

# ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN Y ELECTRÓNICA



## TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

### SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN Y MAPEADO PARA LA GESTIÓN DE INCENDIOS FORESTALES

**Titulación:** Máster Universitario en Ingeniería de  
Telecomunicación

**Autor:** Guillermo Torres Román

**Tutores:** Víctor Alexis Araña Pulido  
Francisco José Cabrera Almeida

**Fecha:** Agosto 2021



# Índice

<b>Figuras</b>	<b>III</b>
<b>Tablas</b>	<b>VI</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	3
1.3. Estructura de la Memoria . . . . .	4
<b>2. Sistema de Coordenadas</b>	<b>5</b>
2.1. Coordenadas Universal Transversal de Mercator . . . . .	5
2.2. Coordenadas Geográficas . . . . .	6
2.3. Método de Conversión . . . . .	7
<b>3. Archivos de Trabajo</b>	<b>9</b>
3.1. Conversión Esri ASCII-Geotiff . . . . .	9
3.2. Nomenclatura . . . . .	11
3.3. Conversión de coordenadas . . . . .	12
<b>4. Escenarios de Trabajo</b>	<b>13</b>
4.1. Posición del Norte . . . . .	15
<b>5. Ventana de Visualización</b>	<b>18</b>
5.1. Varios Archivos de Trabajo . . . . .	20
5.1.1. Punto Unión . . . . .	21
5.2. Unión de Dos Archivos . . . . .	22
5.3. Unión de Cuatro Archivos . . . . .	23
5.3.1. Unión de Fracciones Verticales . . . . .	23
5.3.2. Unión de Fracciones Horizontales . . . . .	26
5.4. Archivo Geotiff . . . . .	27
<b>6. Implementación en Interfaz</b>	<b>28</b>

<b>7. Resultados</b>	<b>32</b>
7.1. Unión de archivos . . . . .	33
7.2. Precisión . . . . .	35
<b>8. Conclusiones</b>	<b>39</b>
<b>Presupuesto</b>	<b>42</b>
P.1. Introducción . . . . .	42
P.2. Recursos Materiales . . . . .	42
P.2.1. Equipos Hardware . . . . .	43
P.2.2. Equipos Software . . . . .	43
P.3. Recursos Humanos . . . . .	44
P.4. Redacción del documento . . . . .	44
P.5. Derechos de visado del COITT . . . . .	45
P.6. Gastos de tramitación y envío . . . . .	46
P.7. Aplicación de impuestos y coste final . . . . .	46
<b>Anexos</b>	<b>47</b>
<b>A. Función rotacionLatLon</b>	<b>48</b>
<b>B. Función rotarPunto</b>	<b>49</b>
<b>C. Función eliminarBorde_union</b>	<b>51</b>
<b>D. Función datos_geotiff</b>	<b>52</b>
<b>E. Función eliminarBorde</b>	<b>53</b>
<b>F. Función cargar_archivos</b>	<b>54</b>
<b>G. Función ventana2geotiff</b>	<b>55</b>
<b>H. Interfaz</b>	<b>56</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>59</b>

# Figuras

1.1. Matriz de alturas. Desplazamiento de coordenadas de referencia de celda inferior izquierda (ASCII) a esquina superior izquierda (geotiff) . . . . .	3
2.1. Descripción de las dimensiones de una zona UTM . . . . .	6
2.2. Representación de las principales características de las coordenadas geográficas . . . . .	7
3.1. Matriz de alturas. Desplazamiento de coordenadas de referencia de celda inferior izquierda (Esri) a esquina superior izquierda (geotiff) . . . . .	11
3.2. Nomenclatura estándar de los archivos de trabajo . . . . .	12
3.3. Proceso de conversión de coordenadas UTM a Grados . . . . .	12
4.1. Representación de los 9 escenarios de trabajo. Blanco: 1 archivo. Azul: 2 archivos. Naranja: 4 archivos . . . . .	14
4.2. Obtención de los datos necesarios para generar la ventana de visualización	15
4.3. Archivo situado en dos husos diferentes, mostrando la coordenada de Easting de dos puntos cercanos localizados en distintos husos . . . . .	16
4.4. Representación triangular del segmento de elementos no deseados tras la rotación. MV: mitad de la ventana. $\alpha$ : ángulo de rotación. d: desplazamiento a calcular . . . . .	17
4.5. Representación de un archivo rotado (azul) y la incursión de elementos no deseados (gris) en la ventana de visualización (rojo). En verde se muestra la ventana tras el desplazamiento . . . . .	17
5.1. Diagrama de flujo general del programa . . . . .	18
5.2. Diagrama de flujo de la generación de la ventana de visualización . . . . .	19
5.3. Correcta alineación del terreno de 4 archivos adyacentes . . . . .	20
5.4. Fracciones del terreno necesarias para la formación de la ventana de visualización . . . . .	21
5.5. Proceso de diferenciación para obtener un punto cuyas coordenadas sean similares a aquellas dadas como referencia . . . . .	22

