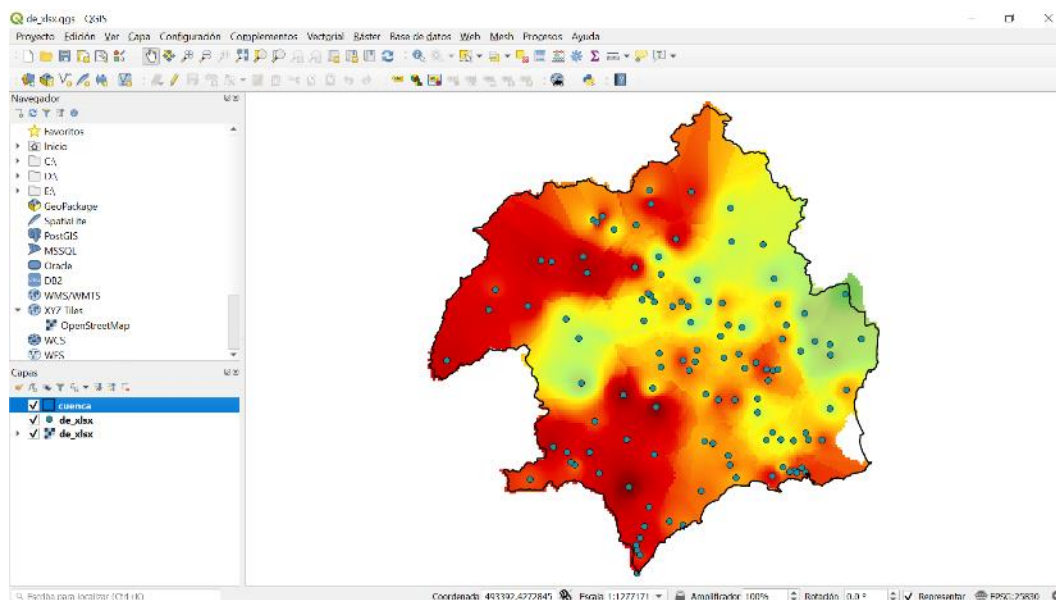


Figura 10-6.- Ejemplo de proyecto QGIS para visualizar resultados

10.5 Instalación

El manual de usuario de EDAPHI da las indicaciones generales de instalación de los módulos. Prec no tiene necesidades especiales de instalación.

10.6 Comandos

La tabla siguiente resume el listado de comandos disponibles. Coincide con el resultado de la instrucción *comandos* escrita en la ventana.

Comando	Descripción
calc_epi_inc	Realiza los cálculos, en modo incremental, tomando los datos de episodio
calc_epi_todo	Realiza los cálculos de todos los intervalos tomando los datos de episodio
crea_masc_areas	Crea la máscara de las áreas especificadas en el archivo de configuración
crea_masc_cont	Crea la máscara del contorno de cuenca especificado en el archivo de configuración
de_xlsx	Realiza cálculos desde el archivo de <i>de_xlsx.xlsx</i>
interp_rast	Interpolador matricial
prec	Comando principal
test_call_extern	Permite probar la llamada a <i>call_extern.cmd</i>

Tabla 10-1. – Comandos del módulo Prec

Las opciones del comando principal *prec* son, según muestra la pantalla al teclear *prec -h*:

```
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 areas
-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 recalculiar 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

```

La programación de Prec se apoya en un módulo Python denominado *interp_rast*, al cual también se da acceso de forma interactiva:

```

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 resto de los comandos se basa en los dos anteriores. Se ofrecen para mayor comodidad en el uso.

10.7 Archivos de comando de ejecución

En el manual de usuario general de EDAPHI se explica de forma general como se configura el entorno y el arranque de un módulo. Prec se inicia del modo general con un archivo como el siguiente (suele denominarse *ventana.cmd*):

```
@Echo off
set EDAPHI_AP=Prec
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
Title EDAPHI-%EDAPHI_AP%
echo -----
echo Escriba comandos para ver las opciones disponibles
echo -----
cmd /V:ON /E:ON /T:F1
```

10.7.1 Archivo de comandos ciclo.cmd

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

```
@Echo off
set EDAPHI_AP=Prec
color F1
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%
call calc_epi_inc
exit
```

10.8 Configuración

La configuración de la mayor parte de los parámetros del módulo se realiza en la hoja *Conf* del archivo *conf_prec.xlsx*, nombre fijo del archivo de configuración para este módulo que debe estar en la carpeta *Prec*.

	A	B	C	D	E	F
1	PD	2	Potencia en la fórmula de interpolación			
2	MAX_P	5	Máximo número de puntos			
3	MAX_DIST	100000	Máxima distancia en la búsqueda de puntos			
4	X_MIN	520000	Coordenadas mínimas del cuadro de la matriz a generar			
5	Y_MIN	4115000	Y MAX	4319000	X MAX	710000
6	X_CEL,Y_CEL	1000	Tamaño de celda			
7	X_CELS	190	Número de celdas en horizontal (E-C)			
8	Y_CELS	204	Número de celdas en vertical (N-S)			
9	POL_CONT	%EDAPHI_DIR%\SIG\cuenca_prec.shp				
10	MASC	5				
11	VEC_AREAS	%EDAPHI_DIR%\SIG\subcuencas_prec.shp				
12	COLOR_POINTS_VINV	white				
13	INC_T_SEC_ANIM	1.5				
14	N_FRAMES_ANIM	12				
15	N_PNG_HTML	12				

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

Cabe distinguir escenarios o colecciones de resultados, lo que se aplica para generar resultados a distintos intervalos temporales. Para ello, buscará en la carpeta general de EDAPHI de series temporales (*ST*) los archivos correspondientes.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	INTERV_ST_MIN	60									
2	ID	60min									
3	DESC	Precipitaciones con intervalos de 60 minutos									

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

10.8.1 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*.

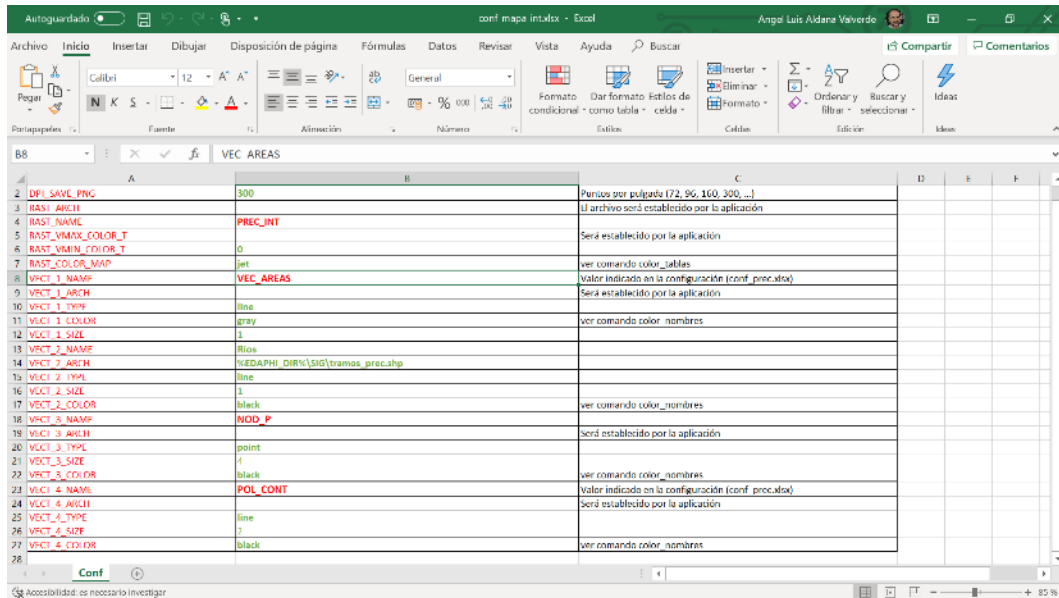


Figura 10-9.- Configuración de mapas por intervalo

10.8.2 Configuración de mapas de agregaciones

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

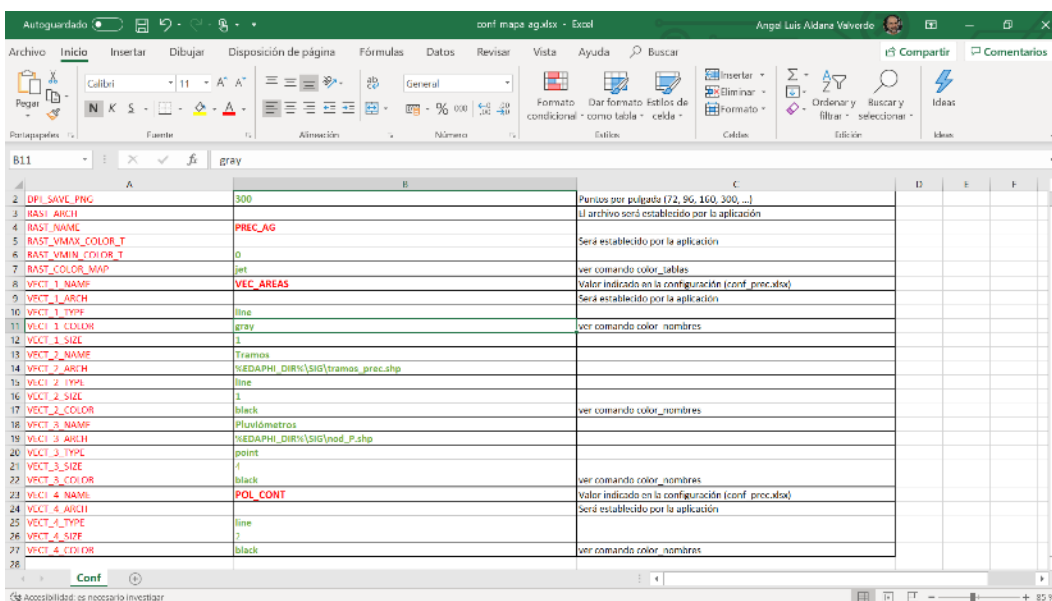


Figura 10-10.- Configuración de mapas de agregaciones

10.8.3 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*).

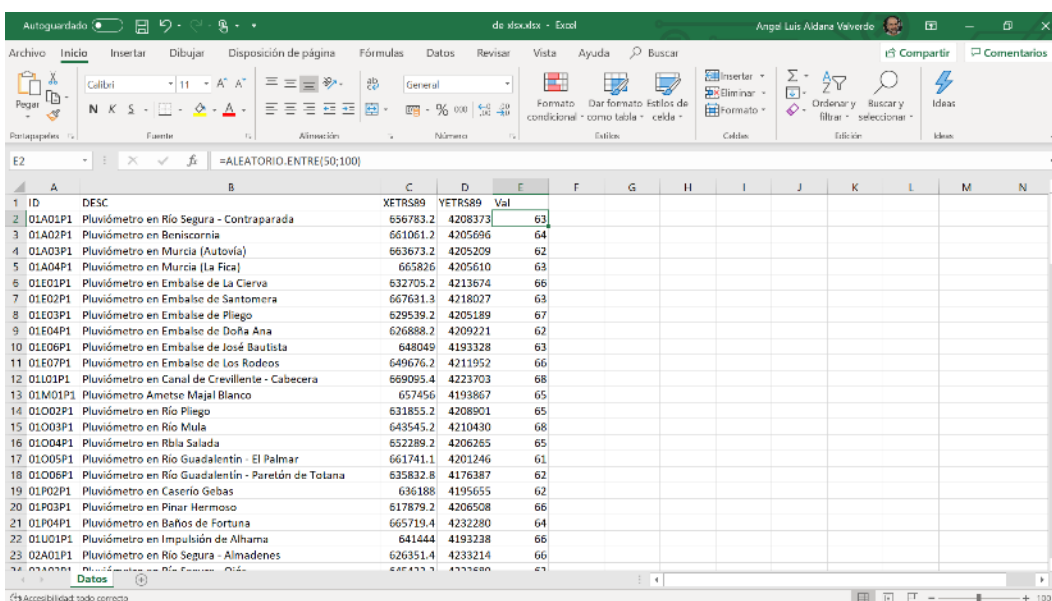


Figura 10-11.- Archivo *de_xlsx.xlsx* con datos de puntos

10.9 Uso de comandos comunes

En el capítulo 7 se han mostrado varios ejemplos de uso de utilidades de propósito general en el caso del módulo Prec.

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

```
@echo OFF
REM @A Genera resultados areales 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 ts_util -w_grd_s csv=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%%d\areales.csv
attrib=P dir_res=%EDAPHI_DIR%\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_util desde %0
    call ts_util -stats_t xlsx=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%%d\areales.xlsx
dir_res=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%%d attrib=P
    Rem Generación de gráfico de las estadísticas
    echo ^<^|^> * Llamada a ts_util desde %0
    call ts_util -w_tv_s xlsx=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%%d\areales.Stats_t-
P.xlsx title="Valores representativos"
dir_res=%EDAPHI_DIR%\Html\Prec\Grf\%%d
    Rem Cálculo de valores representativos
    echo ^<^|^> * Llamada a ts_util desde %0
    call ts_util -stats xlsx=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%%d\areales.xlsx
nsheet=Series attrib=P
    echo ^<^|^> * Llamada a arch_xls desde %0
    Rem Conversión de XLSX a HTML
    call arch_xls -xlsx_to_html
xlsx=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%%d\areales.Stats.xlsx n_Sheet=Stats
html=%EDAPHI_DIR%\Html\Prec\subc_stats_%%d.html n_css="../EDAPHI.CSS"
)
Rem Generación de HTML con la tabla de subcuencas
echo ^<^|^> * Llamada a vect desde %0
call vect -recs n_shp=%EDAPHI_DIR%\Sig\subcuencas_prec.shp
n_html=%EDAPHI_DIR%\Html\Gen\subcuencas_prec-rec.html
```

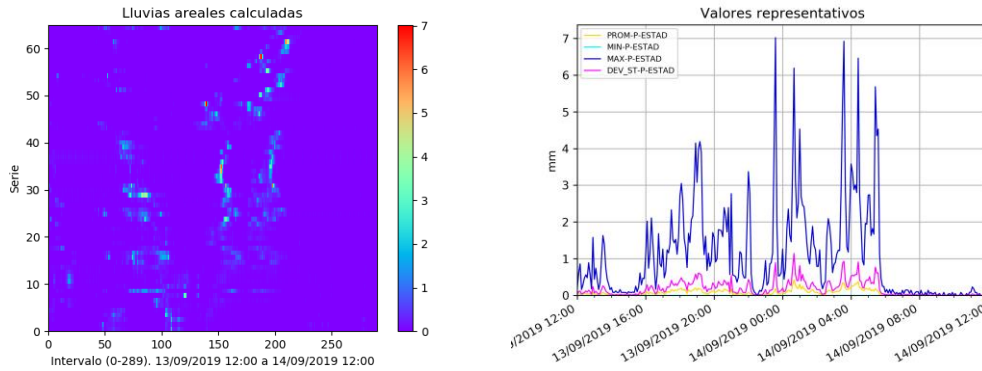


Figura 10-12.- Ejemplos de resultados gráficos obtenidos con archivos de comandos para Prec

En el caso concreto de que se deseen mapas:

```
@echo OFF
REM @A Genera resultados areales en %EDAPHI_DIR%\Prec\Res con ctm
Echo ^<^|^>
Echo ^<^|^> * Comando de caso %0 en el entorno de la aplicación
%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
    acumuladas en subcuencas.
    call ctm -g_acum
    arch_conf=%EDAPHI_DIR%\Prec\Conf_Mapas\conf_mapa_s_acum.xlsx
    dir_res=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%%d
    arch_ct=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%%d\areales.xlsx n_sheet=Series
    echo ^<^|^> * Llamada a ctm desde %0
    Rem El siguiente comando genera el mapa de precipitaciones areales
    máximas en subcuencas.
    call ctm -g_max
    arch_conf=%EDAPHI_DIR%\Prec\Conf_Mapas\conf_mapa_s_max.xlsx
    dir_res=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%%d
    arch_ct=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%%d\areales.xlsx n_sheet=Series
    Rem Las siguientes líneas son para generar todos los mapas de areales,
    intervalo por intervalo
    rem del /Q %EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%%d\png_s\*.png
    rem call ctm -g_it_a
    arch_conf=%EDAPHI_DIR%\Prec\Conf_Mapas\conf_mapa_s_int.xlsx
    dir_res=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%%d\png_s
    arch_ct=%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\%%d\areales.xlsx n_sheet=Series
)
```

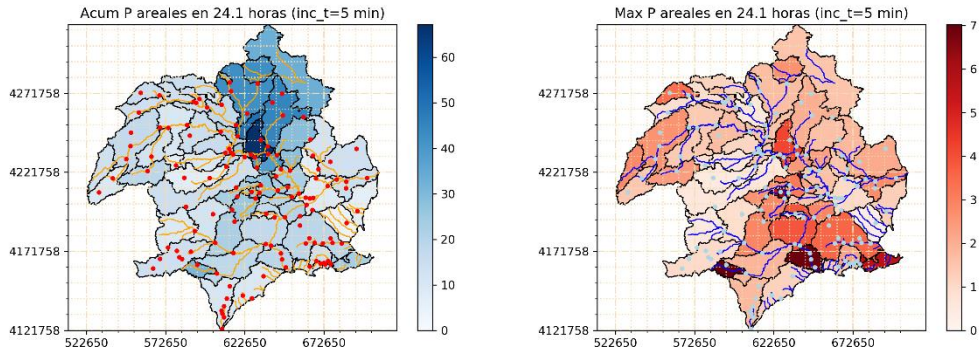



Figura 10-13.- Ejemplos de gráficos de mapas obtenidos con archivos de comandos para Prec

11 EDAPHI-MHH. Modelos hidrológicos operacionales basados en el software Hec

11.1 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 MHH, que se apoya en las aplicaciones HEC-HMS y HEC-DSSVue (<http://www.hec.usace.army.mil/software>)

11.2 Funcionalidad de la aplicación

El módulo EDAPHI-MHH realiza cálculos hidrológicos en tiempo real con resultados de niveles y caudales, permitiendo contemplar y 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), EDAPHI-MHH puede ser usado en modo estudio, simulando escenarios sin consideración de las fases operacionales ni de distinción de tiempo futuro o pasado.

11.2.1 Interacción con las aplicaciones Hec

La aplicación realiza cálculos hidrológicos interactuando con las aplicaciones Hec de 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)

11.2.2 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.

11.2.2.1 Pasados

Las series temporales dato serán series medidas, observadas, que se buscarán en el archivo de series de la carpeta *ST* (ver 6.3).

Los parámetros de cálculo, tales como números de curva, desfases, etcétera, serán almacenados en tablas en hojas de cálculo

11.2.2.2 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.

Calibración automática de parámetros de simulación

MHH cuenta con capacidad de calibración automática de parámetros de simulación, o autocalibración, 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).

11.2.2.3 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 según las operaciones 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).

11.2.2.4 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 las correspondientes curvas de gasto, 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.

11.2.3 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.

11.3 Resultados

MHH genera un gran número de resultados organizados conforme al siguiente esquema

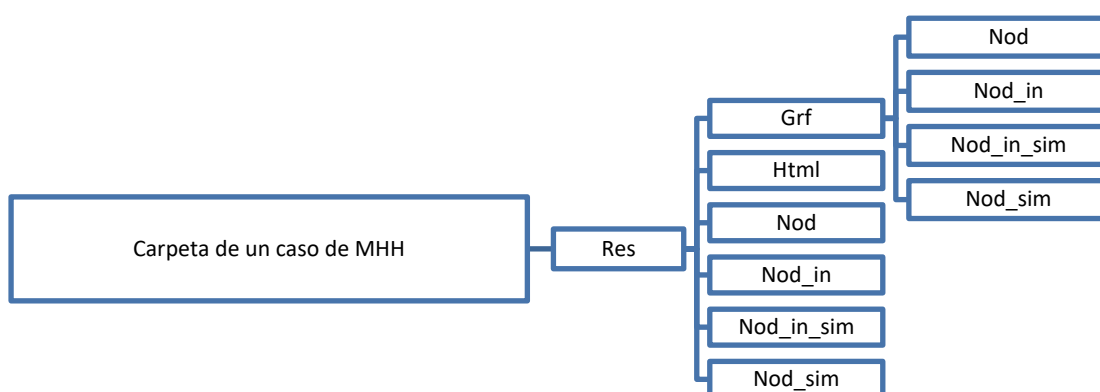


Figura 11-1. – Estructura de carpetas de un caso de aplicación de MHH

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.

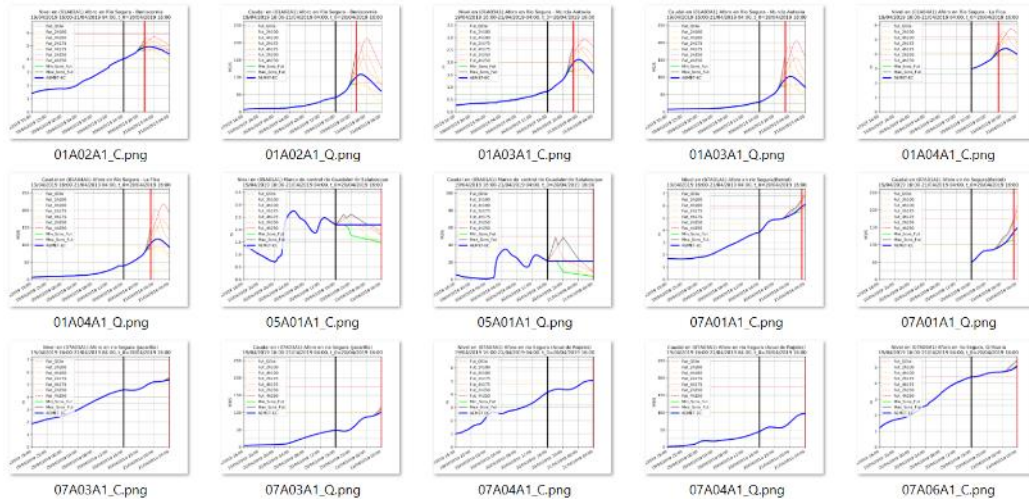


Figura 11-2.- Colección de gráficos en la carpeta *Res\Grf\Nod*

11.3.1 Gráficos de previsiones en caudales o niveles

El gráfico siguiente incluye notas sobre el gráfico resultado de MHH. Las líneas *Min_Scns_Fut* y *Max_Scns_Fut* representan las envolventes de los resultados de todos los escenarios hasta el instante de divergencia máxima admisible.

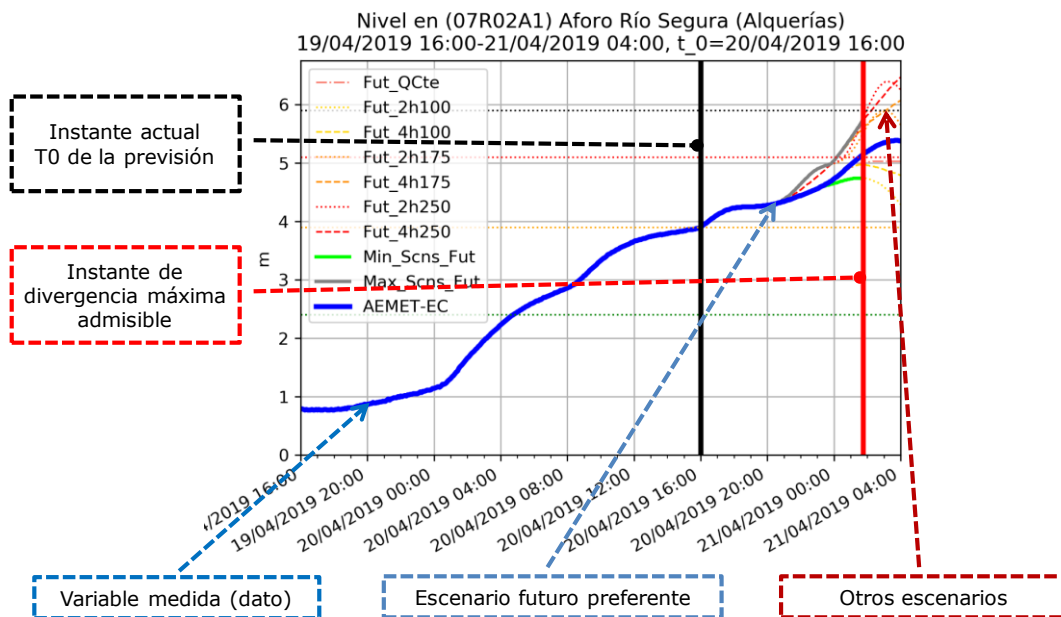


Figura 11-3.- Gráfico de previsión y notas

11.4 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

11.5 Comandos

La siguiente tabla muestra la lista de comandos disponibles.

Comando	Descripción
calc_cal	Realiza los cálculos de calibración (en tiempo pasado)
calc_fut	Realiza los cálculos de futuro
calc_oper	Realiza todas las operaciones de cálculo en modo operacional
calc_pas	Realiza los cálculos pasados
calc_sim	Realiza los cálculos a partir de series en archivo ST
cd_caso	Cambia al directorio de caso
conf_lee	Lee toda la configuración
csv_a_dss	Permite generar o modificar un archivo DSS a partir de series en un archivo CSV
dir_caso	Muestra o asigna el directorio del caso
dss_a_xls	Permite exportar un archivo XLS desde un archivo DSS
mhh	Opciones generales de comandos MHH
test_call_extern	Permite probar la llamada a call_extern
util_mhh	Utilidades para configuración, datos y resultados relacionados con MHH

Tabla 11-1. – Comandos del módulo de MHH

El comando *mhh -h* muestra la siguiente información sobre las posibilidades que ofrece:

```
Argumento obligatorio:
  xlsx_conf=Nombre del archivo de configuración situado en
E:\EDAPHI\MHH\Ramblas\Albujon
Comandos:
  -calc_st_xlsx: Calcula a partir de series temporales en un archivo XLSX
  -calc_pas: Calcula en tiempo pasado (caso configurado para pronóstico)
  -calc_cal: Cálculos de calibración
  -calc_fut: Cálculos en tiempo futuro
      i_scn_cal=:num de escenario de calibración
  -calc: Realiza todos los cálculos (caso configurado para pronóstico)
  -test_call_extern: Pruebas de llamadas externas
  -ts_nod: Genera archivos de series de nodos
  -grf_sim: Genera gráficos de simulación o tiempo pasado
  -grf_fut: Genera gráficos de tiempo futuro
```

Y el comando *mhh_util -h*, 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
```

11.6 Archivos de comandos de ejecución

Un caso de aplicación de MHH tendría una subcarpeta (*MHH\CG*, por ejemplo) en la que se situaría un archivo con contenido como el siguiente (*ventana.cmd*):

```
@Echo off
Set EDAPHI_AP=MHH
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
Echo -----
Echo Escriba comandos para ver las opciones
Echo -----
Title EDAPHI-%EDAPHI_AP%-%EDAPHI_DIR_C%
Cmd /V:ON /E:ON /T:F2
```

El nombre de la carpeta del caso se almacena en la variable de entorno *EDAPHI_DIR_C*. Su valor puede ser, por ejemplo: *E:\EDAPHI\MHH\EC*.