5.6.	Archivos con datos de territorios adyacentes. Azul: Fracciones generadas para formar la ventana de visualización. Verde: Punto unión . . . . .	23
5.7.	Representación de la unión vertical de los elementos. . . . .	24
5.8.	Operación de desplazamiento de columna simple . . . . .	24
5.9.	Extremo inferior derecho de matriz de datos. Obtención del punto con coordenadas válidas tras 6 operaciones. Rojo: desplazamiento largo. Marrón: Desplazamiento corto. Verde: Punto válido . . . . .	25
5.10.	Operación de desplazamiento de columna. Se denomina “d” al desplazamiento largo de columnas . . . . .	26
5.11.	Proceso de generación de archivo geotiff . . . . .	27
6.1.	Interfaz original del proyecto. Destacados los elementos críticos en la implementación . . . . .	28
6.2.	Interfaz con botón de Centrar Plano y dos PO generados . . . . .	29
6.3.	Interfaz mostrando la ventana de visualización generada en dos tamaños. La lista de PO se actualiza al elemento existente en el mapa . . . . .	30
6.4.	Interfaz mostrando la ventana de visualización generada con nuevos PO . . . . .	30
6.5.	Interfaz habiendo ejecutado la acción de zoom sobre la ventana de visualización generada. La lista de PO se actualiza al elemento existente en el mapa seleccionado . . . . .	31
6.6.	Interfaz tras haber vuelto a seleccionar el archivo principal al presionar <i>Nueva ZnSn</i> . . . . .	31
7.1.	Visualización del resultado tras operar con un archivo. Azul: Punto seleccionado por el usuario . . . . .	34
7.2.	Visualización del resultado tras operar con dos archivos. Azul: Punto seleccionado por el usuario . . . . .	34
7.3.	Visualización del resultado tras operar con cuatro archivos. Azul: Punto seleccionado por el usuario . . . . .	35
7.4.	Perfil de elevación del territorio con elevación media de 48 m a lo largo de 1 km . . . . .	36
A.1.	Diagrama de flujo de la operación de rotación. . . . .	48
B.1.	Punto localizado en $(x_0, y_0)$ a una distancia $r$ del origen y ángulo $\theta$ . Tras rotar sobre el origen por un ángulo $\alpha$ , el punto se sitúa en la coordenada $(x_1, y_1)$ . . . . .	49
D.1.	Diagrama de flujo de la operación de lectura de datos de los archivos de interés . . . . .	52
E.1.	Diagrama de flujo de la operación de eliminar bordes . . . . .	53

F.1. Diagrama de flujo de la operación de generación de la dirección del archivo de interés . . . . .	55
H.1. Panel de acción en la interfaz gráfica. Dentro del panel contenedor se encuentran los diferentes botones y cuadros de textos explicativos . . .	57
H.2. Inicialización de la interfaz gráfica . . . . .	58

# Tablas

2.1. Error en los cambios de coordenadas tomando un punto de Google Earth como referencia . . . . .	8
4.1. Relación de excesos en la ventana de visualización con escenario de trabajo	13
7.1. Tiempo medio de ejecución del programa . . . . .	32
7.2. Comprobación de las elevaciones en un punto en el centro de un huso .	37
7.3. Comprobación de las elevaciones en un punto entre el centro y el límite de un huso . . . . .	37
7.4. Comprobación de las elevaciones en un punto en el límite de un huso .	38
7.5. Comprobación de las elevaciones en zonas boscosas y claros . . . . .	38
P.1. Coste de equipos hardware . . . . .	43
P.2. Coste de equipos software . . . . .	43
P.3. Coste de recursos humanos . . . . .	44
P.4. Presupuesto parcial . . . . .	45
P.5. Presupuesto con el coste de redacción . . . . .	45
P.6. Presupuesto total . . . . .	46
G.2. Resultados de la comprobación en la relación de dimensiones y pasos de malla en los diferentes archivos generados con la matriz original . . . . .	56



# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Antecedentes

España es el segundo país más afectado por los incendios al sur de Europa [1], sufriendo más de 12.000 incendios anuales a lo largo del último decenio documentado (2009-2018). Estos incendios resultan en una media de 99.000 hectáreas quemadas anualmente. A pesar de que actualmente existen varios sistemas de detección y seguimiento de incendios forestales [2], estos cuentan con una serie de problemas que dificultan su implementación y la correcta ejecución de sus funciones.

Las redes de vigilancia terrestre fija requieren altos costes tanto de instalación como de mantenimiento, además de generar un fuerte impacto visual [3]. Las redes de vigilancia terrestre móvil dependen en gran medida de la experiencia de los profesionales encargados de vigilar la zona de interés, lo que supone una gran subjetividad en la localización del incendio debido a un campo de visión reducido, además de una elevada dificultad de detección en condiciones atmosféricas desfavorables. Por otro lado, la vigilancia aérea cuenta como principal preocupación la seguridad del piloto ante el incendio o las condiciones meteorológicas adversas. Este problema puede ser solucionado empleando sistemas aéreos no tripulados [4], pero su reducido tamaño los hace más inestables. Los sistemas de teledetección espacial [5] requieren largos tiempos de procesamiento que, junto a los reducidos pasos de vuelo, dificultan su empleo como apoyo operativo en tiempo real. Finalmente, la mayoría de los sistemas Predictores-Correctores [6] dependen de las observaciones realizadas por las brigadas de incendio para su posterior simulación, resultando en problemas similares a las redes de vigilancia terrestre móvil.

El Instituto para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación en Comunicaciones (IDETIC), cuenta con el proyecto “Desarrollo de nuevas técnicas para detección y Seguimiento de Líneas de Fuego en incendios forestales basado en sensores térmicos móviles de despliegue rápido” (SeLiF) [7]. Este proyecto tiene como objetivo la detección y

seguimiento en tiempo real de incendios en zonas forestales mediante el empleo de cámaras térmicas fácilmente transportables, autocalibrables, autónomas e inalámbricas, pudiendo ser desplegadas rápidamente para cubrir el área de interés.

Estos sensores móviles, capaces de conocer su ubicación en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) [8], realizan una búsqueda de fuego en intervalos de tiempo configurables. Con el fin de lograr una visión completa de sus alrededores, la cámara se conecta a un motor que permite realizar una rotación de la misma, ejecutando la comprobación de la señal térmica tras cada movimiento del motor.

Una vez se hayan obtenido las imágenes térmicas, se comprueba la existencia de puntos en los que se supera el umbral para el cual se considera la existencia de fuego. En caso de ser detectado, se procede a generar una Imagen Sintética con el fin de conocer las coordenadas exactas del incendio. Para ser capaz de generar dicha imagen, es preciso poseer los parámetros relativos a la orientación, ubicación y a las características técnicas de la cámara termográfica. Las imágenes térmicas georreferenciadas recogidas deberán ser procesadas por un ordenador y contrastadas con una base de datos, de forma que el sistema de representación pueda mostrar en tiempo real la evolución de las líneas de fuego, asistiendo así a los equipos de extinción de incendios.

El proyecto incluye una primera versión de Asistente al Despliegue, programa que tiene como objetivo principal la propuesta de las mejores ubicaciones para vigilar superficies de interés. Esta área puede ser delimitada con carácter preventivo en aquellos casos de amenaza potencial de incendio, cuando se den las condiciones ambientales de humedad inferior al 30 %, temperaturas superiores a 30°C y vientos superiores a 30 km/h, o en caso de incendio.

El conocimiento de estas ubicaciones permitiría situar las cámaras térmicas en aquellos lugares que ofrezcan toda aquella información necesaria para centrar el esfuerzo de los equipos anti-incendios en las zonas de mayor peligro, tanto para asegurar la integridad de las personas como para evitar la expansión del incendio.