11.7 Configuración

Cada caso de aplicación, a un subsistema hidrológico determinado, tendrá un archivo de configuración en formato libro Excel XLSX. Los parámetros se repartirán en hojas. Cabe también indicar algunos parámetros de manera independiente al caso de aplicación.

Como es habitual en los módulos EDAPHI, los mismos archivos de configuración incluyen descripción de los parámetros.

11.7.2 Modelo HEC-HMS

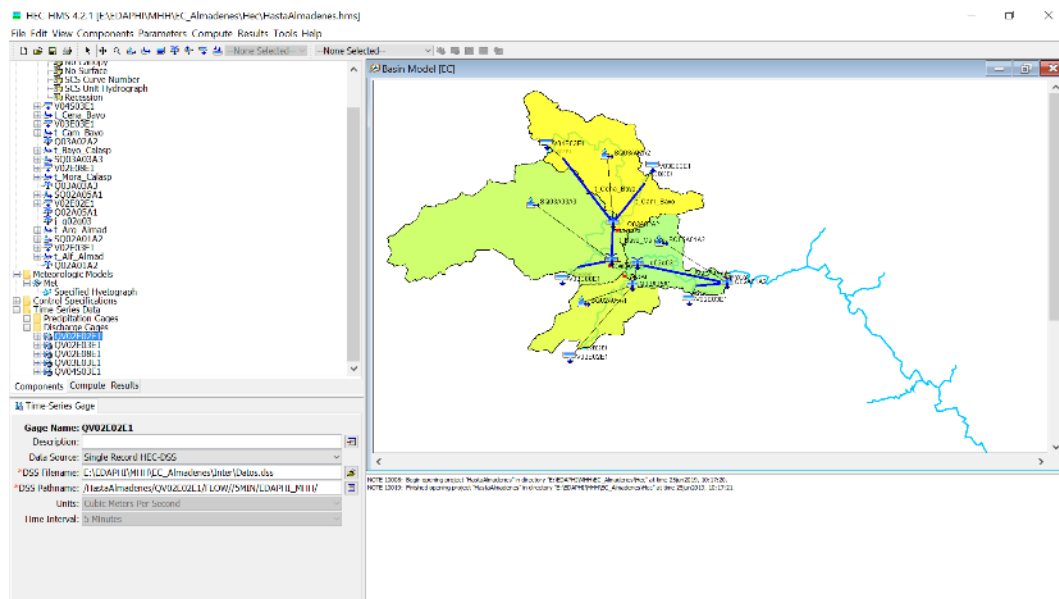


Figura 11-6.- Ventana del modelo Hec-HMS

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 que se almacena en la subcarpeta *Intercambios*. Entre los comandos que ofrece MHH 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

11.7.2.1 Modelos contemplados

No se ha implementado la interacción con todos los modelos posibles de la aplicación Hec-HMS. En la versión actual de MHH puede modelarse las cuencas con hidrograma unitario, indicando el desfase (Lag), con curva de recesión para el caudal base (parámetros Q_0 , Q_{th} y K), y como función de pérdidas se ha elegido en número de curva (C_n) y el umbral de escorrentía (P_0).

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.

11.7.3 Nodos

MHH opera con nodos de tipo S, Q y V (ver manual de usuario de EDAPHI). Estos nodos se almacenarán en archivos SHP en la carpeta SIG del caso.

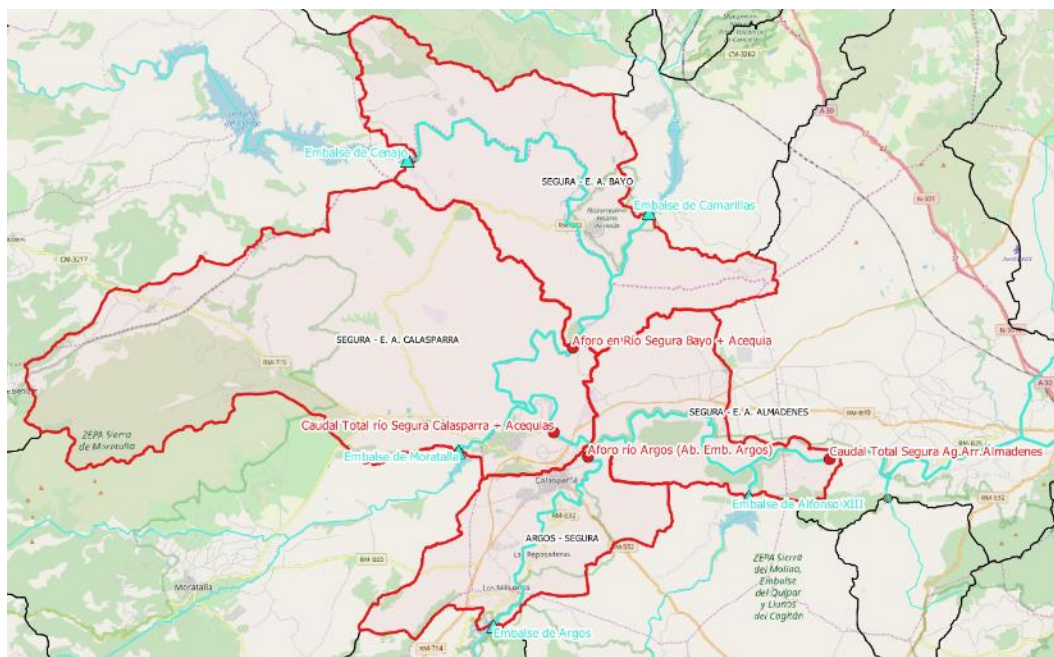


Figura 11-7.- Capas SIG de especificaciones de nodos tipo Q, V y S

11.7.4 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* del archivos *Datos.DSS*.

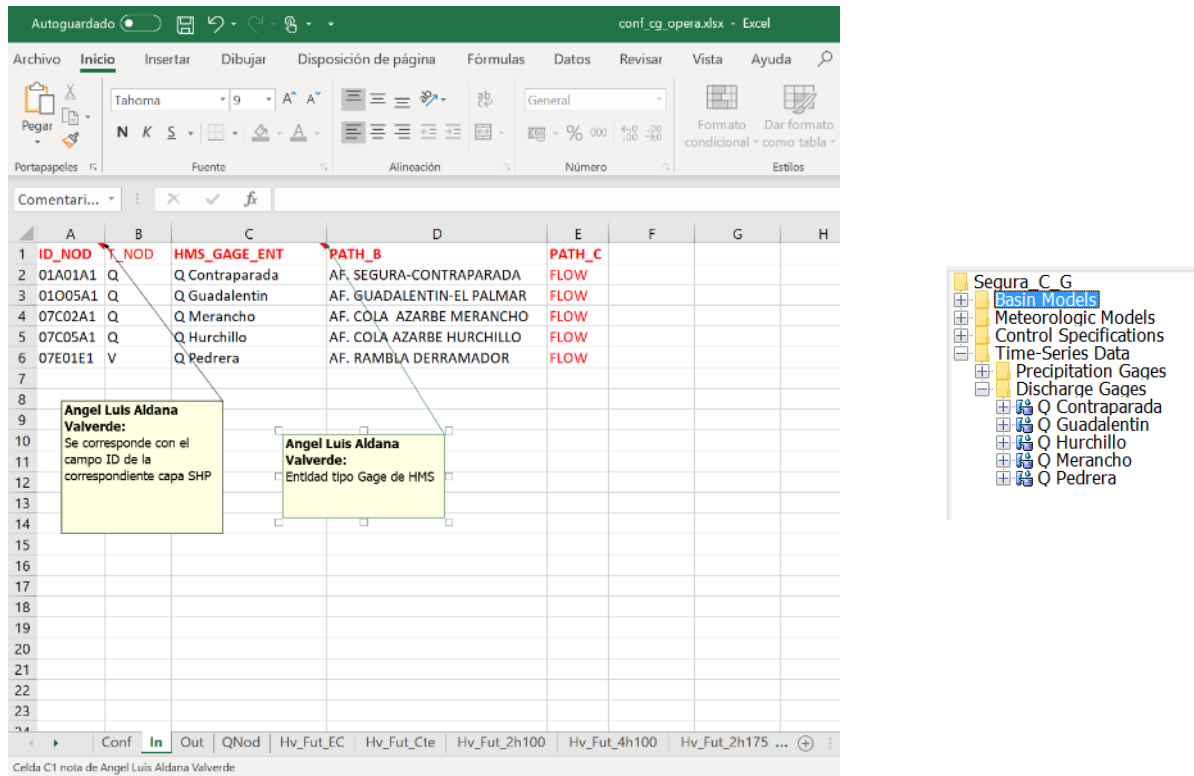


Figura 11-8.- Especificación de nodos con series temporales dato (entradas al sistema hidrológico) en la hoja *In* del archivo de configuración (izquierda) y en el modelo Hec-HMS (derecha)

11.7.5 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*

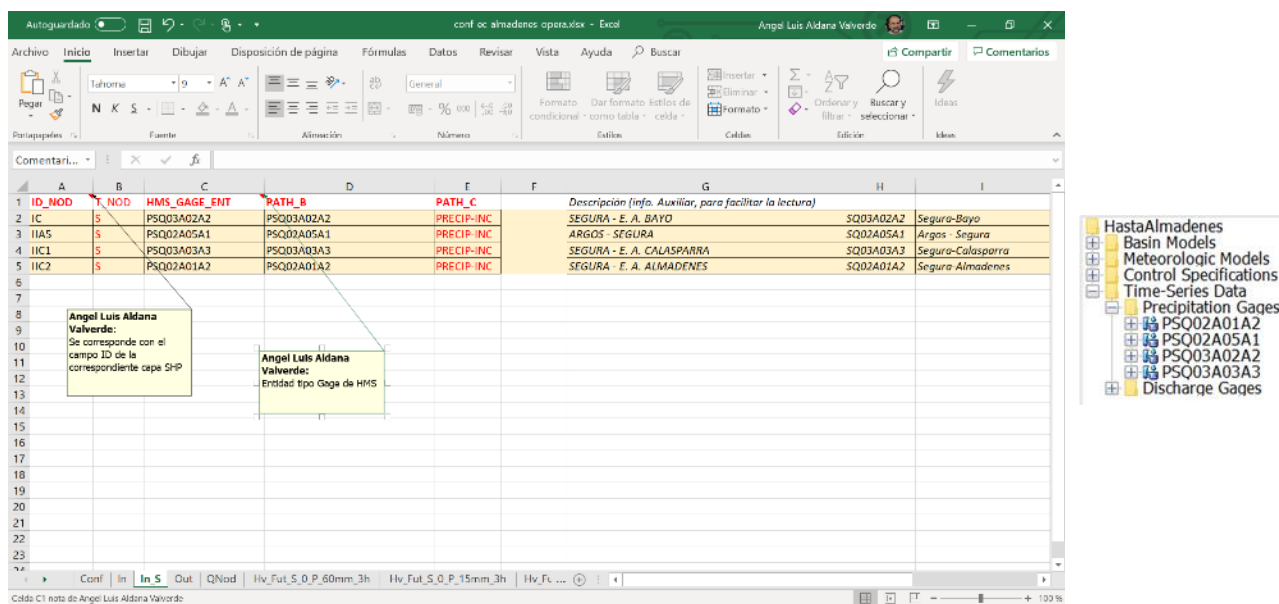


Figura 11-9.- Especificación de precipitaciones areales en la hoja In_S del archivo de configuración (izquierda) y en el modelo Hec-HMS (derecha)

En la hoja *Conf* se especificará el origen de los datos de precipitación en tiempo pasado, que se almacenarán en un archivo de series temporales (formato EDAPHI), en una fila como la siguiente:

N_ARCH_PRECPA S_XLSX	%EDAPHI_DIR%\Prec\Res\5mi n\areales.xlsx	Archivo XLSX con los datos de lluvias pasadas en subcuencas
-------------------------	---	---

11.7.6 Caudales y niveles en nodos tipo Q

MHH ofrece 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 general (carpeta *%EDAPHI_DIR%\ST*)

El tipo de transformación se indica en la columna encabezada con *T_CQ*.

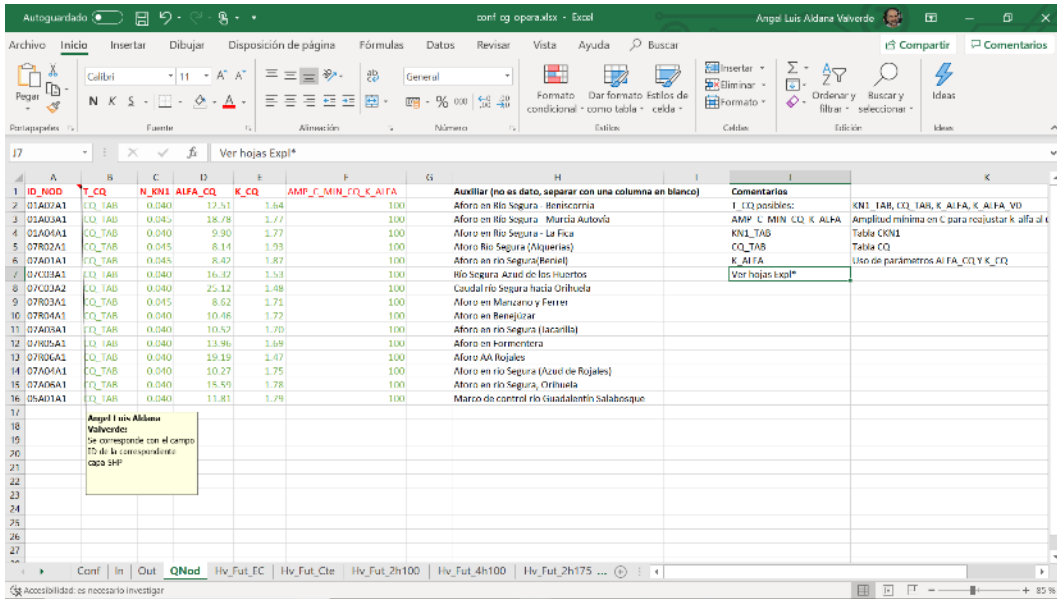


Figura 11-10.- Indicación de método de cálculo de caudales en nodos de tipo Q

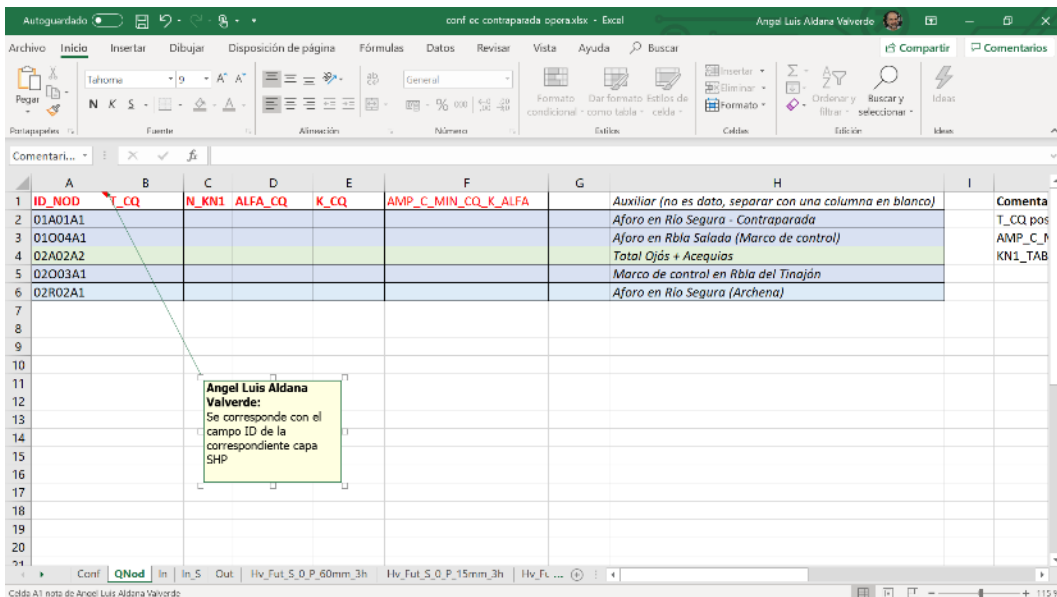


Figura 11-11.- Especificaciones en blanco si se desea que MHH busque los caudales entre las series temporales dato

11.7.6.1 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.

Estación	05A01A1	01A02A1	01A03A1	01A04A1	07R02A1	07A01A1	07C03A2
Q	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
h	0.66	0.63	0.05	0.02	0.01	0.55	1.45
h	1.21	3.15	0.06	0.02	0.02	0.65	1.47
h	1.43	6.30	0.07	0.03	0.03	0.78	1.48
h	1.95	15.75	0.09	0.04	0.04	0.93	1.50
h	2.62	58.57	0.10	0.05	0.05	1.10	1.52
h	3.16	83.22	0.12	0.07	0.06	1.29	1.54
h	3.64	109.48	0.13	0.08	0.07	1.50	1.56
h	4.08	133.55	0.14	0.09	0.08	1.72	1.57
h	4.48	155.43	0.15	0.10	0.09	1.96	1.59
h	4.86	172.53	0.16	0.11	0.10	2.21	1.61
h	5.21	187.67	0.18	0.13	0.11	2.47	1.63
h	5.55	201.84	0.20	0.15	0.12	2.75	1.65
h	5.87	214.71	0.21	0.17	0.13	3.03	1.67
h	6.18	226.78	0.25	0.22	0.14	3.33	1.68
h	6.46	237.36	0.26	0.24	0.15	3.64	1.70
h			0.28	0.27	0.16	3.96	1.72
h			0.30	0.30	0.17	4.29	1.74
h			0.34	0.37	0.18	4.62	1.76

Figura 11-12.- Tablas de curvas de gasto en estaciones de aforos

11.7.6.2 Tablas KN1

Los cálculos pueden realizarse con el uso de una tabla nivel-conductividad específica (KN1)-Rugosidad (tabla C-KN1-n)

Donde:

$$KM = A * Rh^{2/3} * I^{1/2}$$

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 QNod.

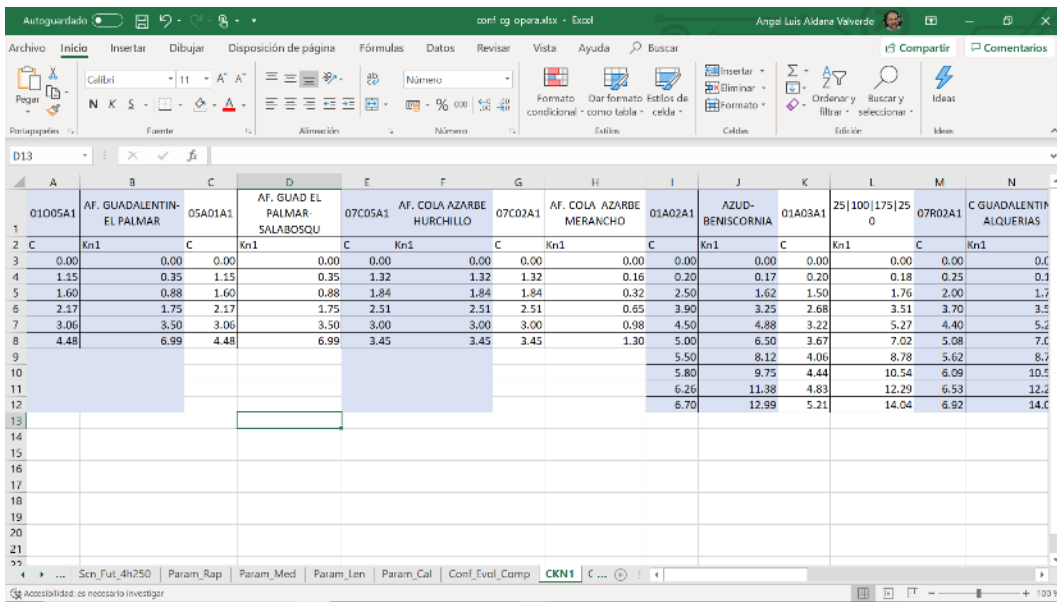


Figura 11-13.- Almacenamiento de tablas CKn1 en el archivo de configuración

11.7.6.3 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 de tiempo a cambiar la configuración del modelo.

En este caso, se indicará, además del valor *K_ALFA_VO* 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.

11.7.7 Salidas de resultados

El módulo MHH genera salidas de caudales o niveles (si están disponibles). Las especificaciones se indican en la hoja *Out*.

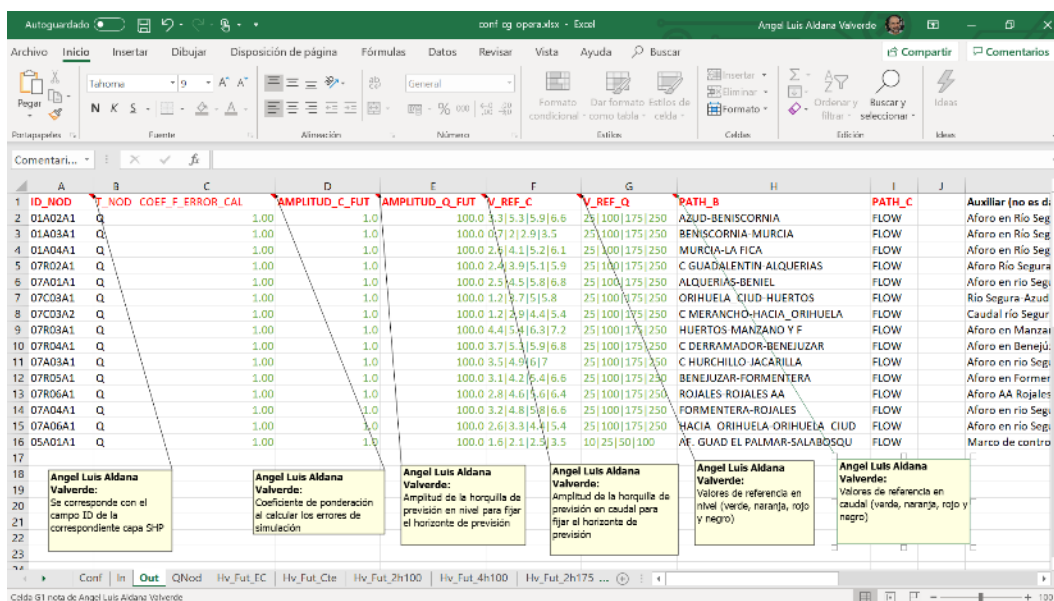


Figura 11-14.- Hoja Out para especificar los resultados

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.

11.7.8 Configuración de MHH para análisis o para previsión operacional en tiempo real

MHH ha sido diseñado para uso en tiempo real, para lo cual partirá de los datos de series temporales incluidos en la carpeta EDAPHI\ST para las series tipo C, Q y S (ver manual de usuario de EDAPHI). Las precipitaciones en subcuencas puede leerlas de un archivo configurable. Para estos casos, la ejecución constará de las siguientes fases:

- Simulaciones en tiempo pasado (Escenarios tipo PAS)
- 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 MHH simplemente como herramientas de análisis (comando *calc_sim*), la configuración se realizará con escenarios de tipo ST.XLSX, y todas las series de entrada se almacenan en un archivo XLSX situado en la carpeta de caso.

11.7.9 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_*.

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 11.8.

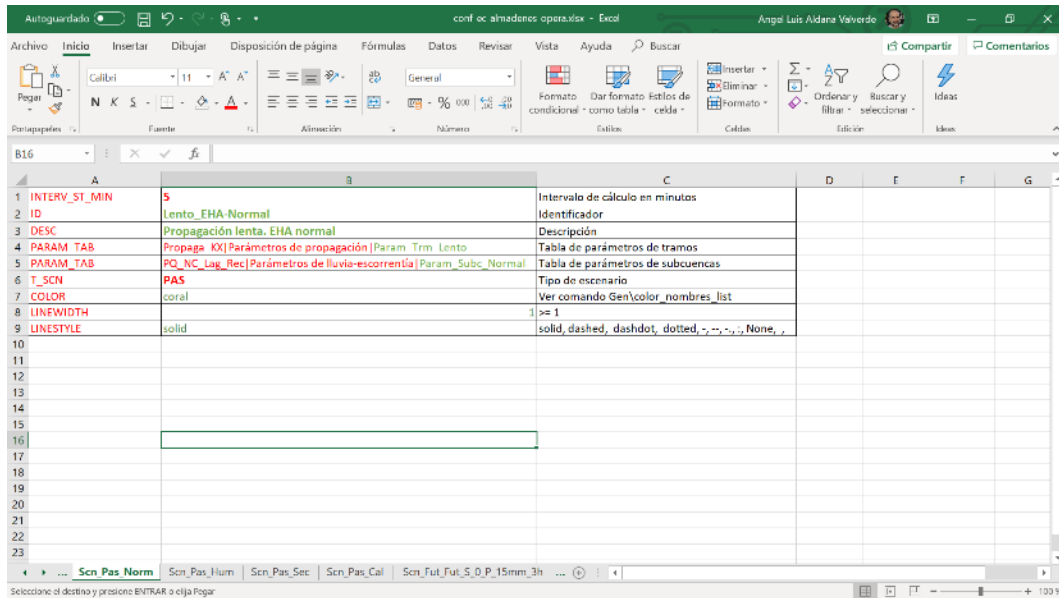


Figura 11-15.- Hoja de definición de un escenario pasado

11.7.9.1 Parámetros de subcuencas

Se aconseja usar la denominación que empiece por *Param_Subc_* para las hojas que almacenen los parámetros de modelación de subcuencas.