Con el fin de realizar las funciones de control y seguimiento de incendios asociados al Asistente al Despliegue, se requiere obtener información relativa a la zona de interés. El área en la que trabaja el Asistente al Despliegue viene determinada por un archivo que posee los datos característicos de la sección del terreno que representa, tales como coordenadas y alturas. La georreferenciación del incendio es posible gracias a los datos contenidos en dicho archivo. A partir de esta información se podrán determinar las posiciones de aquellos puntos que se consideren adecuados para la observación del terreno y la monitorización del incendio.

Atendiendo a estas premisas, se ha desarrollado un programa que incluye una interfaz gráfica de usuario que obtiene las coberturas de detección de los puntos estratégicos de una zona geográfica. Este programa permite introducir planos cartográficos Geotiff [9], mostrar hasta 4 zooms del plano, introducir ubicaciones de puntos de observación,

asociando sus parámetros (cobertura radioeléctrica, accesibilidad, visibilidad, valoración global) y cobertura de visión (figura 1.1). Finalmente, es capaz de generar un fichero con formato kml para poder representar en Google-Earth estos aspectos. La cobertura de detección viene delimitada por las características de la cámara térmica.

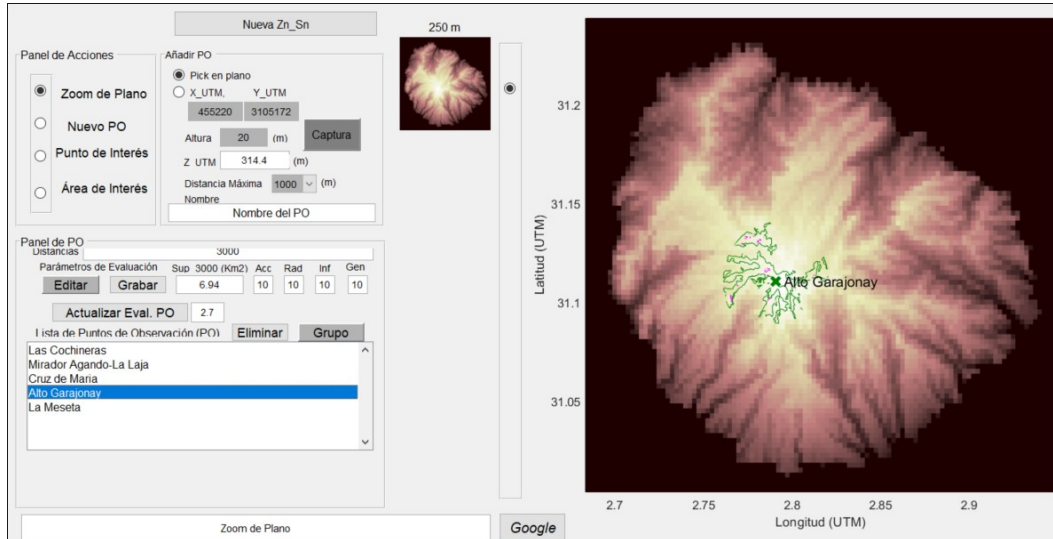


Figura 1.1: Matriz de alturas. Desplazamiento de coordenadas de referencia de celda inferior izquierda (ASCII) a esquina superior izquierda (geotiff)

La versión actual del Asistente al Despliegue se ve limitada por los archivos que podamos seleccionar para realizar el seguimiento de una zona. Como consecuencia de la fragmentación de la planimetría, existe el problema de que la zona de interés no pueda ser completamente representada por un único archivo, como ocurre en la Península Ibérica debido a su extensión. La necesidad de ejecutar el programa empleando varios archivos de trabajo trae como consecuencia una ralentización del mismo, además de incrementar la complejidad de los algoritmos empleados. Por lo tanto, una mejor aproximación para evitar dichos problemas es incluir un proceso de generación de un nuevo archivo, el cual comprenda el territorio de interés localizado en varios mapas, simplificando los procesos de representación y seguimiento del incendio.

## 1.2. Objetivos

El objetivo final de este proyecto es realizar una mejora del Asistente al Despliegue, realizando un diseño en entorno MATLAB de un sistema de generación de mapas de trabajo alrededor de un punto de interés para el cual se precise realizar el control de incendio. Para ello, será necesario realizar las siguientes tareas:

- Identificación por geolocalización de la superficie de interés.
- Generación del mapa de la superficie donde se realice el control de incendio.