	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. Conarillas - 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		Moratalla-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. Judia - 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_Moro_Blanca	2.87	0.25	19		E. Moro - 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. Ojós	4.90	147.00	119.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.57
14 t_Ojos_Archeria	2.72	0.25	18		Af. Ojós - Af. Archeria	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. Archeria	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. Archeria - Af. Contraparado	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 Salado - Af. Contraparado	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. Contraparado	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. Contraparado	15.00	117.00	87.00	0.04	0.50	1.00	0.25	0.20

Figura 11-17.- Hoja de especificación de parámetros de modelación de tramos en escenarios tipo PAS o ST.XLSX

11.7.10 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} .

11.7.10.1 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.

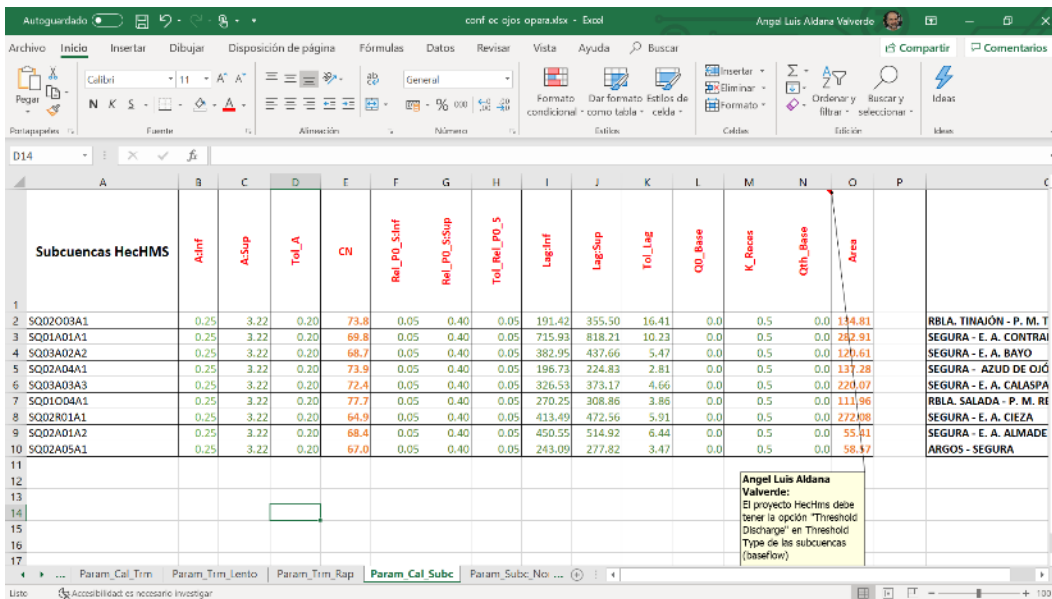


Figura 11-18.- Hoja de especificación de parámetros de modelación de subcuencas en escenarios tipo CAL

11.7.10.2 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.

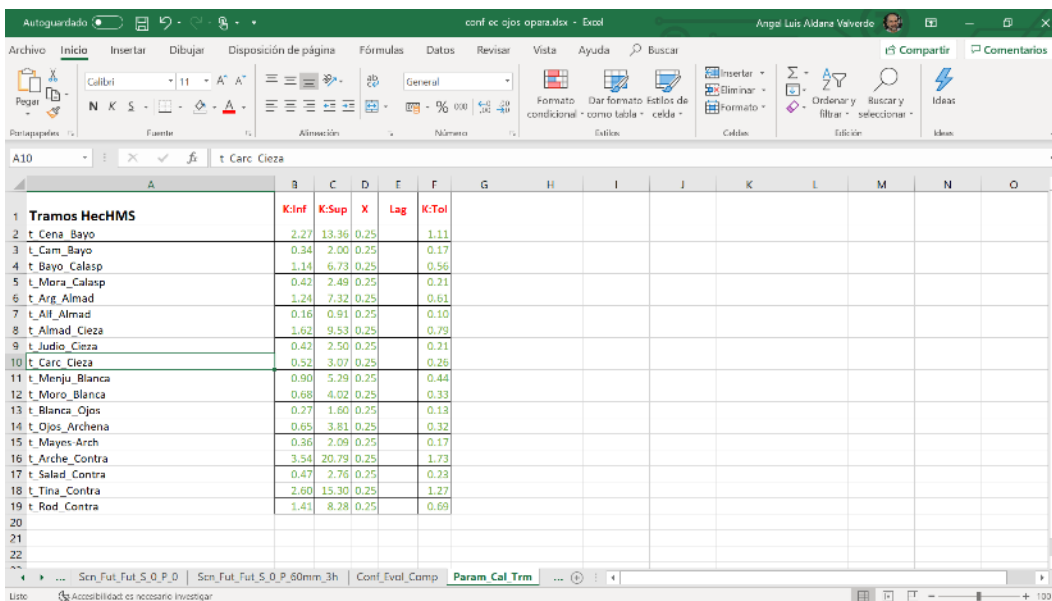


Figura 11-19.- Hoja de especificación de parámetros de modelación de tramos en escenarios tipo CAL

11.7.10.3 Parámetros del algoritmo de computación evolutiva

Los parámetros del algoritmo de computación evolutiva usado para la calibración automática de parámetros se especifican en la hoja denominada Conf_Evol_Comp.

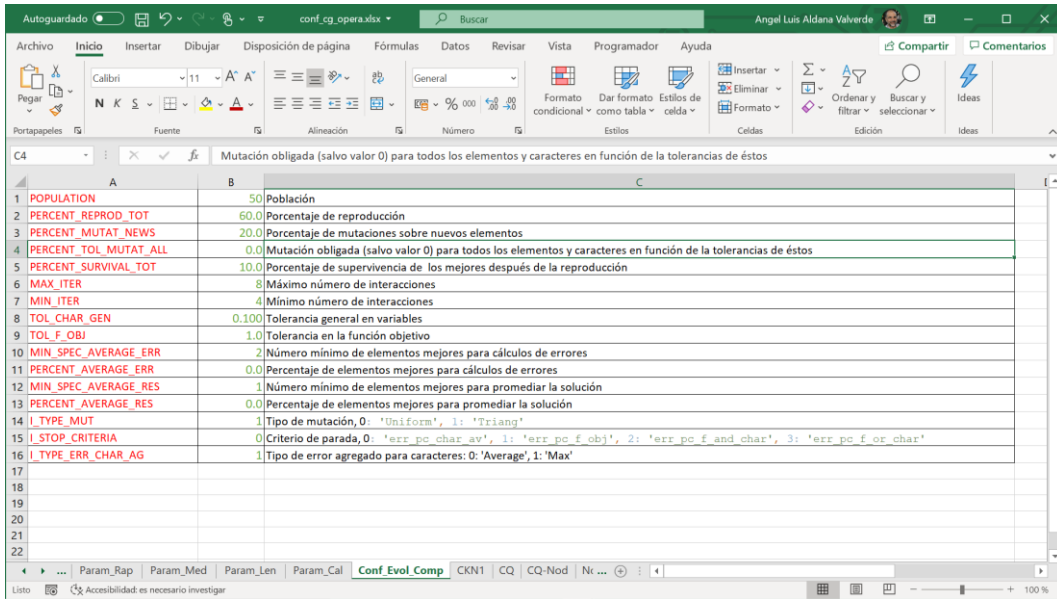


Figura 11-20.- Hoja para especificación de los parámetros del algoritmo de computación evolutiva

11.7.11 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 (la aplicación informará sobre el escenario pasado seleccionado como más apropiado para la simulación). Sus especificaciones básicas se indicarán en hojas cuyo nombre empiece por *Scn_Fut_*.

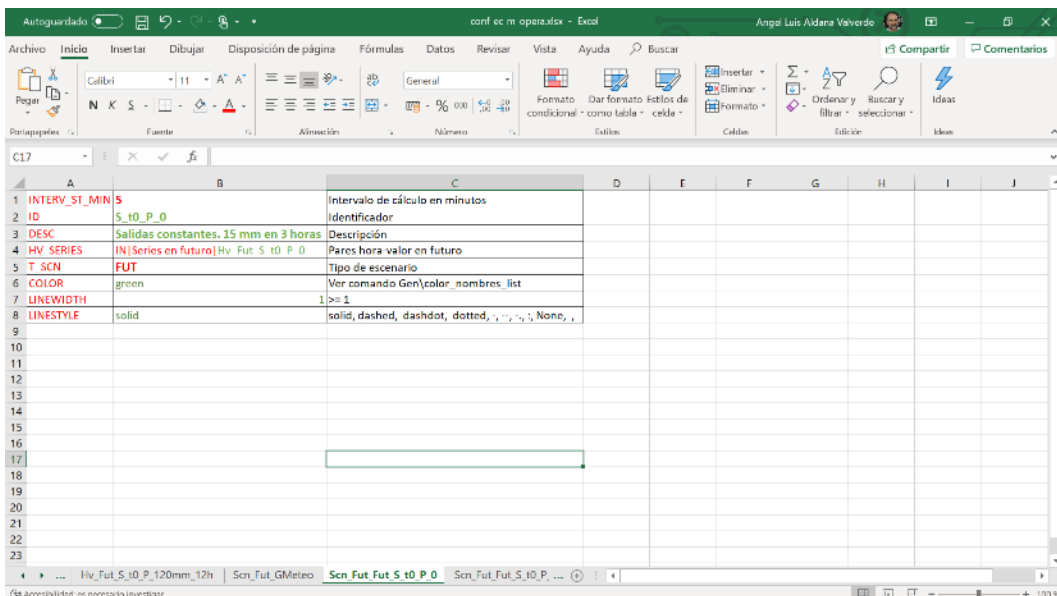


Figura 11-21.-Definición básica de escenario de futuro

11.7.11.1 Definición o especificaciones de series en futuro

Las 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). Si se indica *V_TO* como valor, éste se interpretará como el valor actual (en el instante actual o *t0*).

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.

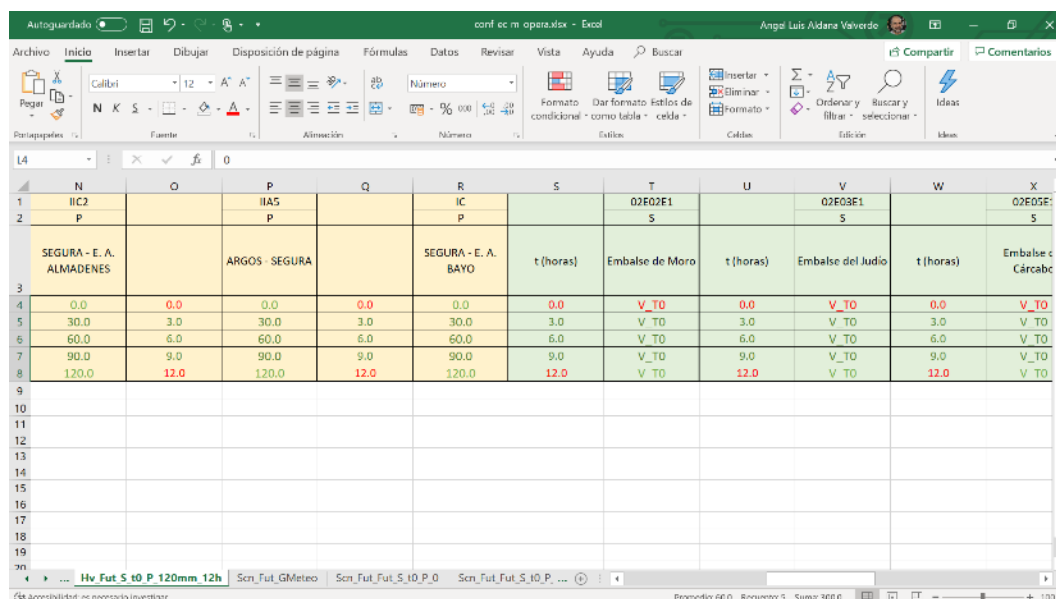


Figura 11-22.- Definición de series temporales en futuro

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 11-23). Si en lugar de un valor numérico o el texto *VT_0* encuentra el texto *EDAPHI-GMeteo*, MHH 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) MHH buscará en el archivo de series resultado la serie correspondiente.

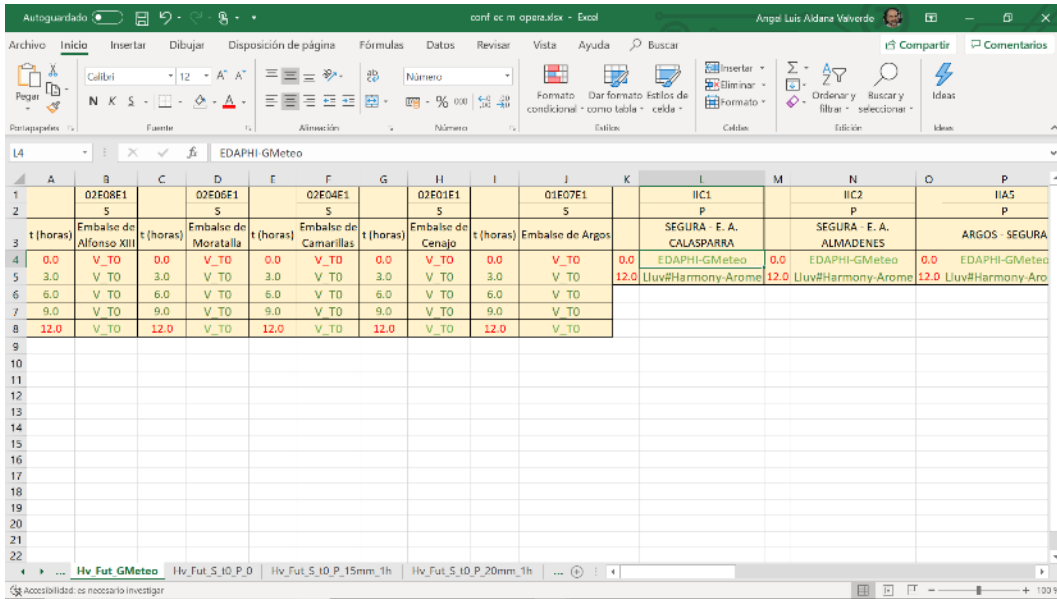


Figura 11-23.- Referencia a valores futuros de lluvia generados por otro módulo

11.7.12 Escenario de análisis (simulación)

Quando se dese usar MHH 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 en la carpeta de caso. Se indicará que se trata de un escenario tipo ST.XLSX, y el nombre del libro y la hoja del libro en la fila que se inicia con *SERIES_IN_ORIG*.

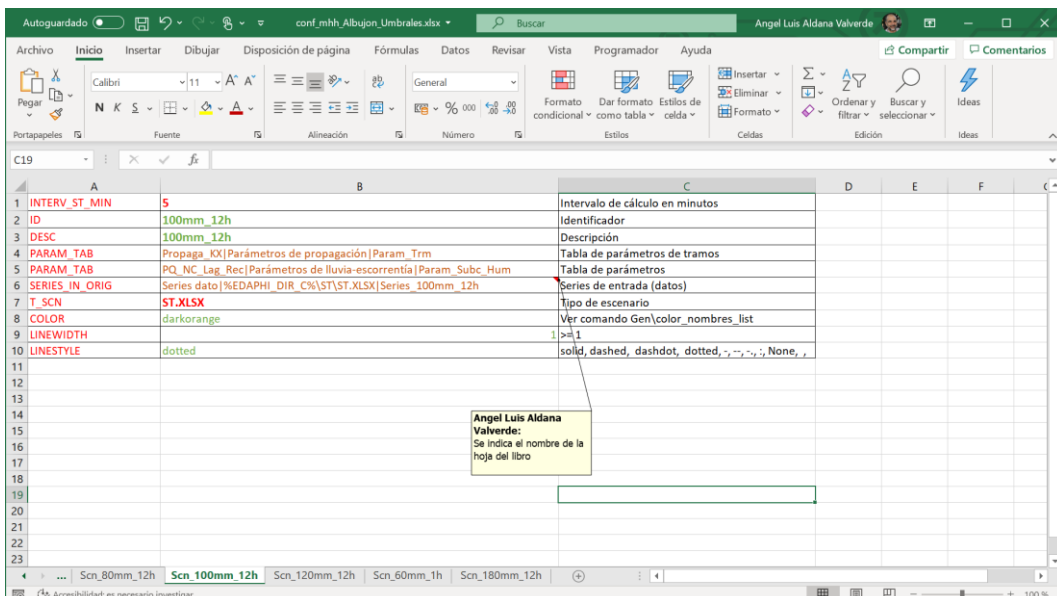


Figura 11-24.- Definición de escenario de análisis o simulación (tipo ST.XLSX)

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)

11.8 Modelación hidrológica

11.8.1 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 calcula 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).

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

$$NC = 25400 / (254 + S)$$

Con él, el volumen de escorrentía acumulado se calcula a partir de la precipitación acumulada según:

$$E = (P - P_0)^2 / (P - P_0 + S) , \text{ si } P > P_0, 0 \text{ en otro caso}$$

P_0 es el umbral de escorrentía. 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 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. En este caso, la aplicación GCuencas proporciona este valor a partir de la información de base.

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

$$NC_I = 4.2 * NC / (10 - 0.058 * NC)$$

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

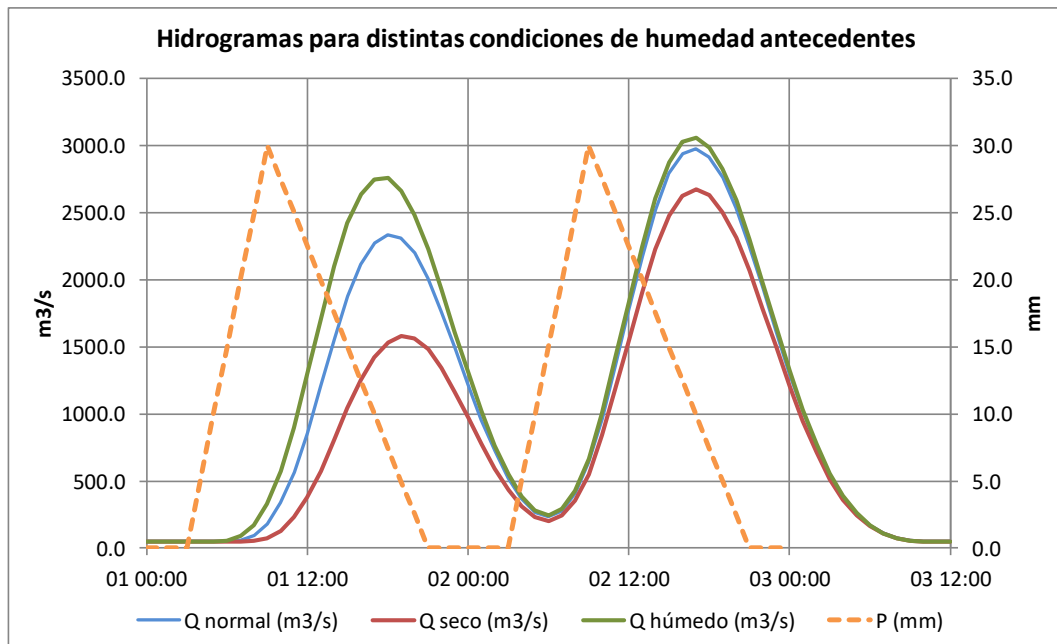


Figura 11-25.- Importancia del estado de humedad antecedente en una cuenca. Gráfica obtenida del archivo "Saturación y PE.xslm" que forma parte de la documentación de EDAPHI.

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

$$a = S/Sa$$

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

$$NCa = a \cdot 100 \cdot NC / (100 + (a-1) \cdot NC)$$

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.

$$NC_I = 4.2 \cdot NC / (10 - 0.058 \cdot NC), a = 0.42$$

$$NC_{III} = 23 \cdot NC / (10 + 0.13 \cdot NC), a = 2.3$$

11.8.2 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"). Concretamente, 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.

11.8.3 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”)

11.8.4 Flujo en canales

Para el flujo en canales (tramos de ríos) 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”.

11.8.5 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 14). Aunque con ayuda de un SIG pueden obtenerse fácilmente, especialmente si se cuenta con las subcuencas y tramos definidos geográficamente.

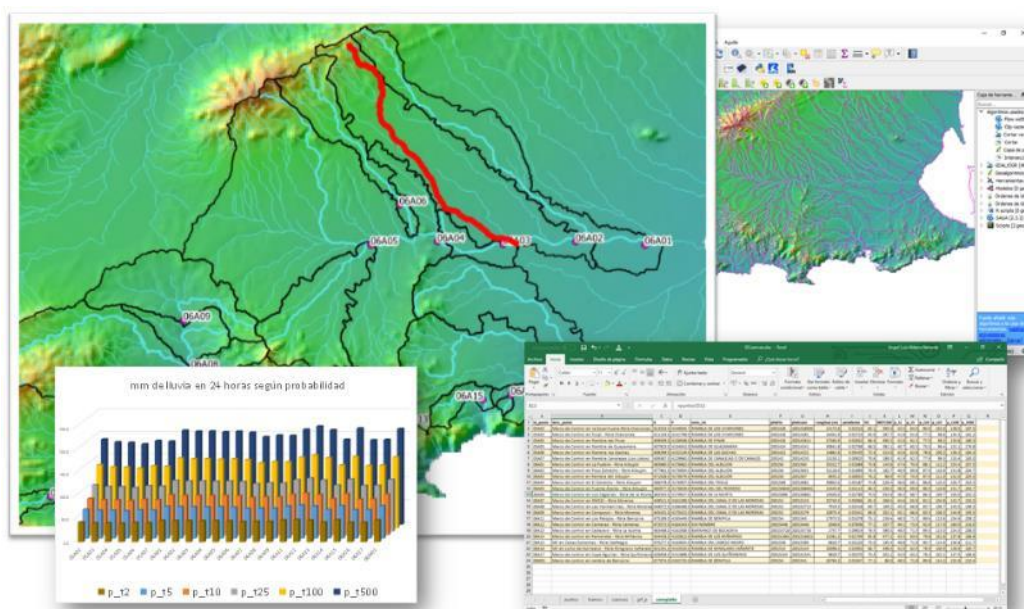


Figura 11-26.- Caracterización hidrológica basada en los resultados de EDAPHI-GCuencas

11.8.6 Establecimiento de parámetros de modelación

Las mismas hojas de configuración de parámetros son autoexplicativas, indican el proceso de obtención de los parámetros de modelación. 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 según las utilidades anteriores son una primera aproximación, que después habrá que calibrar. El modelo MHH ofrece varias alternativas para esto, desde la consideración de varios escenarios pasados hasta las capacidades de calibración automática de parámetros.

11.8.6.1 Parámetros de subcuencas

Subcuenca	Lag	Q0_Base	K_Reces	Q01_Base	CN	Ch1a	P0a	Area
Subc0GA01	611	0.0	0.5	0.0	75.80	87.8	7.05	60.30
Subc0GA02	543	0.0	0.5	0.0	76.37	88.1	6.83	116.46
Subc0GA03	306	0.0	0.5	0.0	76.20	88.0	6.90	12.79
Subc0GA04	525	0.0	0.5	0.0	74.80	87.2	7.44	259.36
Subc0GA05	266	0.0	0.5	0.0	66.47	82.0	11.14	54.66
Subc0GA06	319	0.0	0.5	0.0	74.96	87.3	7.38	34.48

Control Point	m	Ch1a	Q0	P0a
Marco de Control en La Puebla - Rbla Albuji6n	2.30	87.81	35.25	0.20
Marco de Control en Pozo Estrecho - Rbla Albuji6n	2.30	88.14	34.17	0.20
Marco de control en Rambla del Albuji6n	2.30	88.04	34.50	0.20
Marco de Control en El Estrecho - Rbla Albuji6n	2.30	87.22	37.21	0.20
Marco de Control en Fuente 6lamo - Rbla Albuji6n	2.30	82.01	55.71	0.20
Marco de Control en Las Cegarras - Rbla de la Murta	2.30	87.32	36.89	0.20

Figura 11-27.- Ejemplo de hoja de configuración de parámetros de subcuena del módulo MHH

Las hojas de configuración de parámetros de subcuencas del módulo MHH del ejemplo proponen unos valores obtenidos según criterios de hidrología de diseño, aunque serán parámetros a calibrar. El módulo MHH está diseñado para que los parámetros de calibración sean:

$$a, P0a \text{ y } Tc$$

A los que se suman los del caudal de recesión, que, generalmente, tendrán una influencia menor en la respuesta de la cuenca.

11.8.6.2 Parámetros de tramos

También para el caso del establecimiento de parámetros de propagación del flujo en tramos de ríos se pueden incluir columnas autoexplicativas que proporcionen ayuda para fijar unos valores iniciales (ver figura siguiente).

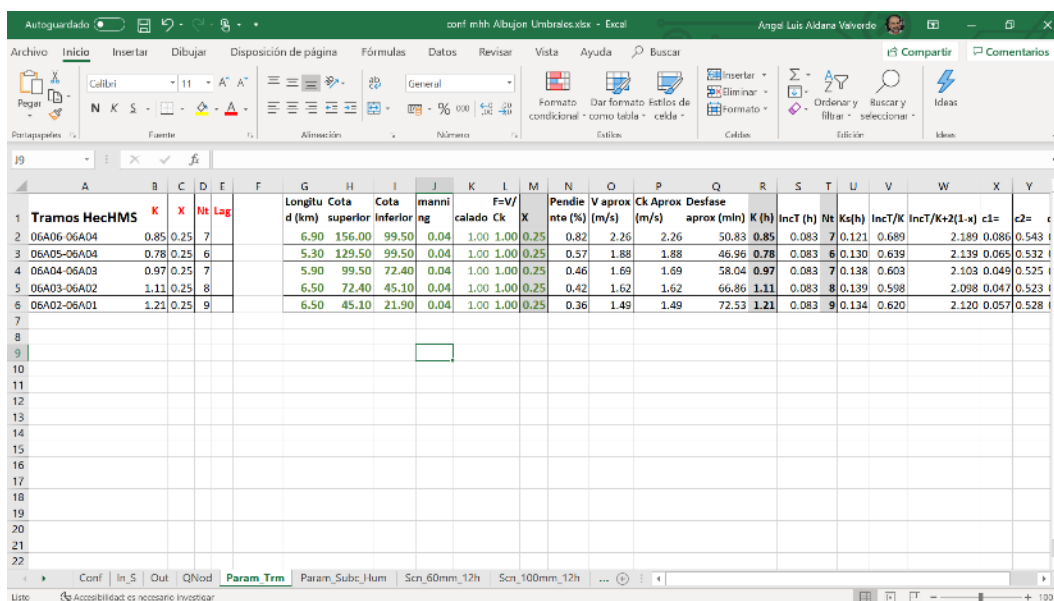


Figura 11-28.- Ejemplo de ventana de configuración de parámetros de propagación de tramos

Hay parámetros en estas hojas que pueden considerarse características físicas: longitud, pendiente (o cota superior y cota inferior). Los parámetros relevantes que se consideran susceptibles de calibración serían la rugosidad de Manning, el calado representativo, el número de Froude (F) y el parámetro X . Los primeros se emplearían para obtener un valor de K .

11.9 Hipermódulo MHH-H. Hipermódulos basados en modelos MHH

El módulo MHH permite tratar, generando hipermódulos, de forma dividida un área geográfica, un sistema hidrológico, en varios subsistemas. De ese modo, un sistema complejo puede ser analizado por partes, lo que facilita tareas tales como la calibración de parámetros. Otra ventaja está en que abre la posibilidad de procesamiento en paralelo de cada subsistema, lo que reduce los tiempos de cálculo.

En modo de uso en tiempo real, MHH-H lanza submodelos MHH y control 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 hipermódulo usa los parámetros seleccionados o establecidos por los submodelos y los emplea en los cálculos de pronóstico. Al usar el hipermódulo para el pronóstico se logra prolongar los tiempos de previsión, de acuerdo con el empleo del concepto de divergencia máxima admisible.

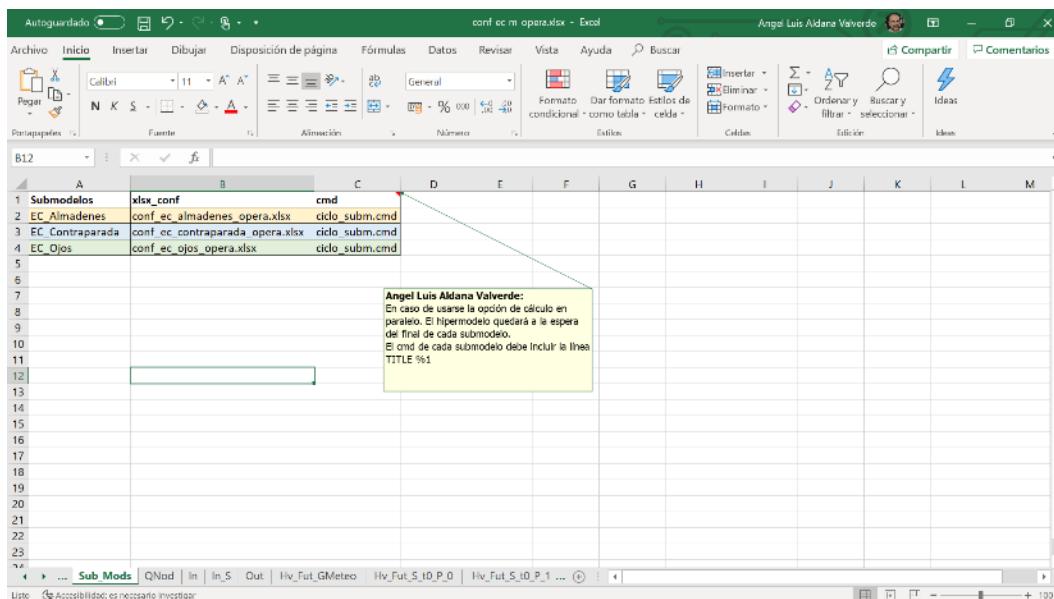


Figura 11-30.- Configuración de un hipermodelo MHH-H

11.10 Uso de comandos comunes

Para este módulo resultan especialmente interesantes los comandos generales (capítulo 7) *scn* 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_operas.xlsx -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 11-31: Ejemplo de resultado del comando *scn -list_s*


```

MHH en E:\EDAPHI\MHH\CG>scn xlsx_conf=conf_cg_opera.xlsx -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_opera.xlsx|Hv_Fut_EC, Hv_Fut_EC (para salida AEMET-EC)
FUT, E:\EDAPHI\MHH\CG\conf_cg_opera.xlsx|Hv_Fut_Cte, Hv_Fut_Cte (para salida Fut_QCte)
FUT, E:\EDAPHI\MHH\CG\conf_cg_opera.xlsx|Hv_Fut_2h100, Hv_Fut_2h100 (para salida Fut_2h100)
FUT, E:\EDAPHI\MHH\CG\conf_cg_opera.xlsx|Hv_Fut_4h100, Hv_Fut_4h100 (para salida Fut_4h100)
FUT, E:\EDAPHI\MHH\CG\conf_cg_opera.xlsx|Hv_Fut_2h175, Hv_Fut_2h175 (para salida Fut_2h175)
FUT, E:\EDAPHI\MHH\CG\conf_cg_opera.xlsx|Hv_Fut_4h175, Hv_Fut_4h175 (para salida Fut_4h175)
FUT, E:\EDAPHI\MHH\CG\conf_cg_opera.xlsx|Hv_Fut_2h250, Hv_Fut_2h250 (para salida Fut_2h250)
FUT, E:\EDAPHI\MHH\CG\conf_cg_opera.xlsx|Hv_Fut_4h250, Hv_Fut_4h250 (para salida Fut_4h250)

```

Figura 11-32: Ejemplo de resultado del comando scn -list_s

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_Albujon_Umbrales.xlsx
  -plt_nod t=P attr=Q id_nod=06A06
xlsx_conf=conf_mhh_Albujon_Umbrales.xlsx

```

Así, un comando como

```

mod -plt_nod t=P attr=Q id_nod=06A06
xlsx_conf=conf_mhh_Albujon_Umbrales.xlsx

```

mostraría las ventanas de series temporales del 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 Albujón,683680.000000,4176662.000000,QNode,out
06A02,Marco de Control en Pozo Estrecho - Rbla Albujón,677961.000000,4176904.000000,QNode,out
06A03,Marco de control en Rambla del Albujón,671928.000000,4176679.000000,QNode,out
06A04,Marco de Control en El Estrecho - Rbla Albujón,666478.000000,4176907.000000,QNode,out
06A05,Marco de Control en Fuente Álamo - Rbla Albujón,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 Albujón,656458.139003,4178144.281732,SNode,in
Subc06A05,Marco de Control en Fuente Álamo - Rbla Albujón,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 Albujón,667011.676100,4183530.769951,SNode,in
Subc06A03,Marco de control en Rambla del Albujón,669001.214389,4176417.683558,SNode,in
Subc06A01,Marco de Control en La Puebla - Rbla Albujón,672389.187966,4183675.410366,SNode,in

- Nota: es posible que algunos nodos sean generados por el mismo módulo
```

Figura 11-33.- Ejemplo de resultado del comando mod -l_nods

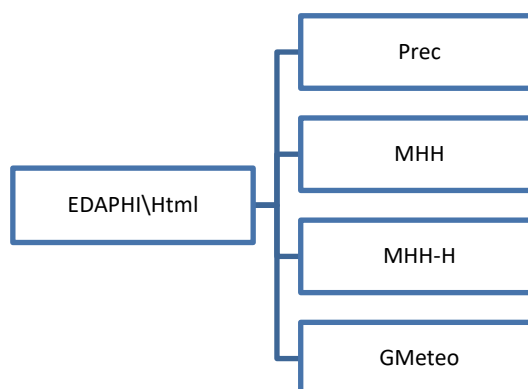
12 EDAPHI-Web

12.1 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.

12.2 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.

12.3 Implementación de las páginas

Las páginas son muy sencillas. Su modificación no requiere conocimientos avanzados. Se han implementado escritas directamente con un editor de texto en lenguaje Html, incorporando algunos bloques con funciones JavaScript.

12.4 Resultados de cada módulo

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*

Sin embargo, en la subcarpeta de los módulos pueden encontrarse algunos archivos que se generan específicamente, y serán almacenados en las carpetas *Res\Html* (ver "EDAPHI. Manual de usuario").

12.4.1 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/el tiempo/prediccion/modelosnumericos/harmonie_arome</VALUE>
  </PARAM>
</PARAMS_EDAPHI>
```

Las páginas Html cuentan con código JavaScript para la lectura y uso de estos archivos.

12.4.2 Tablas de series temporales en formato html

En algunas subcarpetas pueden encontrarse tablas que contienen la información de series temporales. Es el caso de las tablas *t_a_#min.html* que genera Prec, por ejemplo.

12.5 Ejemplo del SAIH Segura

El sitio específico para los resultados EDAPHI es accesible desde la URL <http://www.saihsegura.es>, 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.

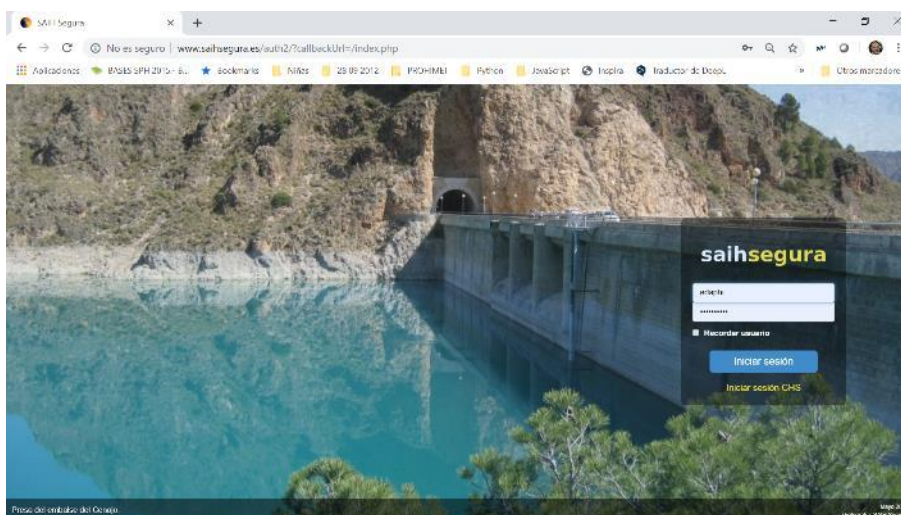


Figura 12-1.- Ventana de acceso al sitio a través de la url <http://www.saihsegura.es>

Una vez superada la autenticación del usuario se muestra la página que ofrece acceso a la información de cada módulo o caso de aplicación.

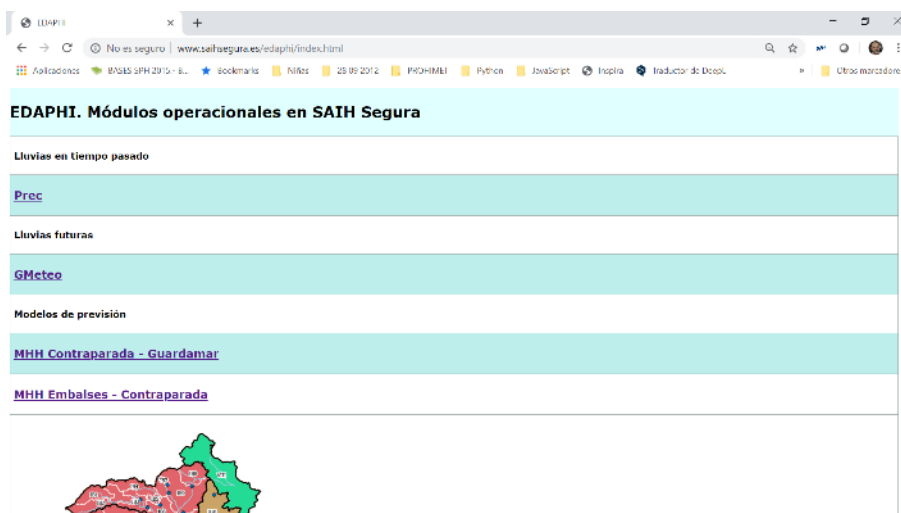


Figura 12-2.- Primera página. Acceso a los módulos y casos de aplicación

Algunas páginas ofrecen una primera síntesis y acceso a información de detalle, como la de Prec.

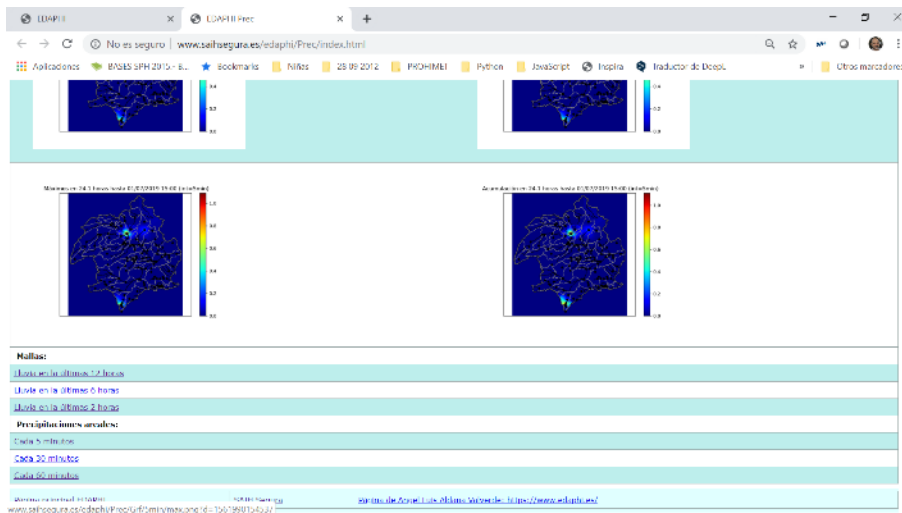


Figura 12-3.- Aspecto de la primera página del módulo Prec

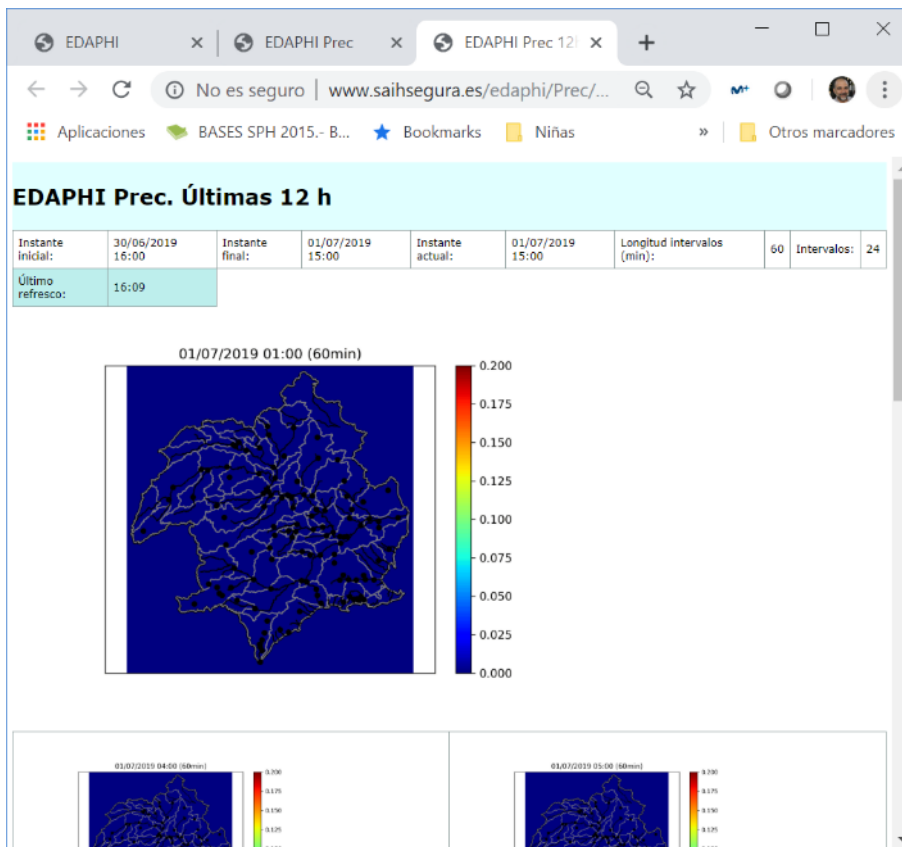


Figura 12-4.- Unas de las páginas de detalle del módulo Prec

El mismo módulo Prec genera tablas HTML que son usadas en el sitio.

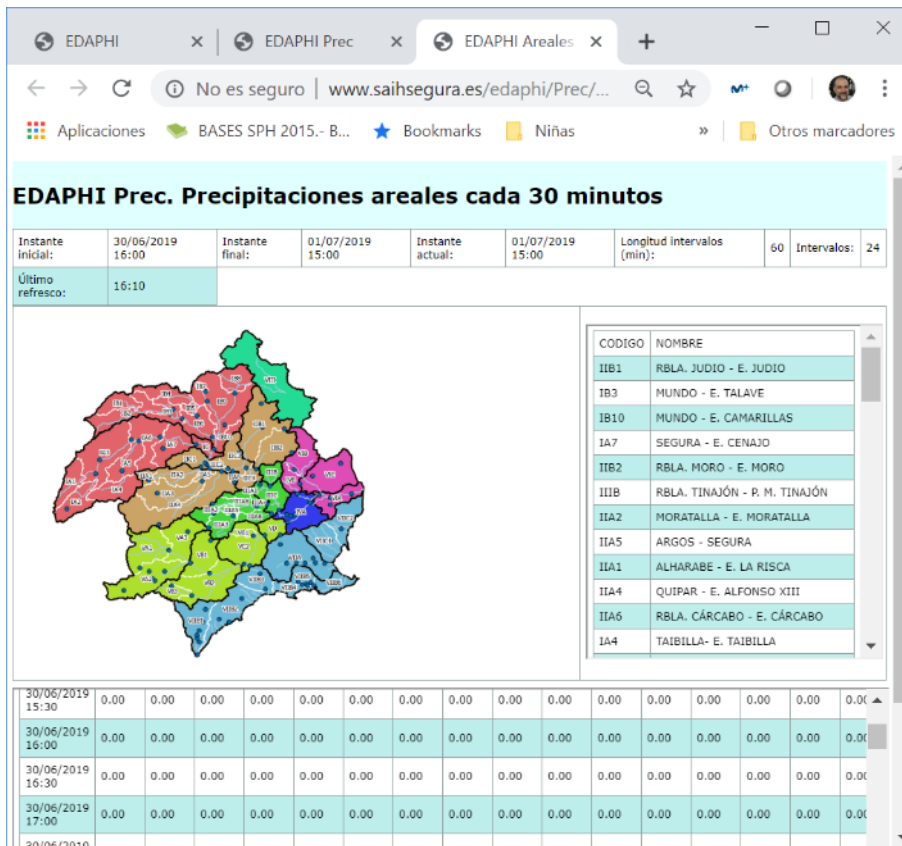


Figura 12-5.- Página de Prec con tablas de series temporales de precipitaciones areales

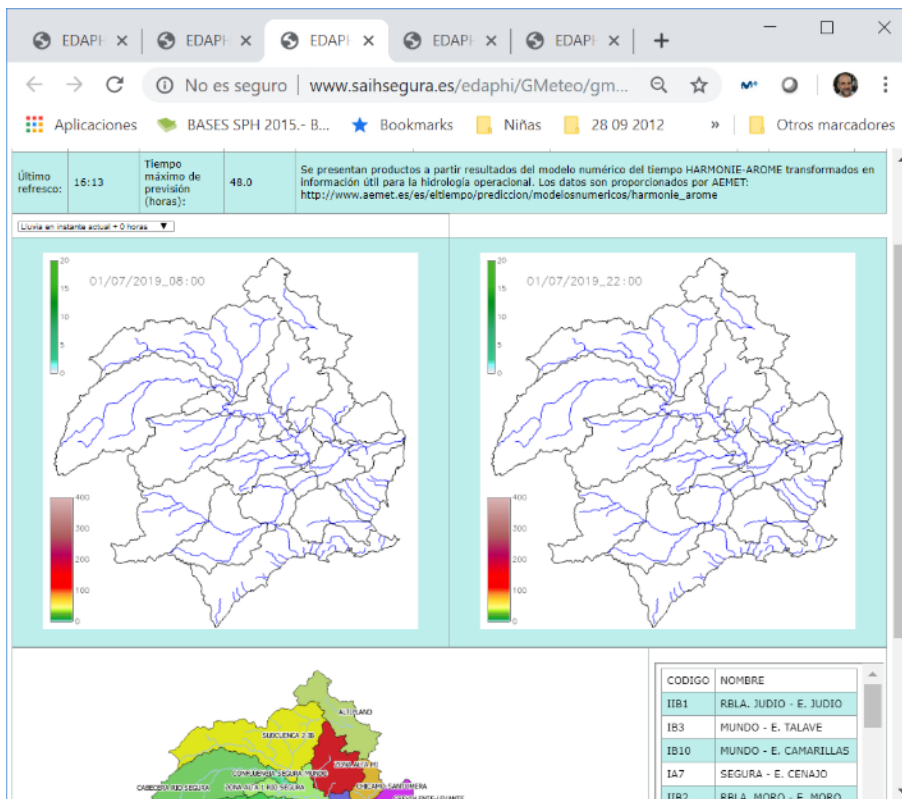


Figura 12-6.- Una de las páginas de GMeteo con animaciones Gif y acceso a gráficos de un intervalo específico

Los diferentes gráficos que genera MHH son presentados directamente en las páginas web de los casos de aplicación.

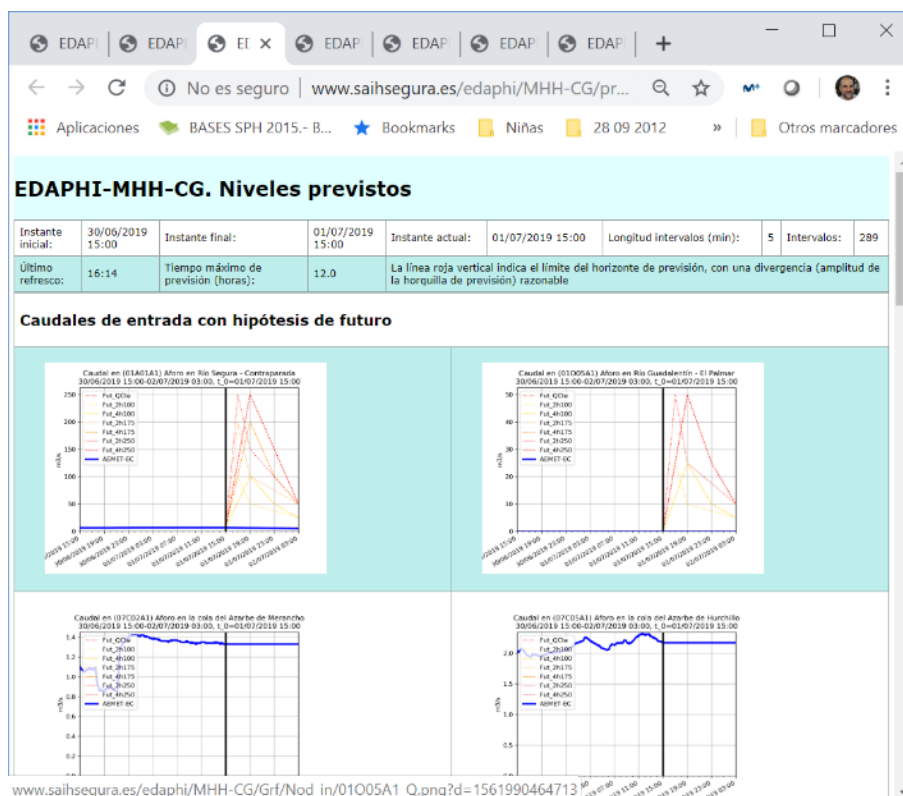


Figura 12-7.- Una de las páginas de consulta del módulo MHH

12.6 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.

Los comandos *arch_csv* o *arch_xls* pueden generar archivos HTML para su publicación web. Así, la ayuda del primer comando indica:

```
Argumentos:
-h:      Muestra estas líneas
-csv_to_html: Transforma un archivo CSV (tabla) en un HTML
           n_csv= Archivo CSV
           n_html=Archivo HTML
           n_css=Archivo CSS de estilos ('../EDAPHI.CSS' por defecto)
-test
Ejemplo:
-csv_to_html n_csv=E:\EDAPHI\Gen\Res\nod_Q.csv n_html=nod_Q.html
```

Y la de *arch_xlsx*:

```

Argumentos:
  -h:          Muestra estas líneas
  -xlsx_to_csv: Transforma un archivo XLSX a otro CSV. Se generará un
archivo por hoja. El nombre de la hoja se añadira, antes de la extensión y
precedido por _, al nombre del archivo CSV
                xlsx=Nombre del archivo XLSX
                csv=Nombre del archivo CSV
  -csv_to_xlsx: Transforma un archivo CSV a XLSX
                csv=Nombre del archivo CSV
                xlsx=Nombre del archivo XLSX
                n_sheet=Nombre de hoja (Datos, por defecto)
  -xlsx_to_html: Transforma una hoja de un archivo XSLX en otro HTML
                xlsx= Archivo CSV
                n_sheet=Nombre de la hoja
                n_html=Archivo HTML
                n_css=Archivo CSS de estilos ('../EDAPHI.CSS' por defecto)

-test
Ejemplos:
  -xlsx_a_csv xlsx="C:\Aforos\2019-09-11 La Dehesa\La Dehesa
19_09_11.xlsx" csv=prueba.csv
  -csv_a_xlsx csv=E:\EDAPHI\ST\st_gen_60min.csv xlsx=st_gen_60min.xlsx
  -xlsx_to_html xlsx=E:\EDAPHI\MHH\CG\Res\Nod\01A02A1.xlsx n_sheet=Series
html=MHH_01A02A1.html n_css=../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.

13 EDAPHI-GHR. Utilidades para la modelación hidráulica combinando Hec-Ras, Grass y otra posible aplicación SIG

13.1 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.

13.2 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 13.5)

13.2.1 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 fomato 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.

13.3 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.

13.3.1 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/>).

13.3.2 Estructura de archivos

13.3.2.1 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)

13.4 Instalación

La instalación se realizará como un módulo más del entorno EDAPHI que depende de la aplicación Grass (ver 5.5). 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.

13.5 Comandos

La instrucción *comandos* ofrece una lista de las utilidades disponibles.