- Visualización de la zona en interfaz gráfica.

### 1.3. Estructura de la Memoria

Este documento está organizado según la siguiente estructura:

- Capítulo 1. Introducción.- Se describen los antecedentes, objetivos y la estructura de la memoria.
- Capítulo 2. Sistema de Coordenadas.- Se describen los sistemas de coordenadas con los que el programa realiza las labores de geolocalización, así como el método de conversión empleado.
- Capítulo 3. Archivos de Trabajo.- Se describen las características principales de los archivos de trabajo y el proceso por el cual se obtienen sus datos.
- Capítulo 4. Escenarios de Trabajo.- Se establecen las distintas soluciones del programa en función del número de archivos requeridos por el sistema y la localización geográfica de estos.
- Capítulo 5. Ventana de Visualización.- Se describe la metodología seguida para obtener el territorio georreferenciado requerido a partir de los diferentes mapas, además de la generación del archivo resultante.
- Capítulo 6. Implementación en Interfaz.- Se comentan los cambios realizados en la interfaz para adaptarla a las nuevas funciones del sistema.
- Capítulo 7. Resultados.- Se comprueban los resultados de los anteriores capítulos.
- Capítulo 8. Conclusiones.- Se extraen las conclusiones relativas a los resultados obtenidos.
- Anexos.
- Bibliografía.

## Capítulo 2

# Sistema de Coordenadas

Una proyección cartográfica es una representación de la superficie de un cuerpo esférico en un plano [10]. La proyección es generalmente utilizado para realizar una representación de la Tierra, incluyendo líneas delimitadoras de meridianos y paralelos como elementos de referencia. Por la propia naturaleza de realizar la representación de un objeto de 3 dimensiones en una superficie plana, esto no es posible de realizar sin generar cierta distorsión en el terreno. Si el mapa cubre un continente, la distorsión será visualmente aparente. Por otro lado, si la región a visualizar es del tamaño de una ciudad, la distorsión apenas puede ser medida. La proyección sobre la Tierra, comprendiéndola como un cuerpo elipsoide rotado sobre su eje menor, puede verse realizada de forma cónica, acimutal o cilíndrica, siendo este último el empleado por el sistema de coordenadas al que se refieren los archivos sobre los que se trabaja en el proyecto.

### 2.1. Coordenadas Universal Transversal de Mercator

El programa hace uso del sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator [11] (en adelante UTM), para realizar la georreferenciación del archivo. La proyección UTM divide el globo terráqueo en un total de 60 husos y 20 bandas. Cada zona UTM se ve caracterizado por un número(huso) y una letra (banda). Se presenta en la figura 2.1 un ejemplo de la representación de este sistema de coordenadas. Cada huso tendrá su propio meridiano central que actuará como origen de sus coordenadas X (Easting). Si nos situamos en el hemisferio norte, las coordenadas Y (Northing) tendrán su origen en el ecuador.

La coordenada X de cada zona UTM sólo dependen de la distancia con respecto al centro del mismo, lo que resulta en que su valor cambie drásticamente al alcanzar un huso adyacente, pasando de valores aproximados de 20.000 km a 70.000 km y viceversa. Esta variación requeriría de tareas de modificación de coordenadas, transformándolas

a los valores que tendrían de pertenecer ambos archivos al mismo huso, lo que podría resultar en graves errores de precisión. En su lugar, se decide realizar una conversión de coordenadas a un sistema que no posea dependencias tan restrictivas.