Comando	Descripción
a_sdf	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_cmn	Ejecuta el módulo py de la librería general común que se indique como argumento

Tabla 13-1.- Comandos del módulo GHR

El comando *Ayuda* mostrará el archivo "Ayuda.txt" (ver ilustración siguiente)

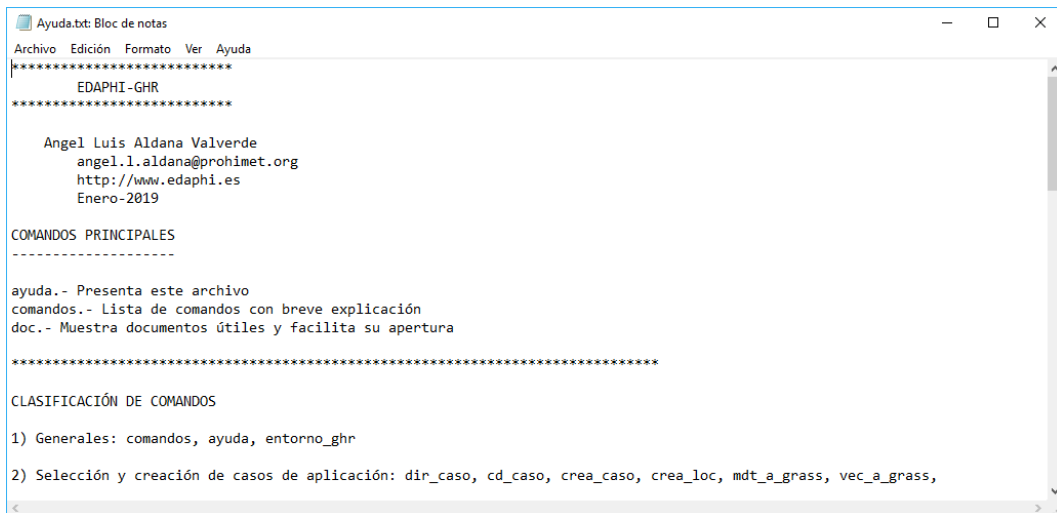


Figura 13-1.- Ventana de ayuda

El comando *doc* facilita el acceso a documentos relacionados con la aplicación.

13.5.1 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*

13.6 Uso de la aplicación

Dado que el uso de esta aplicación es algo más compleja, se extiende este apartado para ilustrar sus posibilidades.

13.6.1 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

13.6.2 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.

13.7 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.

13.7.1 Caso completo

13.7.1.1 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 6. 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

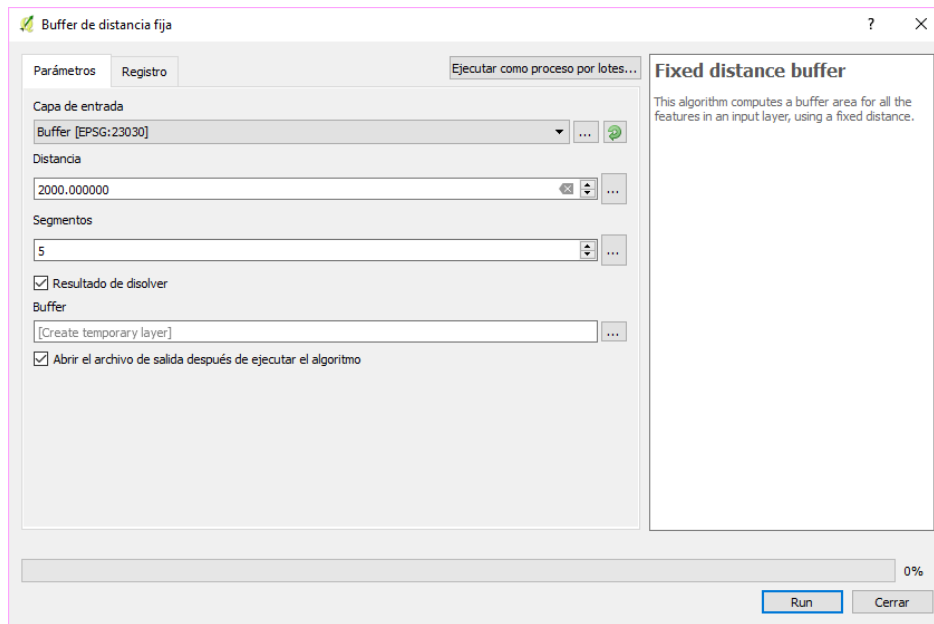


Figura 13-2.- Ventana de creación de "buffer de distancia fija"

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)

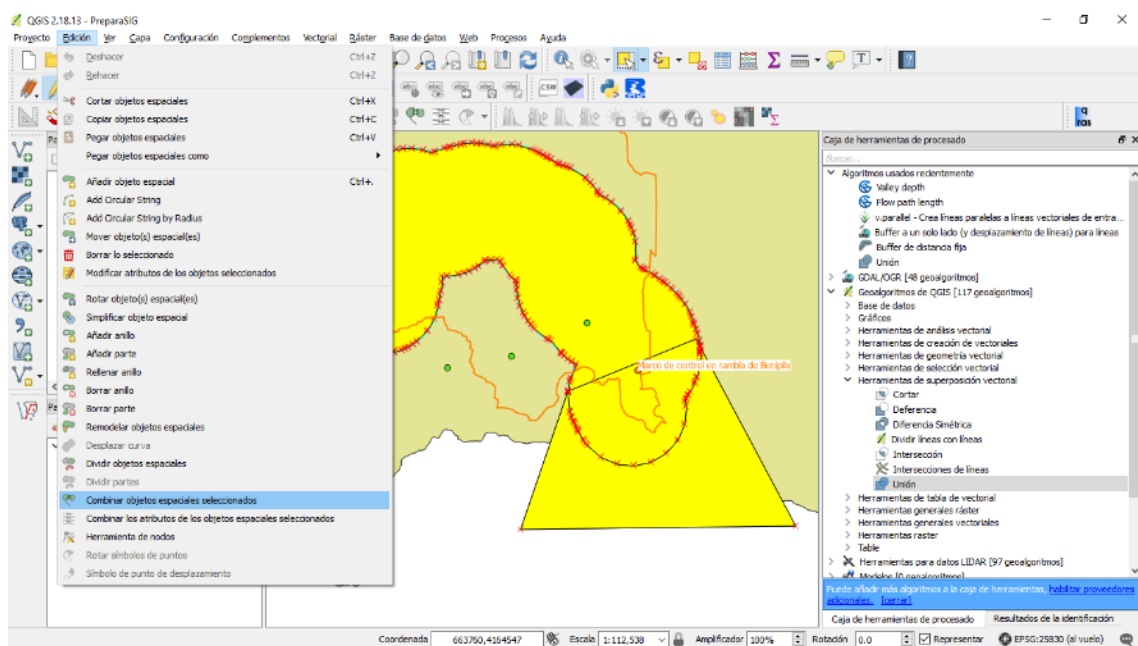


Figura 13-3.- Edición del área de recorte basada en el área buffer

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\Rambblas\Benipila\SIG\mdt.tif*

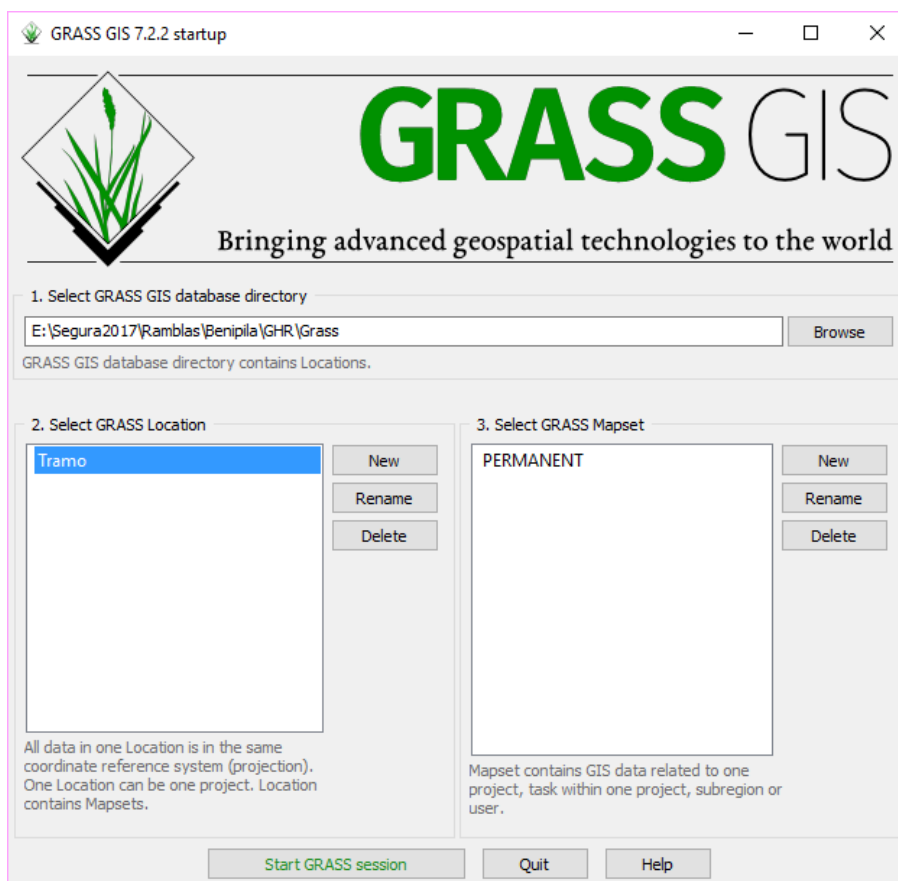


Figura 13-4.- Ventana de creación o selección de Location y Mapset de Grass

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.

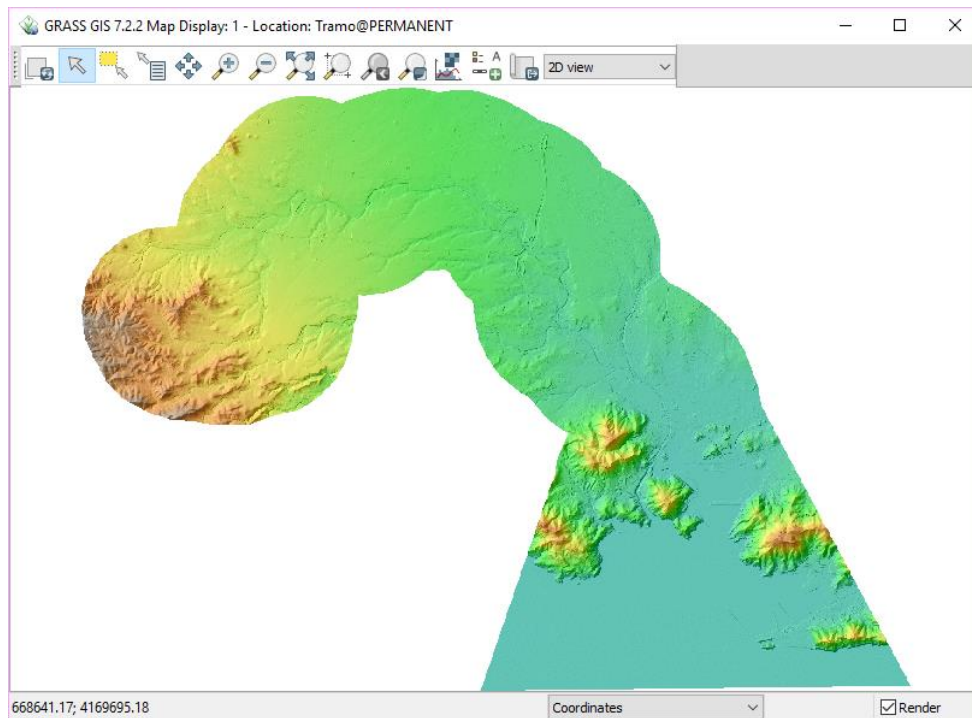


Figura 13-5.- MDT importando en Grass

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")").

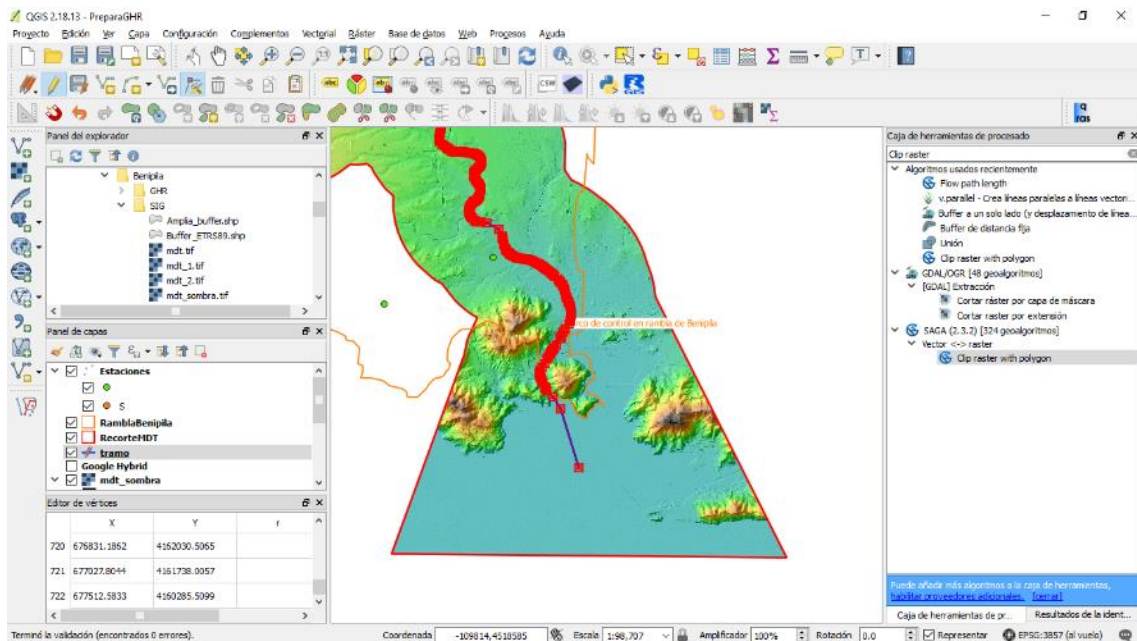


Figura 13-6.- Preparación de capas principales en QGIS

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*

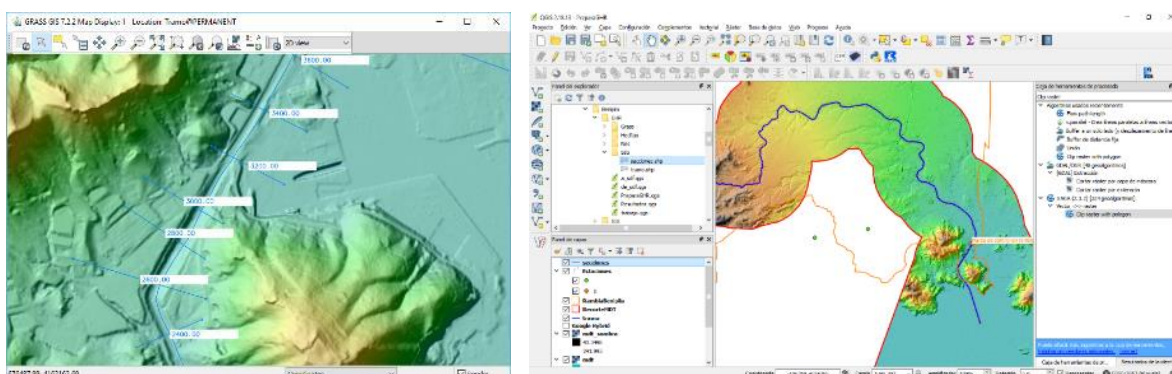


Figura 13-7.- Ejemplo resultado de creación automática de secciones

Las secciones obtenidas deben ser revisadas y muchas de ellas requerirán modificaciones por consideraciones hidráulicas.

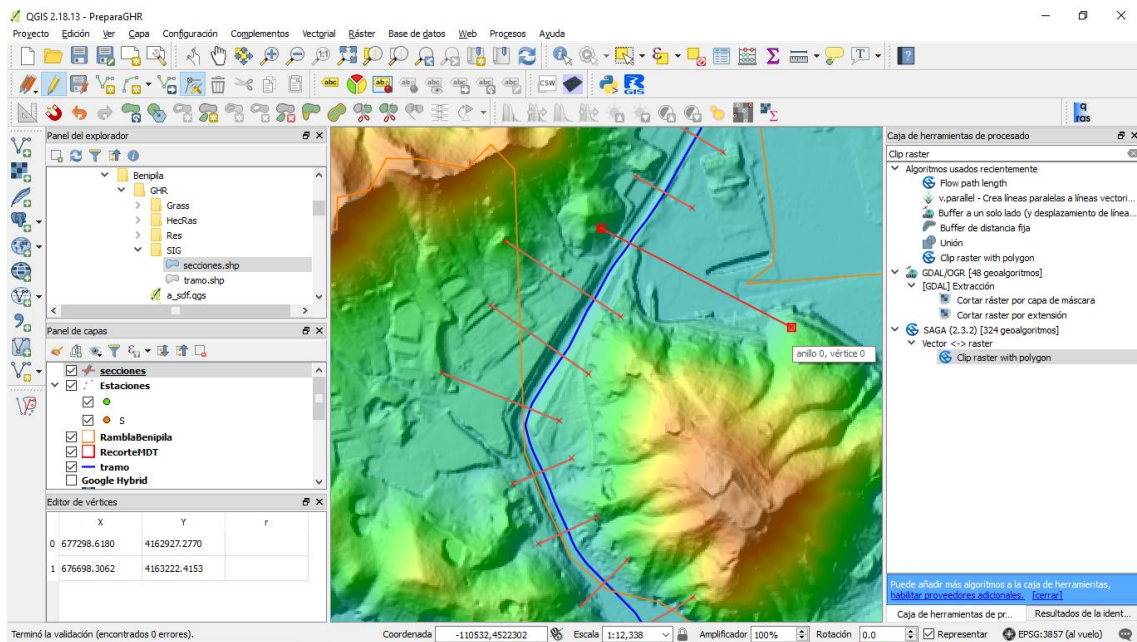


Figura 13-8.- Edición de secciones creadas automáticamente

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 Hec-Ras).

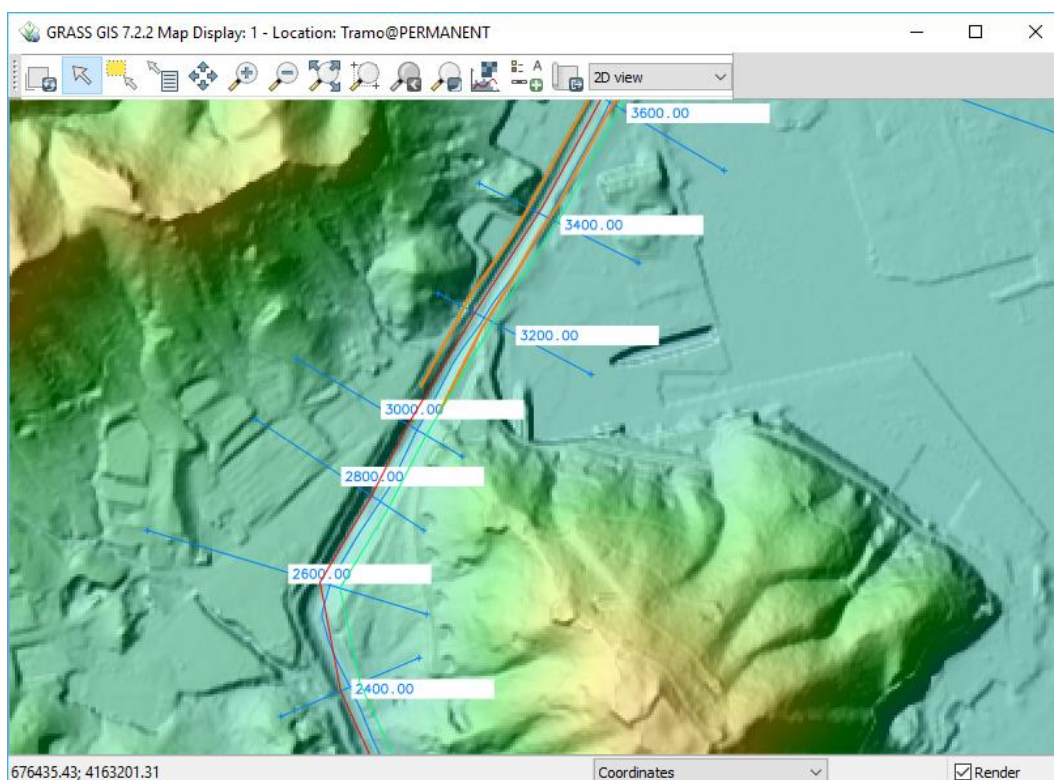


Figura 13-9.- Definición de orillas y muros

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.

13.7.1.2 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.

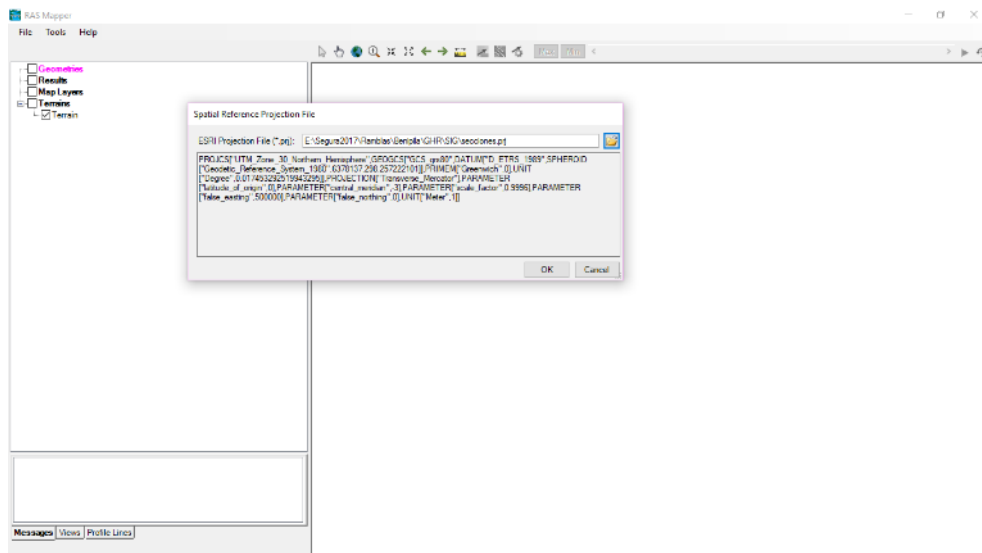


Figura 13-10.- Definición del sistema de referencia en HecRas

Después, se importa el MDT

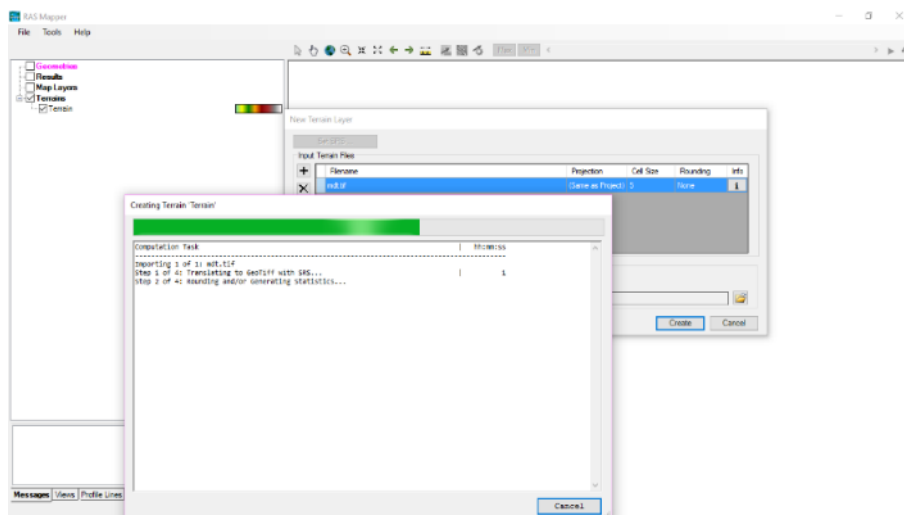


Figura 13-11.- Importación del MDT desde HecRas

Importar geometría del archivo *a_hecras.sdf*

A continuación, se importa el archivo *a_hecras.sdf* desde la ventana de geometría.

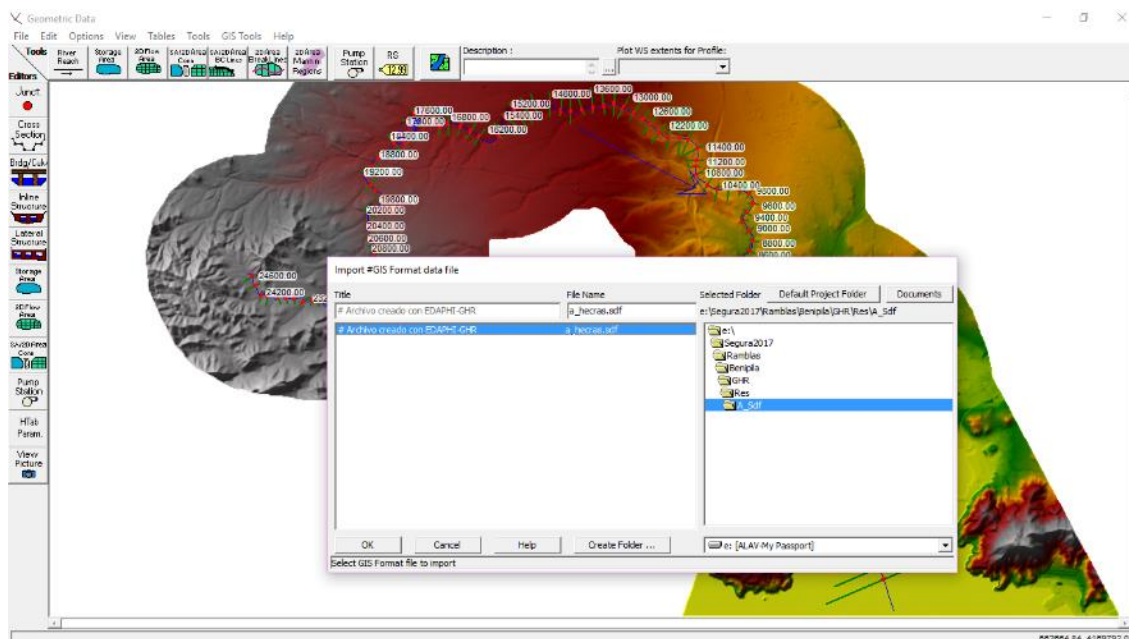


Figura 13-12.- Importación del archivo SDF desde la ventana de geometría de HecRas

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.