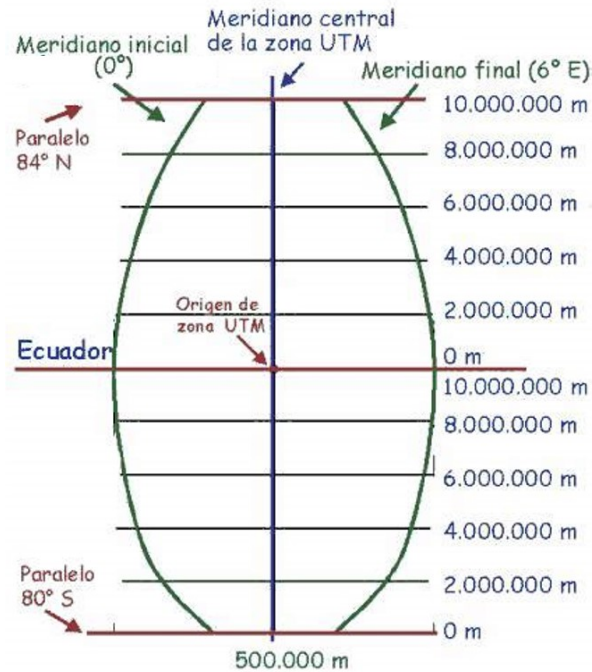


Figura 2.1: Descripción de las dimensiones de una zona UTM

## 2.2. Coordenadas Geográficas

El sistema de coordenadas geográficas utiliza unidades de grados decimales para proporcionar información de la posición. Estas unidades son denominadas como Latitud y Longitud, los cuales son ángulos medidos desde el centro de la Tierra hasta un punto de la superficie terrestre. Este sistema de coordenadas emplea el mismo modelo de tierra elíptica que UTM, pero no realiza la proyección del terreno a una superficie plana.

Con el fin de identificar cada posición en la Tierra, se ha realizado una superposición de la superficie terrestre con una red de líneas de longitud y latitud, comúnmente denominadas como meridianos y paralelos, respectivamente (figura 2.2). Los paralelos de latitud están formados por círculos equidistantes que rodean la Tierra de forma paralela con el Ecuador, alcanzando valores entre  $+90^{\circ}$  y  $-90^{\circ}$  en los polos Norte y Sur, pasando por  $0^{\circ}$  en el Ecuador. Los meridianos de longitud se forman con una serie de líneas imaginarias, conectadas en los polos, y cruzando cada paralelo de latitud en ángulos rectos. Todos los meridianos son idénticos en forma y tamaño, existiendo el meridiano de Greenwich como referencia de  $0^{\circ}$ , tras el que existe un rango de  $\pm 180^{\circ}$ .

Las coordenadas geográficas cuentan con la ventaja de que la georreferenciación de cada punto del mapa es independiente del huso en el que se localiza. Si bien la proyección del territorio es esencial para realizar el resto de tareas del proyecto SeLiF (conocimiento de las distancias entre puntos), los procesos de unión de archivos se ven beneficiados por este sistema.

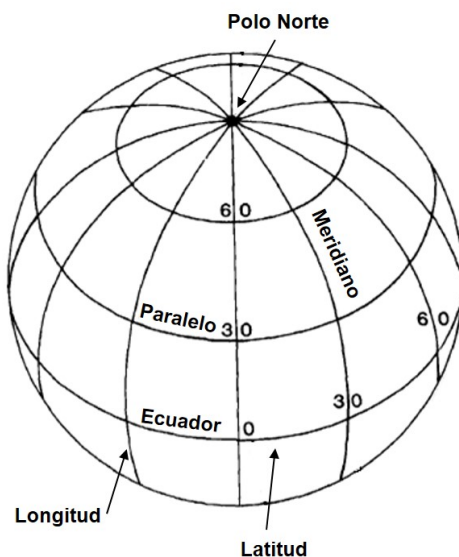


Figura 2.2: Representación de las principales características de las coordenadas geográficas

### 2.3. Método de Conversión

Para el desarrollo del programa, se realizarán dos conversiones de coordenadas. En primer lugar, las coordenadas UTM por las que se ven caracterizados los archivos *geotiff* se transforman a coordenadas geográficas para realizar los procesos de unión de archivos. Una vez finalizado, se realizará la segunda conversión para devolver las coordenadas al sistema original con el fin de generar del nuevo elemento *geotiff*. Se pueden encontrar tres procedimientos distintos para realizar la conversión entre coordenadas geográficas y UTM: Tablas de conversión UTM [12], fórmulas directas de transformación del Ejército de los EE.UU.[13] y las fórmulas de Coticchia-Surace [14].

Tanto las tablas de conversión y las fórmulas directas tienen como inconvenientes la necesidad de elementos externos (tablas) o una alta complejidad de implementación. En la ejecución del programa se empleará el último método, el cual proporciona una precisión centimétrica. Para ambas conversiones se tomarán en cuenta a las constantes del valor de excentricidad de la Tierra y el radio de la curvatura entre los polos.

Así pues, la primera conversión se realiza a través de la función Matlab *utm2deg()*

la cual obtiene la latitud y longitud a través de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Longitud} = \Delta\lambda + \lambda_0$$

$$\text{Latitud} = \varphi + [1 + e * \cos^2(\varphi) - \frac{3}{2} * e * \sin(\varphi) * \cos(\varphi) * (\tau - \varphi)] * (\tau - \varphi)$$

Las coordenadas originales influyen en gran medida a  $\varphi$  y  $\lambda_0$ , Northing y meridiano central del huso respectivamente. El resto de las variables son dependientes de ellas y/o de las dimensiones de la Tierra. La segunda conversión, volviendo a las coordenadas UTM, se realiza a través de las formulas establecidas en la función *deg2utm()* que actúa como inversa de las ecuaciones anteriores.

$$X = \xi * v * (1 + \frac{\zeta}{3}) + 500.000$$

$$Y = \eta * v * (1 + \zeta) + B_\varphi$$

Una vez establecidas las funciones de conversión, se comprueba la calidad de sus resultados. Para ello, se realizara en primer lugar una comprobación de la precisión de la conversión y, en segundo lugar, una evaluación del tiempo de ejecución. Para determinar la precisión se emplean como coordenadas de referencias las de un punto seleccionado por Google Earth, obteniendo su posición en UTM y en latitud/longitud. Una vez se realiza la conversión, se comprueba la diferencia del resultado obtenido con la coordenada de referencia correspondiente. Se puede observar en la tabla 2.1 unos valores de error inferiores al medio metro para la conversión a UTM y errores inferiores a  $10^{-5}$  para la conversión a grados, siendo estos valores más que aceptables para el seguimiento de incendios forestales empleando mapas con 5 metros de resolución. Las coordenadas sobre las que se han realizado las comprobaciones se sitúan en el extremo del huso 30, donde se puede esperar la mayor distorsión del terreno. Repitiendo el experimento en diferentes áreas, como el centro del huso, se obtienen resultados similares: errores inferiores a 0.5 metros y  $10^{-5}$  grados.

	UTM (*10 <sup>5</sup> m)			Grados (°)	
	Zona	Easting	Northing	Latitud	Longitud
<b>Referencia</b>	31T	2.49452	45.72099	41.261481	0.009219
<b>Conversión a Grados</b>	-	-	-	41.261478	0.009214
<b>Conversión a UTM</b>	31T	2.49452	45.72099	-	-
<b>Error</b>		0.4014 m	0.2316 m	2.204*10 <sup>-6</sup> °	4.648*10 <sup>-6</sup> °

Tabla 2.1: Error en los cambios de coordenadas tomando un punto de Google Earth como referencia



## Capítulo 3

# Archivos de Trabajo

Para el correcto funcionamiento del programa, se requiere que los archivos de trabajo informen de dos aspectos esenciales: alturas y coordenadas. El archivo debe proporcionar la altura en cada uno de sus puntos, además de entregar los medios necesarios para obtener la posición geográfica de cada uno de ellos. Para ello, generalmente se establece un punto de referencia con coordenadas conocidas, así como un paso de malla que define la distancia entre puntos. Haciendo uso de estos dos elementos, se podrá obtener las coordenadas en cada punto del mapa.

Como se ha mencionado anteriormente, uno de los objetivos del proyecto es el correcto funcionamiento del mismo empleando archivos *geotiff*, los cuales cumplen con los requisitos expuestos. Para ello, se hace empleo de la base de datos pública del Instituto Geográfico Nacional (en adelante IGN) [15] por el cual se podrán obtener los modelos digitales del terreno [16] (en adelante MDT). Sin embargo, IGN no proporciona archivos *geotiff* para estos documentos, ofreciendo en su lugar archivos de texto ráster Esri ASCII [17]. Estos documentos siguen cumpliendo con las necesidades para el funcionamiento del programa, ofreciendo información sobre las alturas y sus coordenadas, por lo que se realizará una conversión al formato *geotiff*. Teniendo en cuenta la necesidad del programa final de trabajar con varios archivos con paso de malla múltiplos de 5 metros, la operación de conversión se realiza empleando como base los MDT con paso de malla de 5 metros, a los que se les ejecutará el comando *imresize* para ajustarse a las diferentes escalas empleando interpolación bicúbica [18].