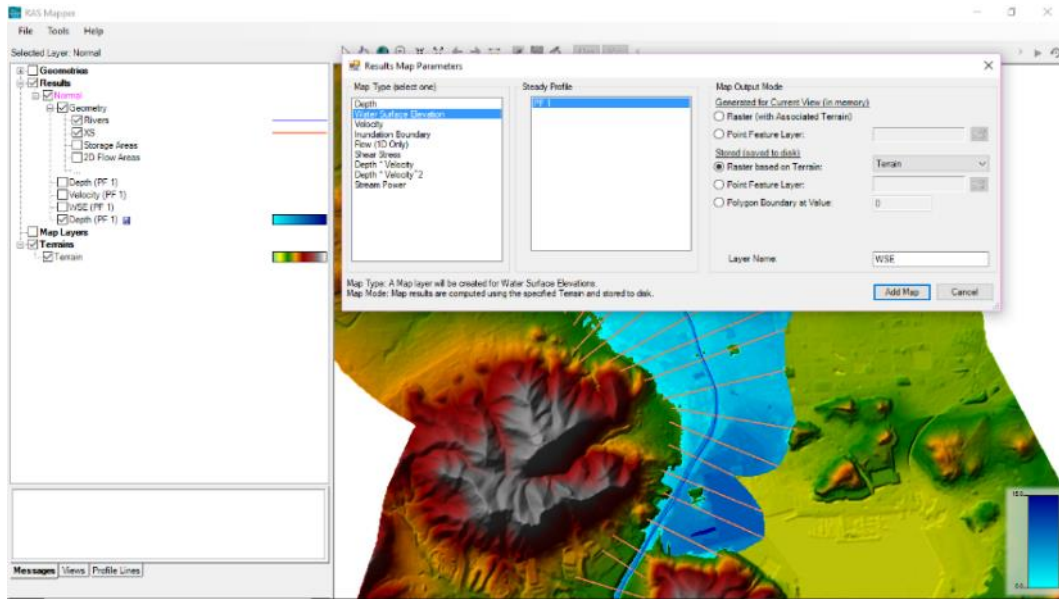


Figura 13-13.- Generación de mallas de calados desde RasMapper

13.7.1.3 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.

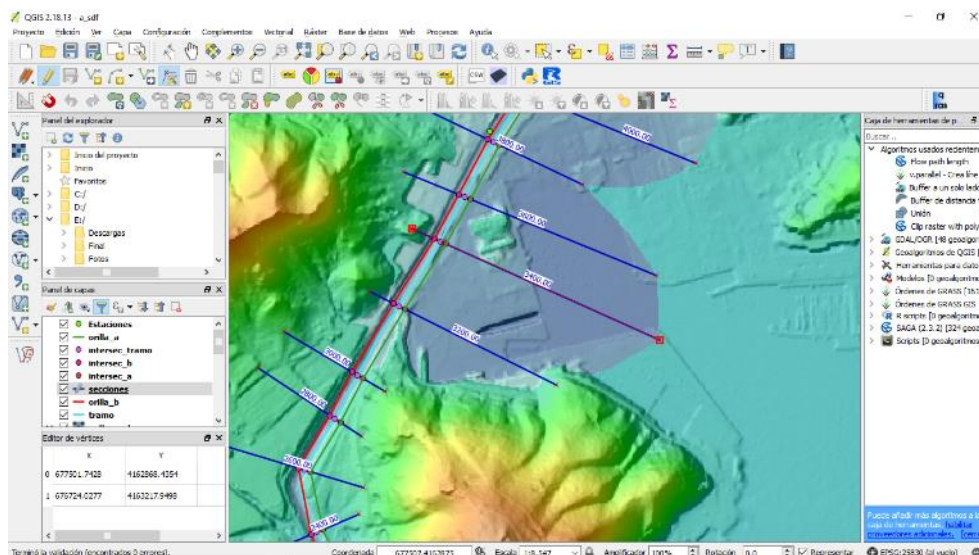


Figura 13-14.- Revisión de ancho de secciones a la vista de los resultados de los cálculos de inundación

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.

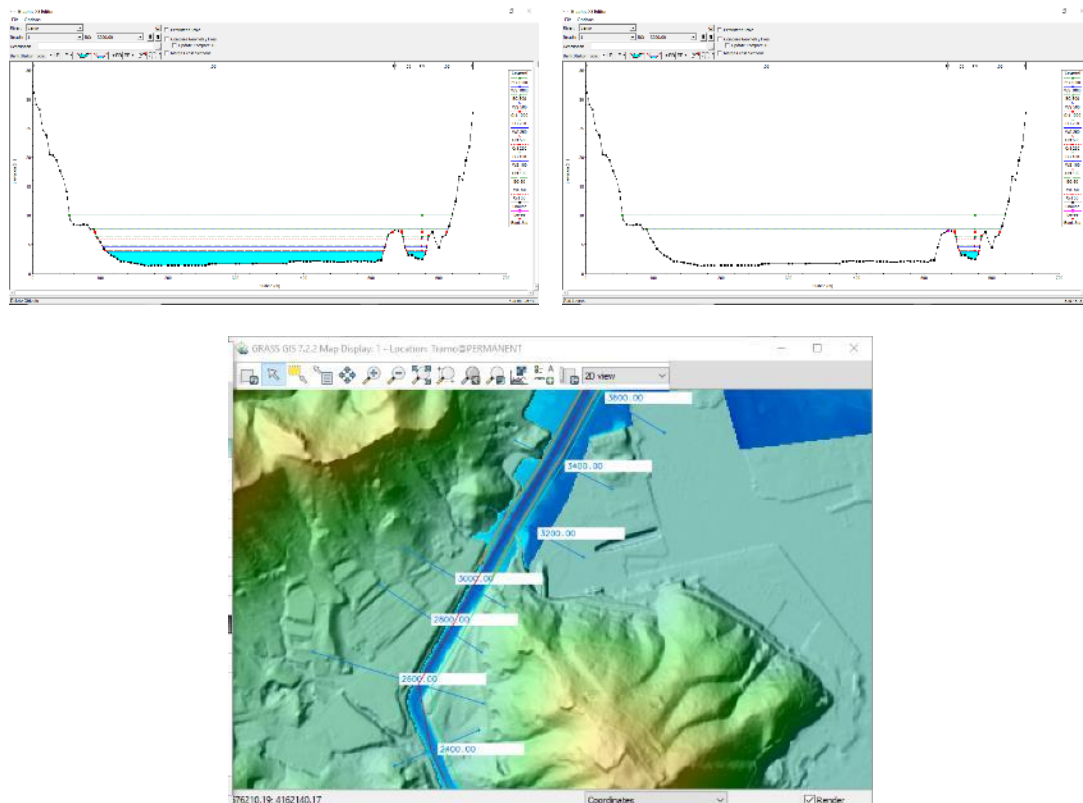


Figura 13-15.- Revisión de muros a la vista de los resultados de HecRas

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

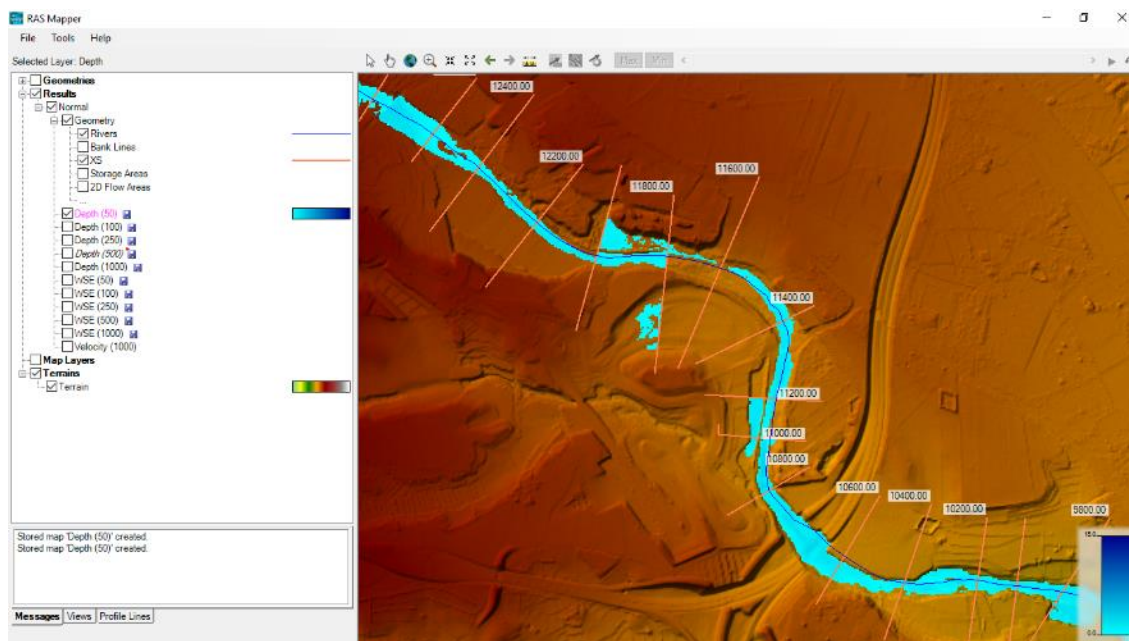


Figura 13-16.- Ejemplo de problemas en la definición de zonas inundadas con RasMapper.

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).

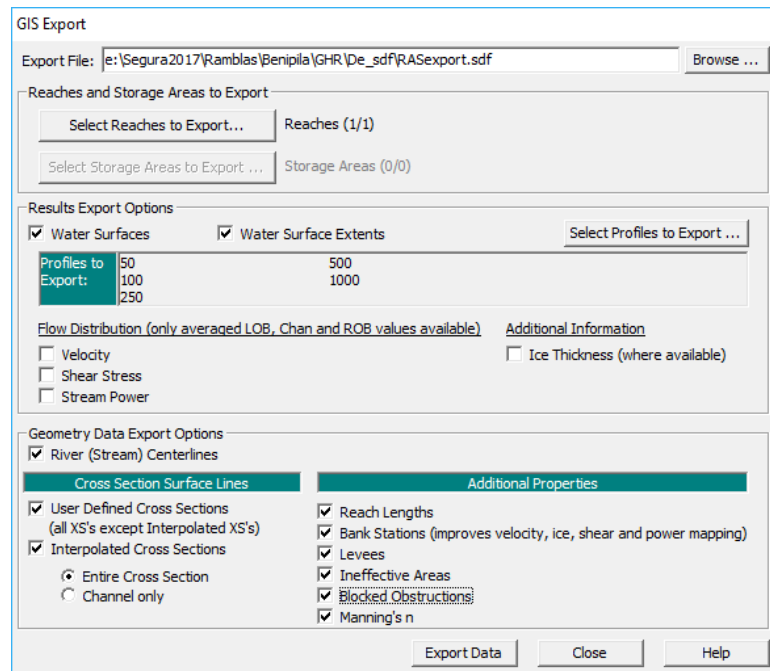


Figura 13-17.- Exportación de archivo SDF desde HecRas para su uso con los comandos DE_SDF_ Obsérvese en la figura que se seleccionan casi todas las opciones.

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*.

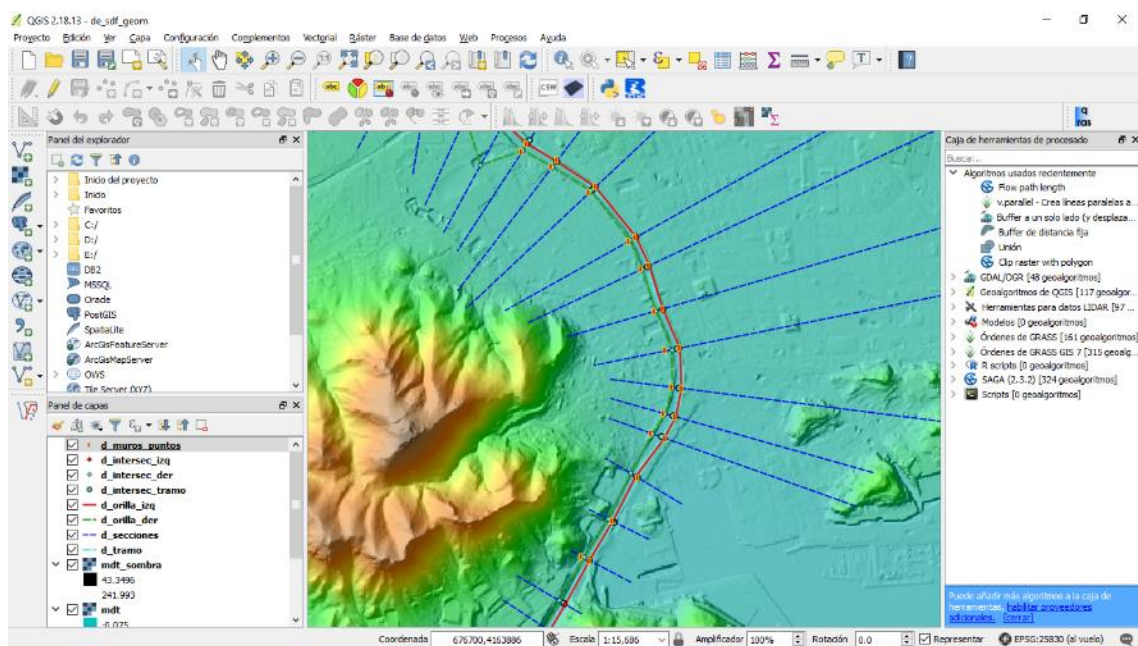


Figura 13-18.- Capas generadas con el comando DE_SDF_GEOM a partir del SDF creado desde HecRas

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.

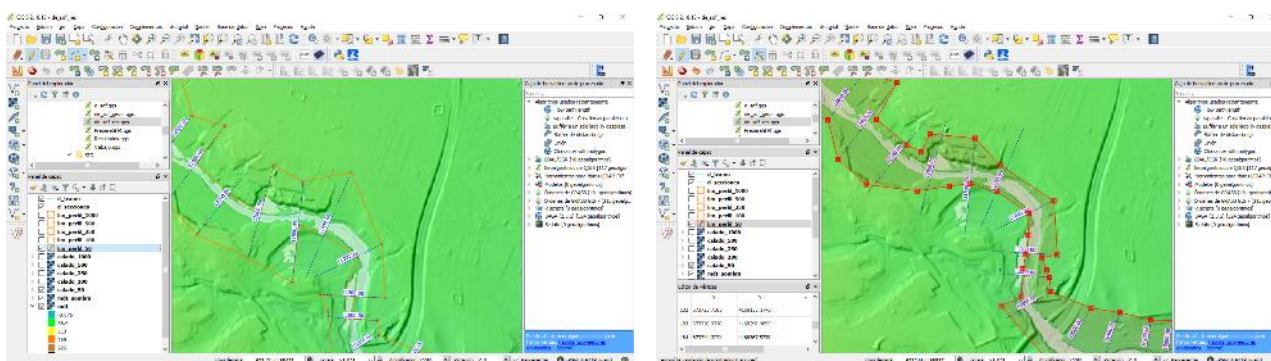


Figura 13-19.- Edición de los límites de cada perfil de cálculo

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.

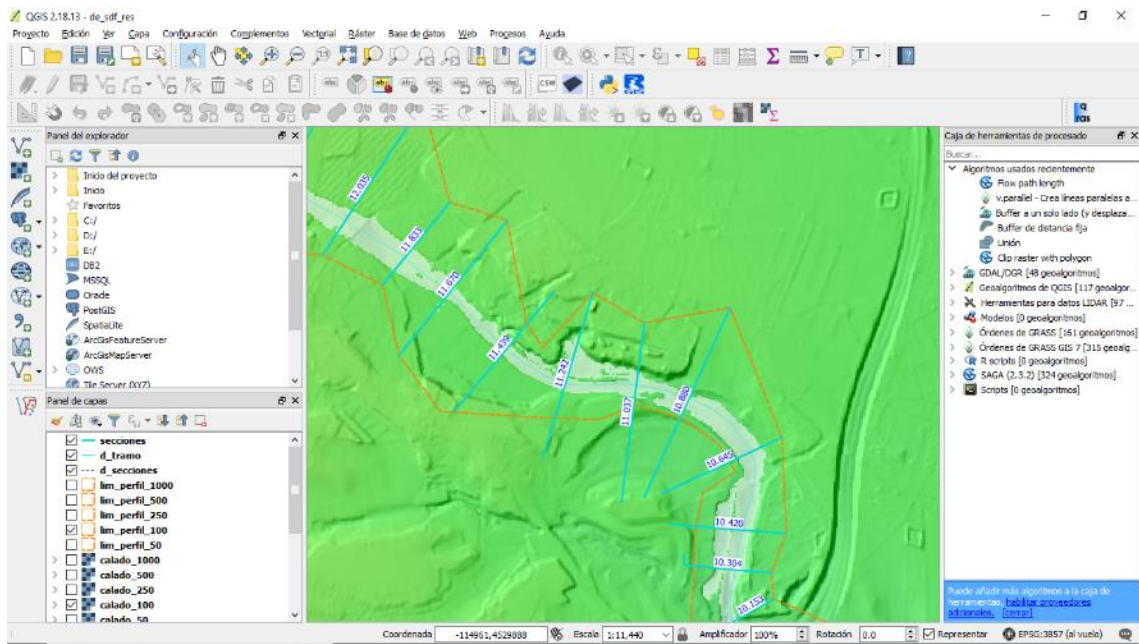


Figura 13-20.- Resultados de cálculo de zonas inundadas con el comando *de_sdf_res_nolim* que emplea los límites de perfiles editados

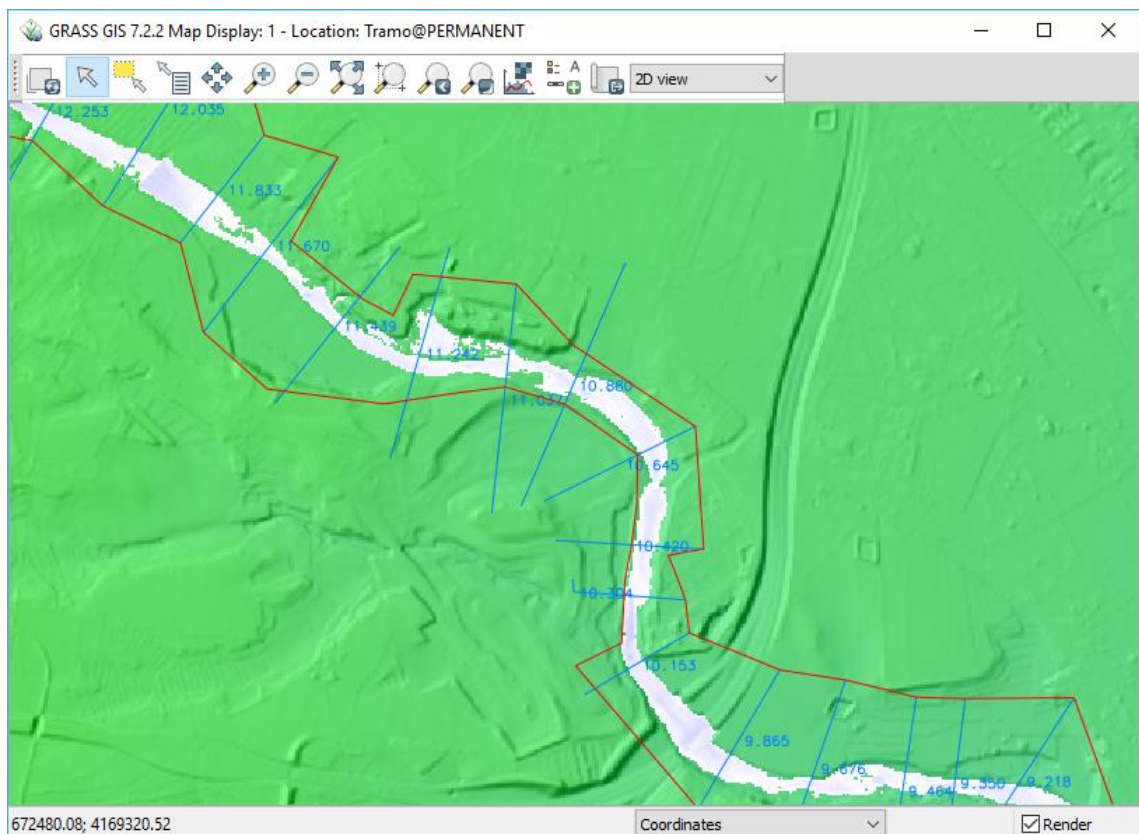


Figura 13-21.- Todas las tareas pueden realizarse directamente en Grass, sin necesidad de otro SIG

13.7.1.4 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*.

13.7.1.5 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.

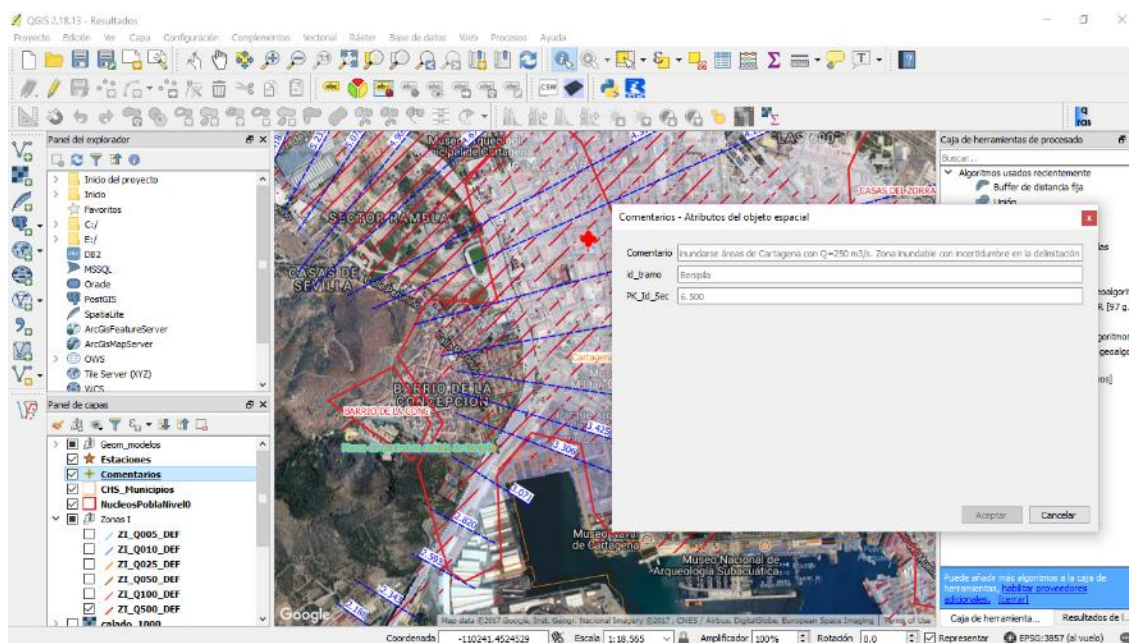


Figura 13-22.- Análisis final de resultados reflejados en una capa de comentarios

13.7.2 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.

13.7.2.1 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 13-23.- 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.

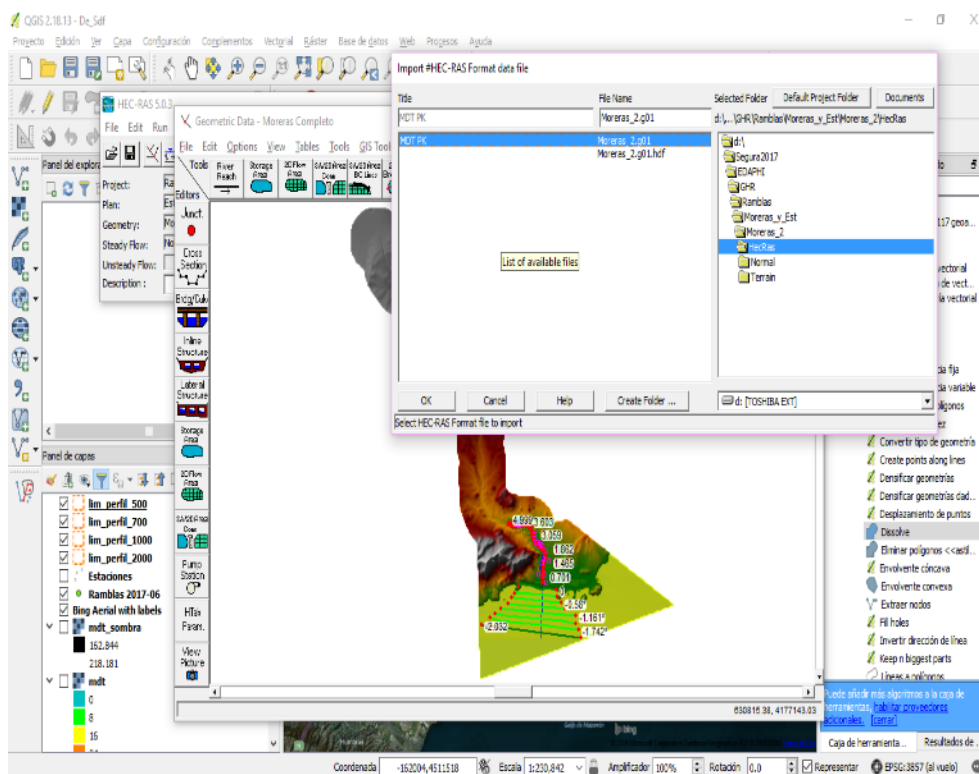


Figura 13-24.- Importar geometría de un archivo HecRas

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).

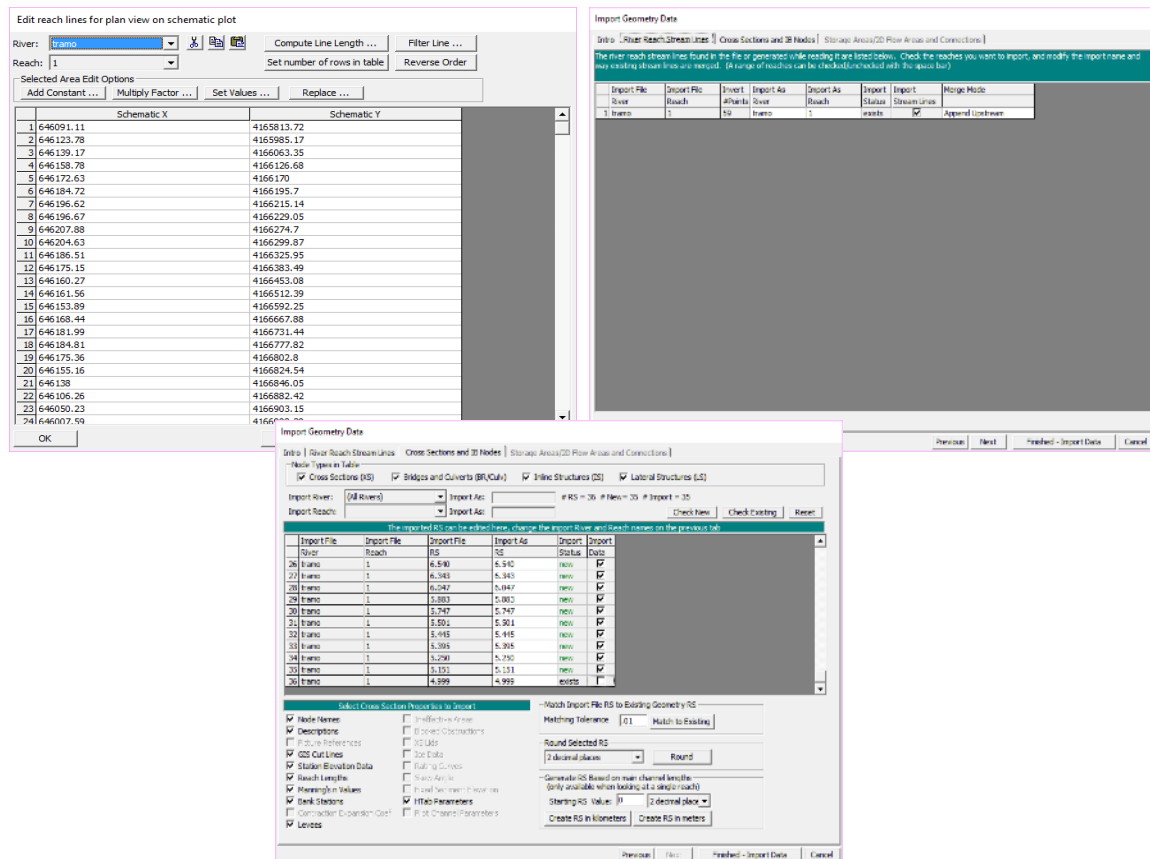


Figura 13-25.- Opciones de importación de geometría

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 *A_Sdf*.

13.7.2.2 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 de vectorial de líneas.

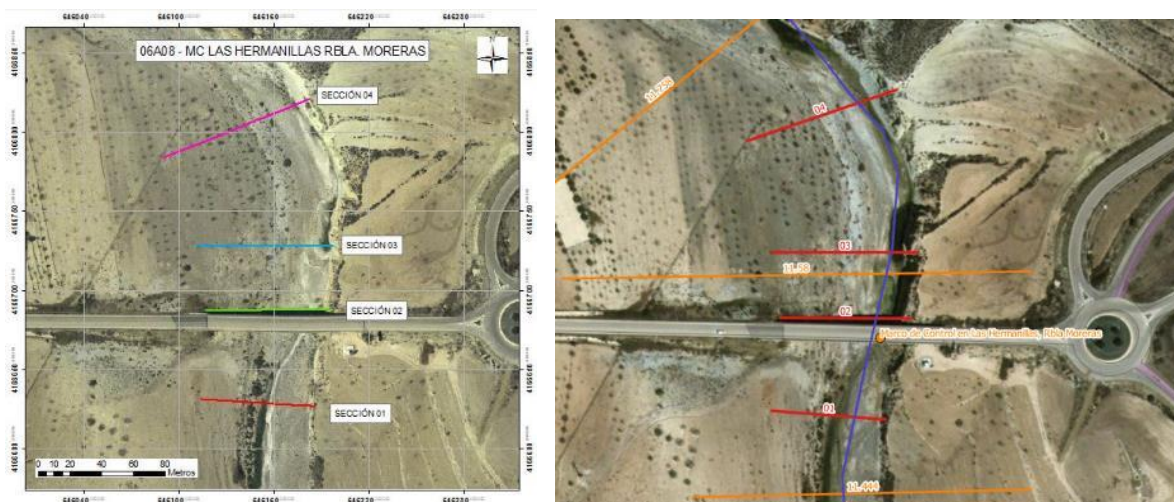


Figura 13-26.-Gráfico con la situación de las secciones del modelo sin georreferenciar y digitalización de las mismas en un SIG

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.

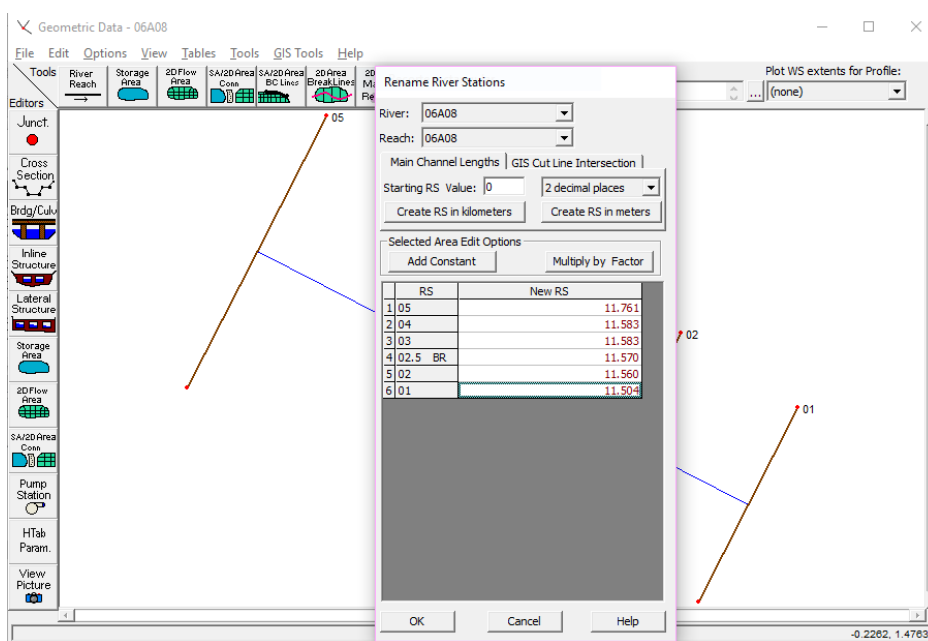


Figura 13-27.- Renombrado de secciones

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.

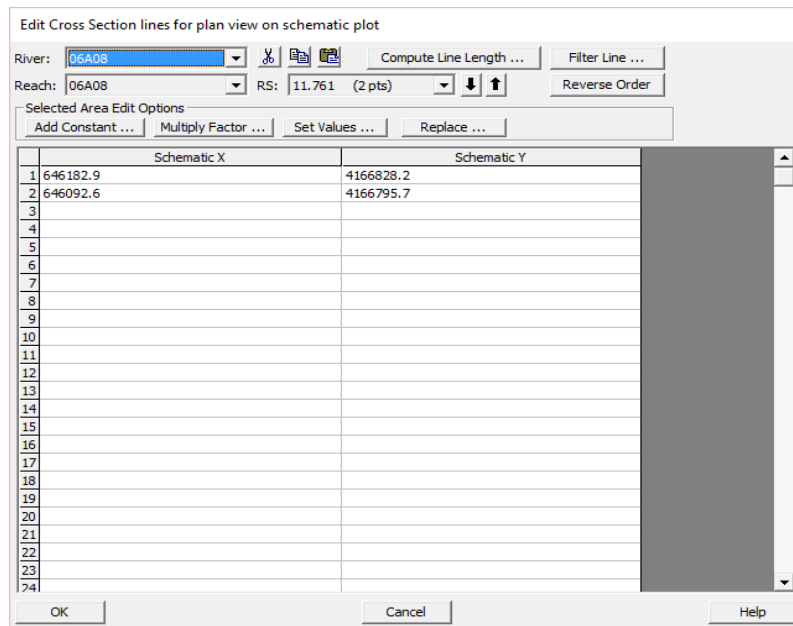


Figura 13-28.- Edición de coordenadas en HecRas

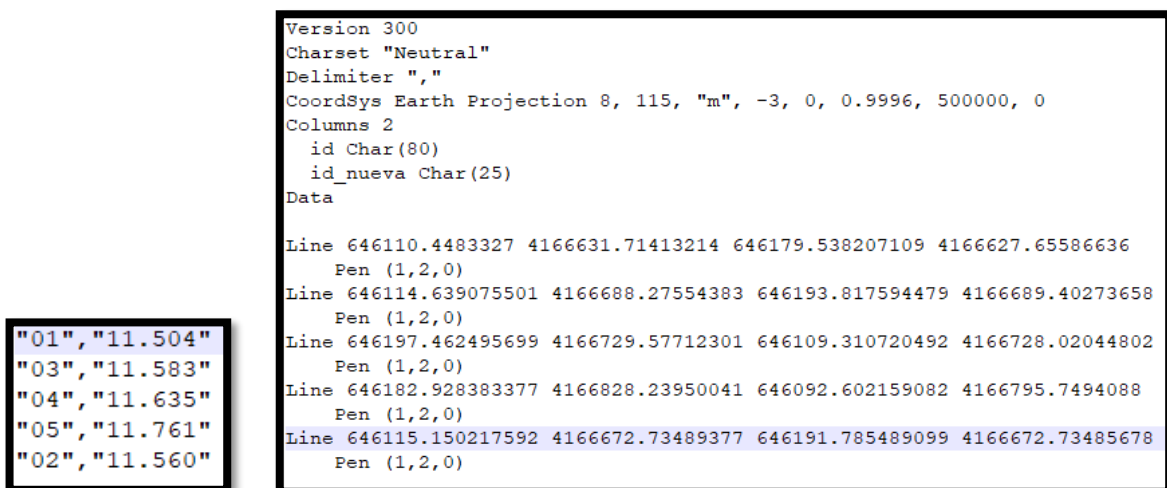


Figura 13-29.- Archivos MID y MIF de MapInfo de las secciones en planta

De modo análogo, pueden introducirse coordenadas geográficas de puntos que definan el eje del cauce.

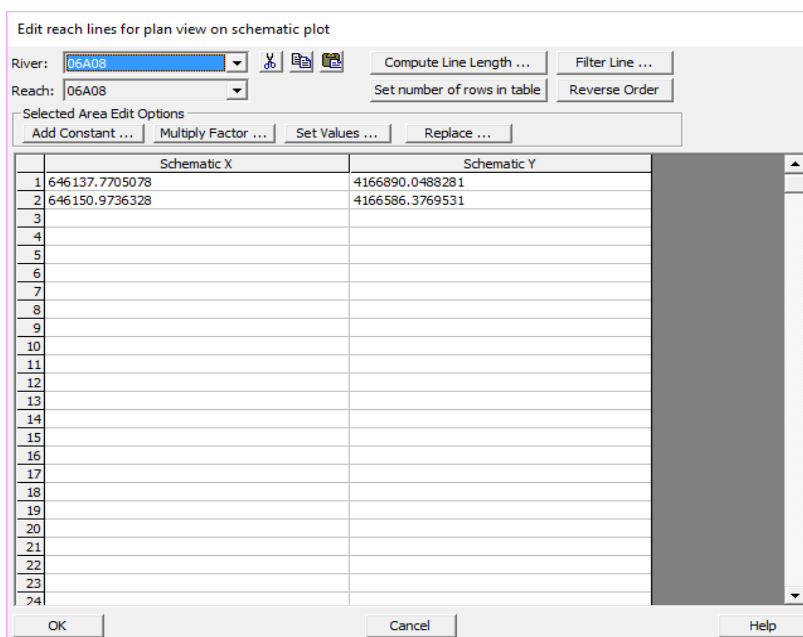


Figura 13-30.- Edición de coordenadas del tramo

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 ..."

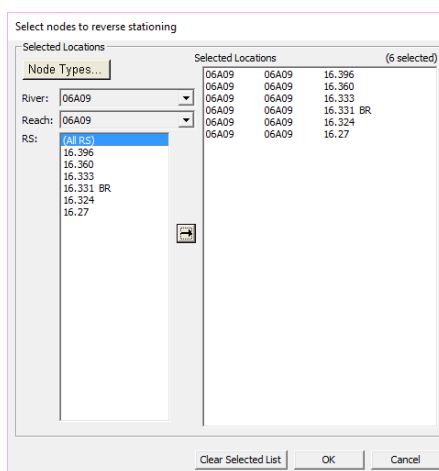


Figura 13-31.- Inversión de nodos de la sección

13.7.2.3 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 13-32.- 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*

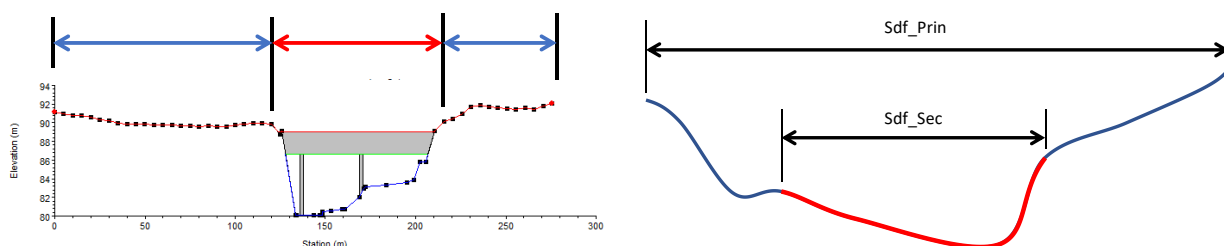


Figura 13-33.- Combinación de secciones. En la zona roja se seleccionarán los puntos de Sdf_Sec. En la azul los de Sdf_Prin

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.

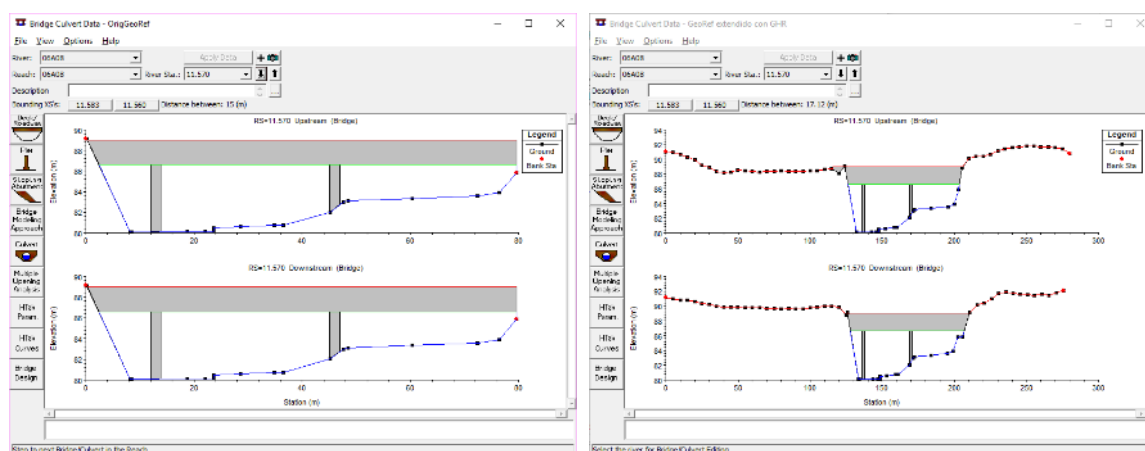


Figura 13-34.- Ejemplo de estructura antes y después de la extensión de las secciones

Tienen que revisarse muros, rugosidades y demás caracterizaciones o parametrizaciones de todas las secciones.

13.7.2.4 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 13-35.- 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.

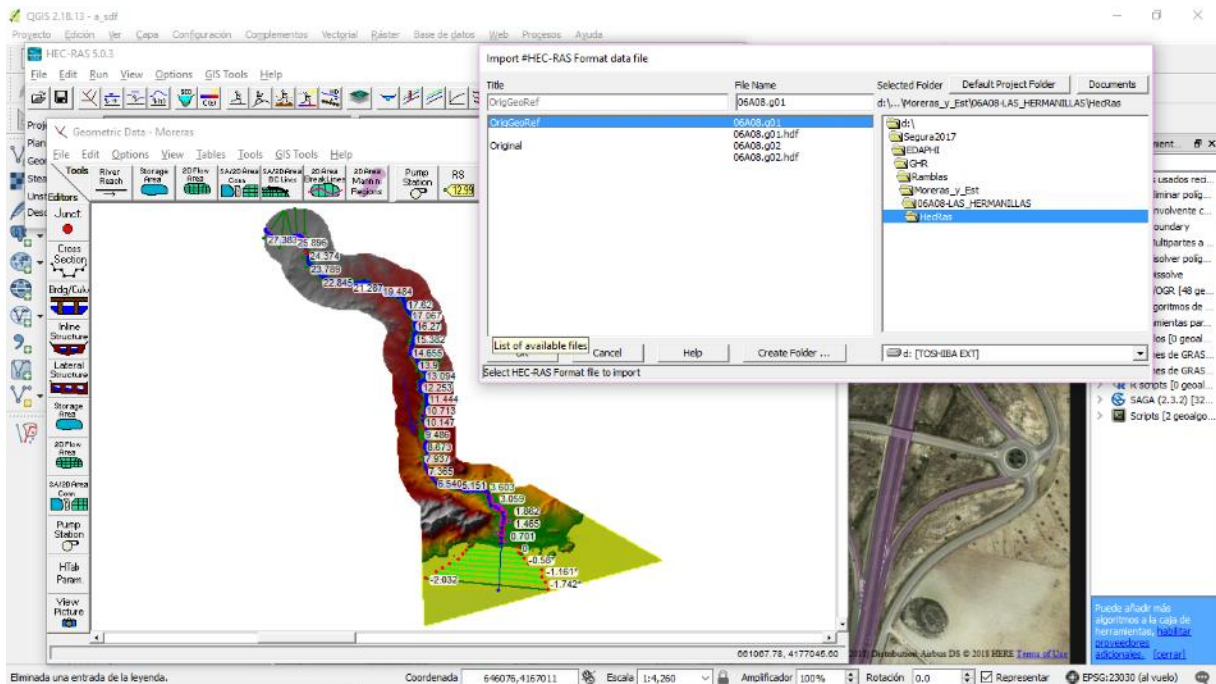


Figura 13-36.- Inserción de un submodelo importando geometría

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.

14 EDAPHI-GCuencas. Caracterización y parametrización de cuencas y tramos de ríos

14.1 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 GCuencas, 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, ...)

14.2 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)
 - Parámetros hidrológicos (número de curva, umbral de escorrentía, ...)
 - Estadísticos: precipitaciones asociadas a periodos de retorno
- Caracterización de tramos
 - Perfil longitudinal, pendiente media y longitud

Este módulo se ha preconfigurado para el caso español, pero resulta sencillo adaptarlo a otros casos en función de la información disponible.

14.3 Datos de partida

La aplicación se ha preconfigurado, para el caso español, a partir de las siguientes capas de información públicas:

- 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 esorrentía 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 han cargado 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):

14.3.1 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
```

14.3.2 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 )
```

14.4 Carpeta SIG

En la carpeta *Sig* hay algunos proyectos QGIS que sirven para ilustrar datos SIG de entrada y algunos resultados.

14.5 Comandos

La tabla siguiente resume el listado de comandos disponibles. Coincide con el resultado de la instrucción *comandos* escrita en la ventana.

Comando	Descripción
ayuda	Ayuda
cuencas_arriba	Muestra la selección de cuencas y ríos aguas arriba en función del par pfafrío, pfafcuen
cuencas_csv_comp	Define las cuencas totales que drenan a puntos x, y definidos en un CSV
cuencas_csv_part	Define las cuencas, creando una partición, que drenan a puntos xy definidos en un CSV
cuencas_prop	Calcula las propiedades de las cuencas
cuenca_pfaf_xy	Indica los datos Pfafstater de la cuenca que incluye el punto x, y
cuenca_xy	Define la cuenca total que drena al punto x, y
doc	Muestra los documentos útiles y facilita su apertura
ejecuta_grass	Facilita la ejecución de un comando de grass
ejecuta_py	Ejecuta el módulo py que se indique como argumento
ejecuta_py_cmn	Ejecuta el módulo py CMN que se indique como argumento
rio_ab_xy	Define el tramo aguas abajo del punto x, y
tramos_abajo	Muestra la selección de ríos aguas abajo en función del par pfafrío, pfafcuen
tramos_prin	Genera los tramos principales de cada cuenca
tramos_prop	Obtiene las características de los tramos principales de cada cuenca

Tabla 14-1.- Comandos del módulo GCuencas

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.

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

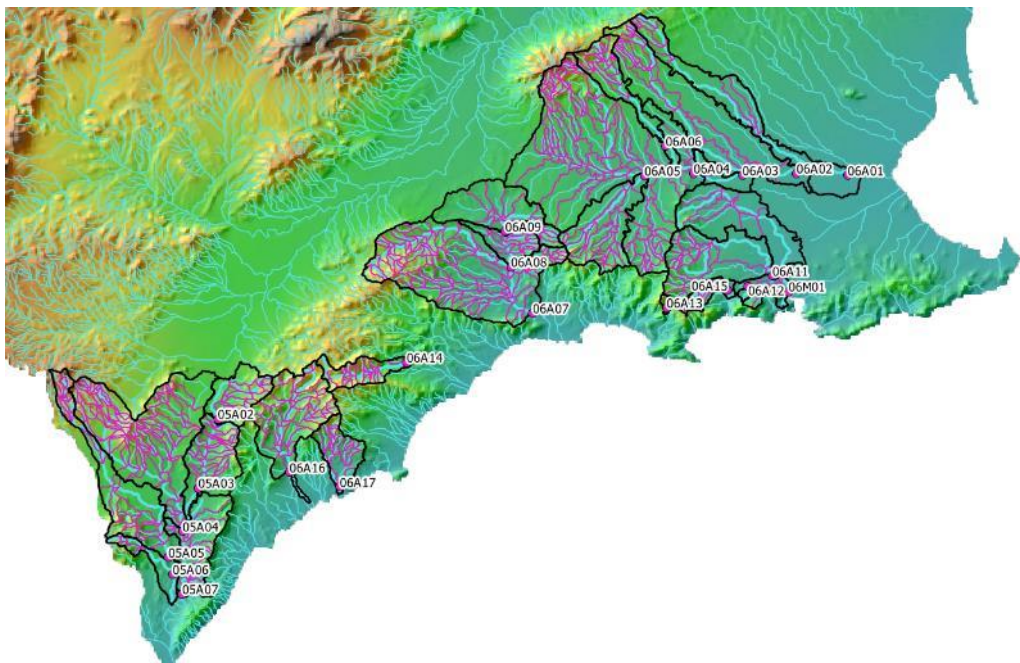


Figura 14-1.- Resultado del comando *cuencas_csv_part* que da lugar a subcuencas que forma una partici3n

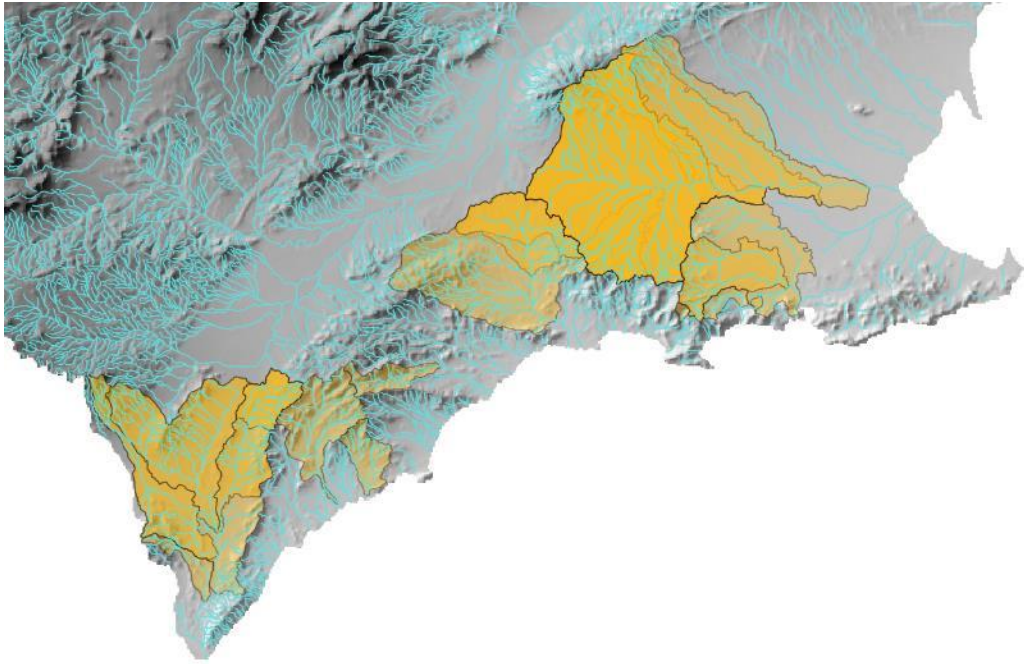


Figura 14-2.- Resultado del comando `cuencas_csv_comp` que genera las subcuencas completas que drenan a cada punto dato

Debe tenerse en cuenta que las subcuencas resultados 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

14.5.1 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 *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.

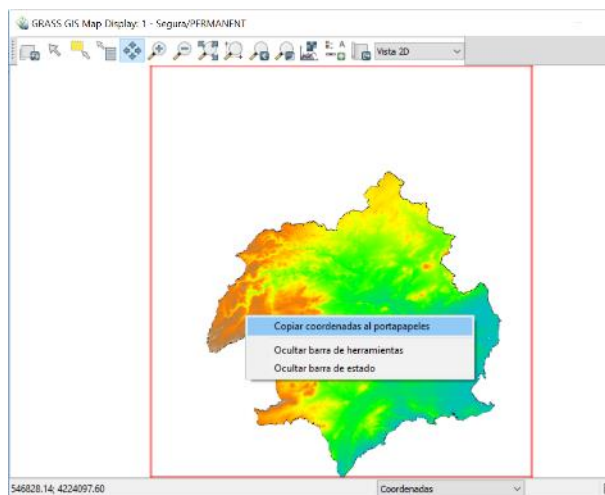


Figura 14-3.- Obtención de coordenadas en Grass

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

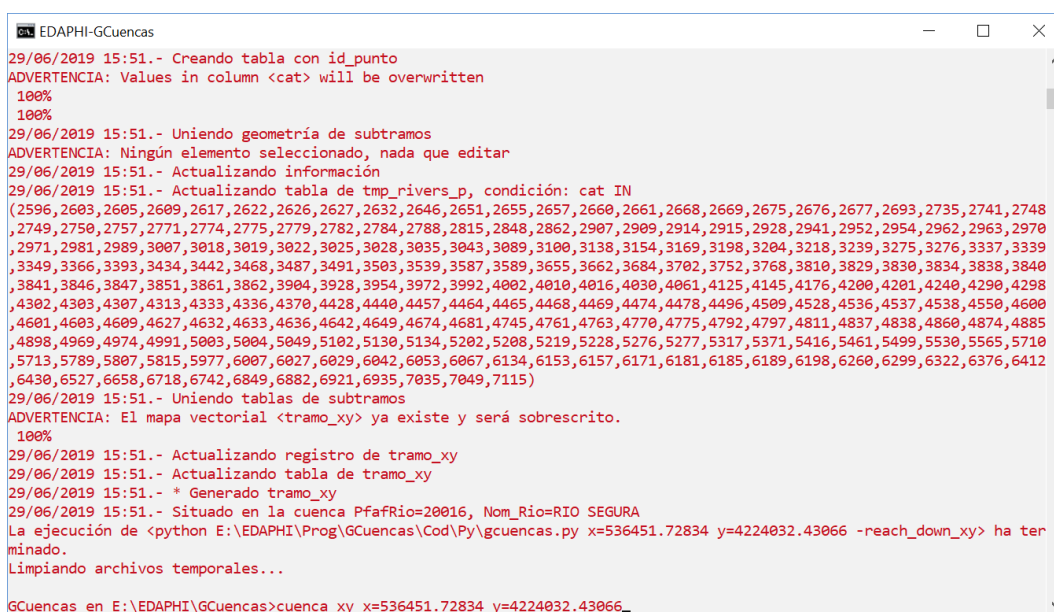


Figura 14-4.- Uso de comandos en la ventana de GCuenca

Y el resultado puede ser visualizado en la ventana de mapas de Grass.

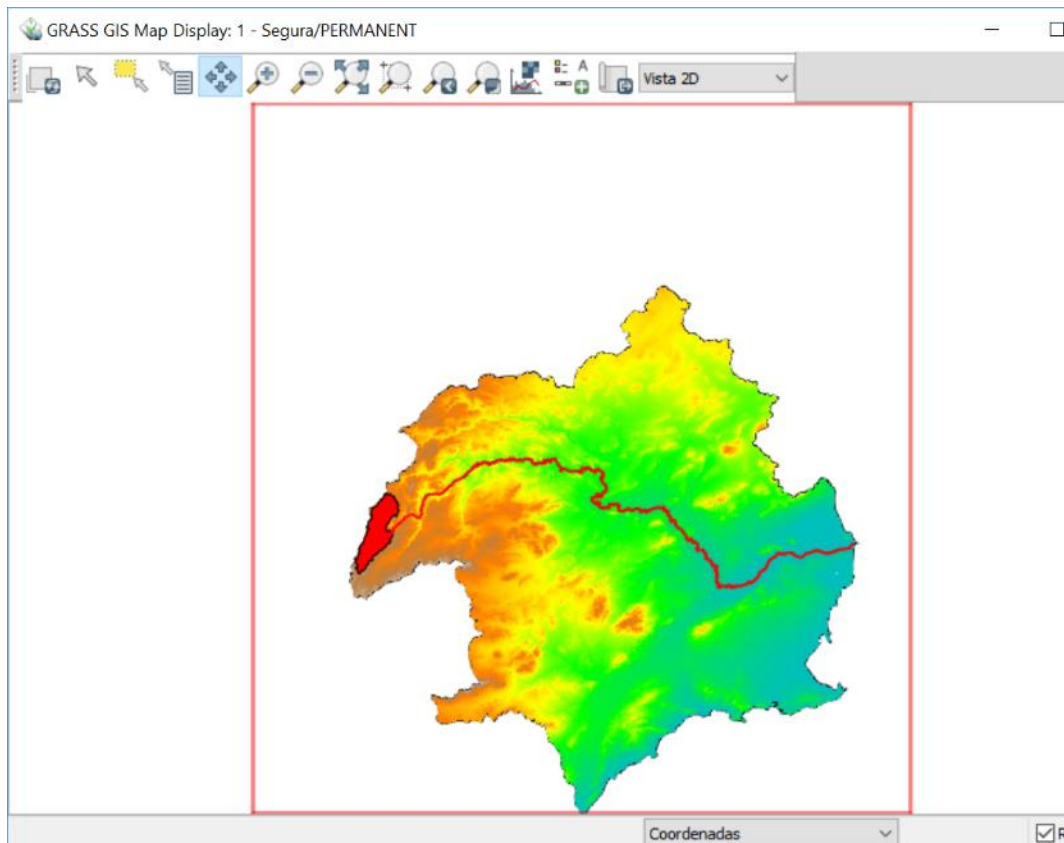
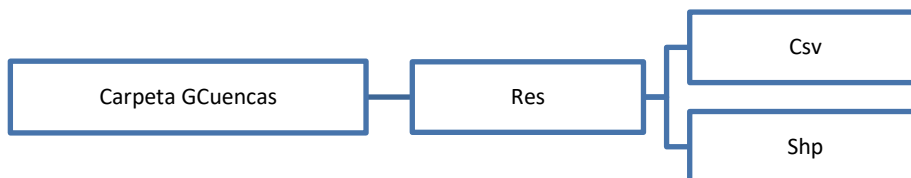


Figura 14-5.- Resultado de empleo de los comandos *cuenca_xy* y *rio_ab_xy*

14.6 Resultados

GCuencas almacena los resultados conforme al siguiente esquema.



La mayor parte de los resultados que se generan en la carpeta *Csv* se corresponden al comando *cuencas_csv_part*. El siguiente resume los parámetros calculados para cada cuenca:

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

También general los perfiles longitudinales de cada tramo principal en archivos denominados *pl_*.csv*. Respecto a los mismos tramos se calculan la longitud y la pendiente media que quedan almacenados en el archivo *tramos_principales.csv*.

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.

X	Y	id_punto	desc_punto	nom_rio	pfafrío	pfafcuen
613333.3	4149505.7	05A02	Marco de Control en la Escarihuela-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
608299.0	4132149.0	05A06	Marco de Control en Rambla las Gachas	RAMBLA DE LAS GACHAS	2001422	20014221
609367.0	4129960.0	05A07	Marco de Control en Rambla Canalejas (Los Lobos)	RAMBLA DE CANALEJAS O DE CANALES	2001423	20014233
683680.0	4176662.0	06A01	Marco de Control en La Puebla - Rbla Albuñón	RAMBLA DEL ALBUJON	200156	2001563
621341.0	4143530.0	06A16	MC en Lomo de Escrivano - Rbla Minglano Cañarate	RAMBLA DE MINGLANO CAÑARETE	2001514	20015143
626958.0	4141888.0	06A17	Marco de control en Cope-Águilas - Rbla Quiñoneros	RAMBLA DE LOS QUIÑONEROS	20015154	200151541
677074.0	4163725.0	06M01	Marco de control en rambla de Benipila	RAMBLA DE BENIPILA	200154	2001541

14.7 Archivo de comando de ejecución

Este caso se trata de un módulo que trabaja con Grass. Se puede iniciar con un archivo como el siguiente (*ventana.cmd*):

```
@Echo off
set EDAPHI_AP=GCuencas
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:F4
```

14.8 Configuración

GCuencas no tiene opciones de configuración

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

15.1 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.

15.2 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.

15.3 Modelación

El modelo que se implementó en MTG fue el de Témez para la evaluación de recursos hídricos (Figura 15-1).

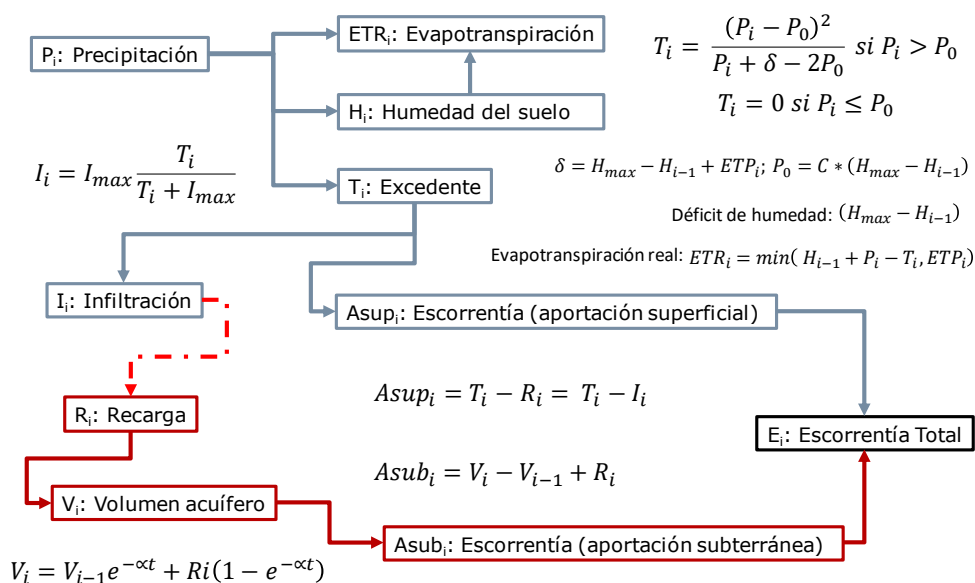


Figura 15-1.- Esquema del modelo de Témez para la evaluación de recurso hídricos

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 15-2).

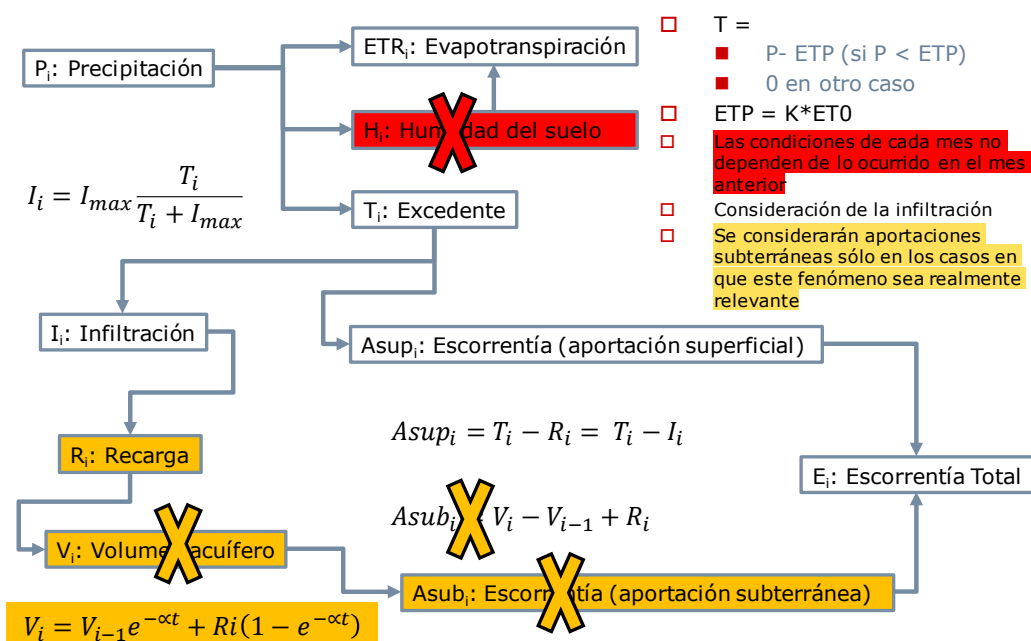


Figura 15-2.- Esquema simplificado del modelo de Témez

15.4 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.

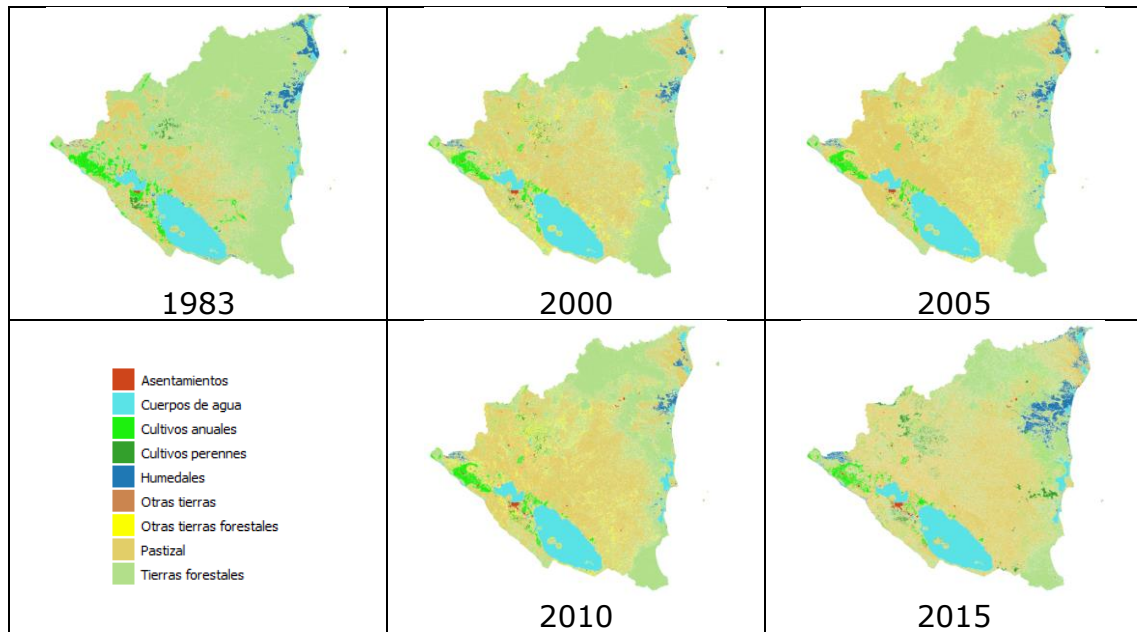


Figura 15-3.- Evolución de los usos del suelo

15.5 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).

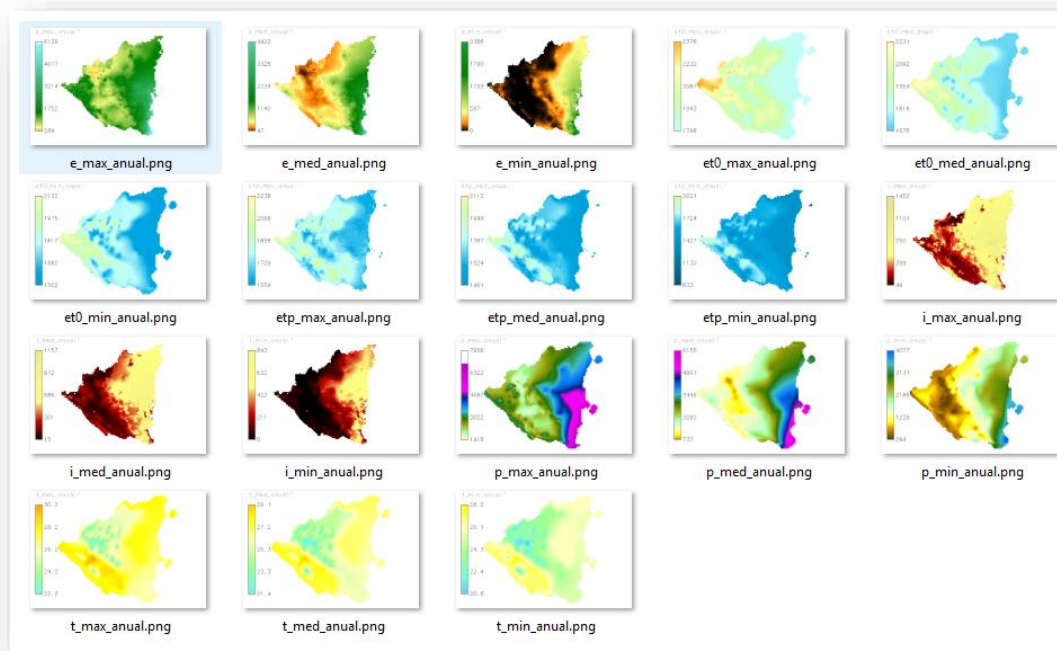


Figura 15-4.- Resultados de síntesis. Estadísticos anuales.

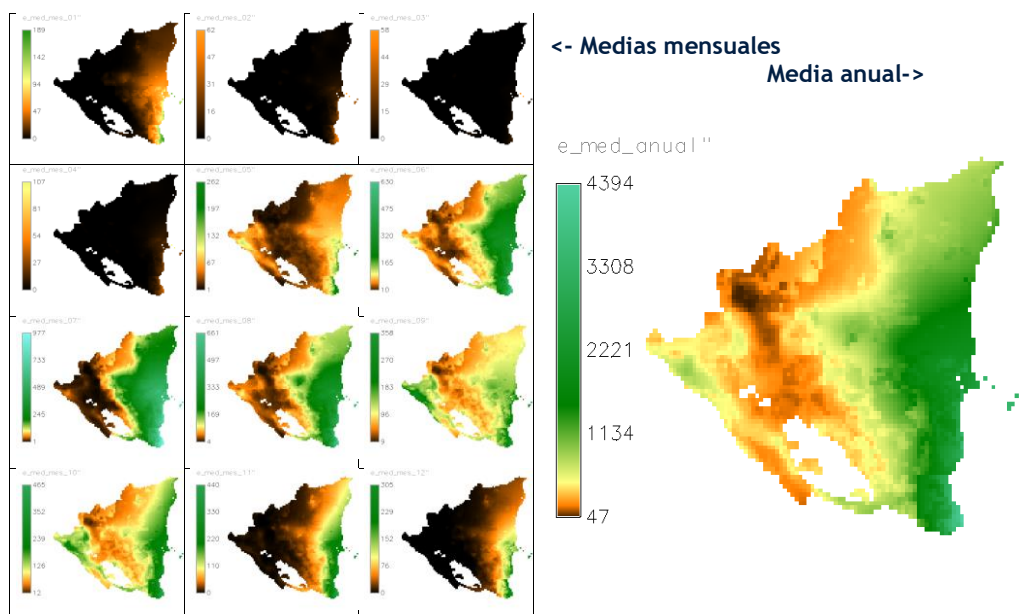


Figura 15-5.- Valores medios mensuales

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.

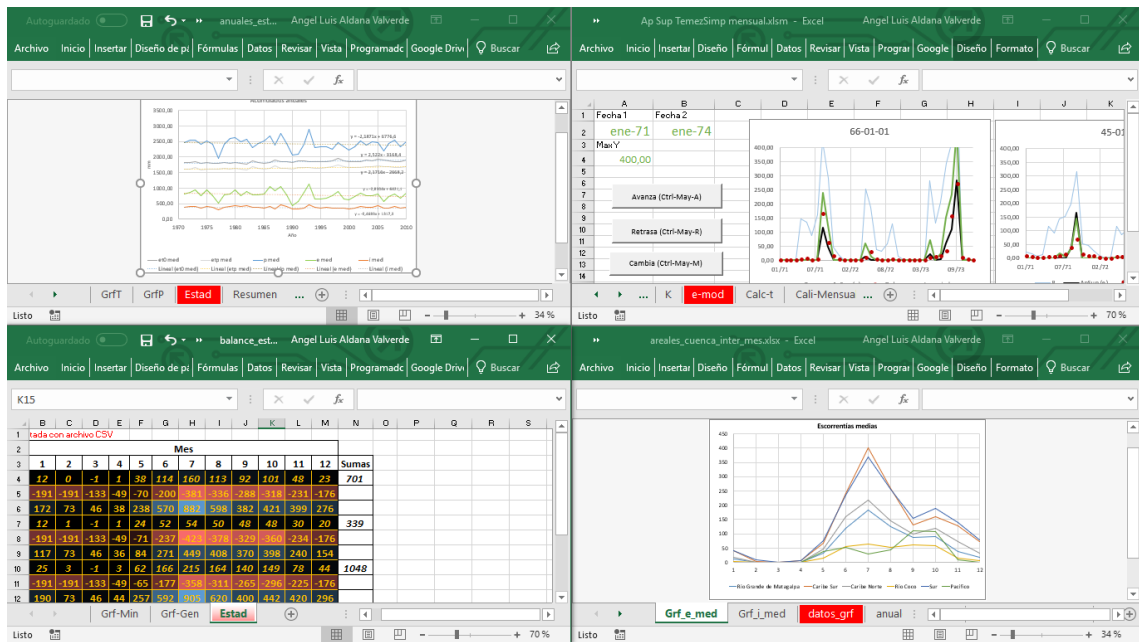


Figura 15-6.- Archivos de MS-Excel con vínculos a CSV, programas VBA para consultas y cálculos.

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

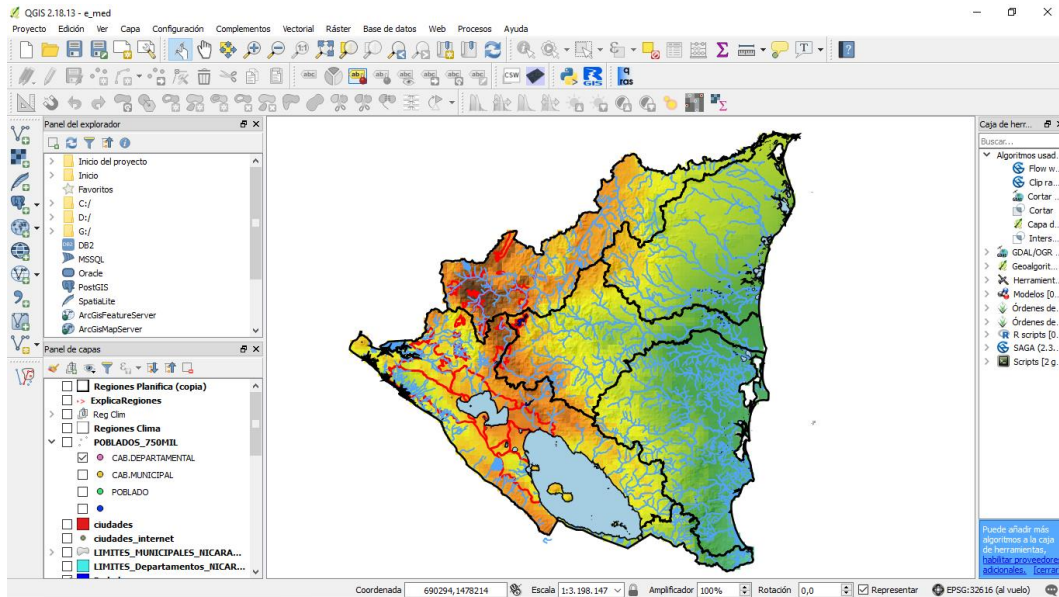


Figura 15-7.- Consulta de resultados en otro SIG (caso QSIG)

Los balances se realizan en valores mensuales medios. Los resultados son análogos a los anteriores, con gráficos y archivos CSV.

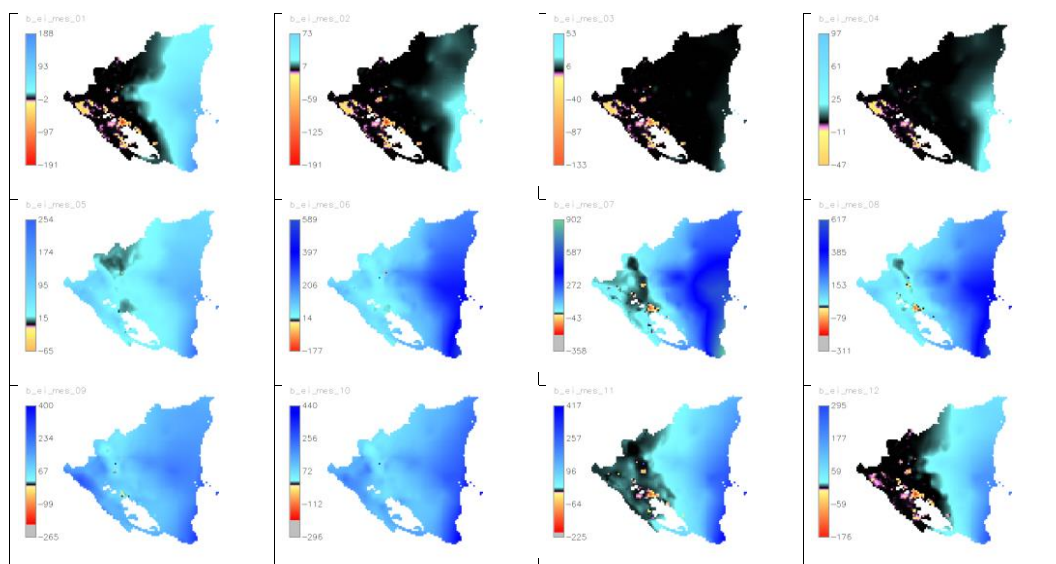


Figura 15-8.- Mallas con resultados de balances

15.6 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_fecha	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	Raliza 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 15-1.- Comandos del módulo MTG

15.7 Instalación

Este módulo se instala como uno estándar que emplea GIS-Grass (ver apartado 6.4)

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, y tiene asociados una determinada organización de módulos (aplicaciones) y una estructura de archivos. Está especialmente orientado hacia el pronóstico hidrológico, como meta más ambiciosa, pero también ofrece soluciones a otros problemas de la hidrología operacional.

Autor

Angel Luis Aldana Valverde.
Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos desde 1997. Inicia (1990) su carrera profesional en la Universidad Politécnica de Madrid, como becario y colaborador en proyectos de investigación y desarrollo, y continúa (1993-2013) en el Centro de Estudios Hidrográficos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Desde el año 2013 trabaja como profesional libre (funcionario en excedencia), con dedicación especial, como consultor, en varios proyectos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y del Banco Mundial (ambas instituciones forman parte del Sistema de Naciones Unidas). Es cofundador y coordinador de la "Red iberoamericana para el monitoreo y pronóstico de fenómenos hidrometeorológicos" (PROHIMET). Ha participado en varios proyectos en Latinoamérica (en varios como líder de equipos de especialistas), en Europa del Este y África. Sus especialidades son: hidrología operacional, inundaciones y operación de embalses en tiempo real.