### 3.1. Conversión Esri ASCII-Geotiff

La característica principal de los archivos Esri ASCII es la presentación de sus datos en formato ráster, en el cual cada celda de datos recibe un único valor representativo para toda la superficie abarcada por la misma. Además, estos archivos contienen la siguiente información descriptiva:

- NCOLS. Número de columnas de la matriz de datos.
- NROWS. Número de filas de la matriz de datos.
- XLLCENTER. Coordenada de referencia X (UTM) del centro de la celda inferior izquierda.
- YLLCENTER. Coordenada de referencia Y (UTM) del centro de la celda inferior izquierda.
- CELLSIZE. Dimensiones de cada celda (en metros).
- NODATA\_VALUE. Valor por defecto asignado tanto a errores como a celdas sin relevancia aparente, como podría ser la superficie del mar.

Por el otro lado, los archivos *geotiff* se ven caracterizados por tres elementos: matriz de referencia, etiquetas de información y datos de alturas. La matriz de referencia será la responsable de que sea posible obtener la posición geográfica de todos los puntos del mapa. Para ello, esta fija la posición geográfica del punto superior izquierdo del mapa y establece las dimensiones de la sección del terreno representado en cada celda. La matriz de referencia será definida por medio de la modificación de las etiquetas correspondientes.

$$\begin{aligned} \text{ModelTiepointTag} &= [0;0;0;X;Y;0] \\ \text{ModelPixelScaleTag} &= [dx;dy] \end{aligned}$$

Siendo (X,Y) las coordenadas UTM del punto a localizar y [dx,dy] las dimensiones en cada eje de las celdas. Se emplearán celdas cuadradas, por lo que las dimensiones a definir serán las mismas. Para poder localizar estas celdas, se ha de establecer que cada una de ellas se caracteriza por un par de coordenadas (*GTModelTypeGeoyKey*) y que estas no representan un punto específico del mapa, sino un área de superficie ya establecida (*GTRasterTypeGeokey*).

$$\begin{aligned} \text{GTModelTypeGeoyKey} &= 1 \\ \text{GTRasterTypeGeokey} &= 1 \end{aligned}$$

Con los ajustes realizados, los datos de alturas de los archivos *geotiff* no difieren de aquellos obtenidos en los archivos ráster Esri ASCII. Por lo tanto, para realizar la conversión se deberán desplazar las coordenadas de referencia según las dimensiones de la matriz de datos y de las celdas, como se ve representado en la figura 3.1. Es decir, se obtiene la coordenada de Northing de referencia del archivo Esri ASCII situado en la casilla inferior izquierda, tras lo cual habrá que sumarle la distancia recorrida en el mapa hasta la esquina superior. Además, se debe tener en cuenta que los archivos *geotiff*

no emplean como referencia el centro de la casilla, sino las coordenadas asociadas a la esquina superior izquierda de esta, por lo que habrá que modificar el valor de las coordenadas calculadas por la mitad del paso de malla.

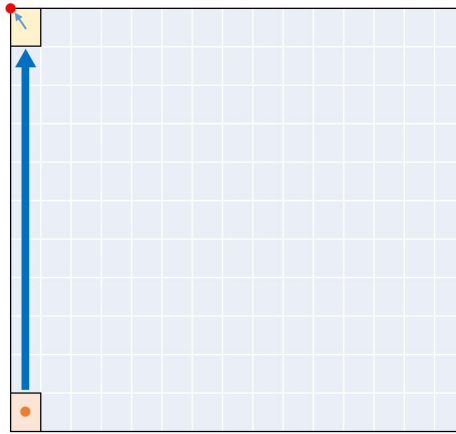


Figura 3.1: Matriz de alturas. Desplazamiento de coordenadas de referencia de celda inferior izquierda (Esri) a esquina superior izquierda (geotiff)

La generación final del *geotiff* se realiza por medio de la función Matlab *geotiffw*, el cual toma como entrada el nombre del archivo, los datos de alturas, la profundidad de bits y las etiquetas.

$$geotiffw(\text{nombre}, \text{datos}, 16, \text{option})$$

## 3.2. Nomenclatura

Existe una necesidad de normalizar la nomenclatura de los archivos, tanto por los requerimientos del programa como para facilitar la interactividad con el responsable de operar el sistema. La nomenclatura definida debe ser capaz de proporcionar la mayor cantidad de información identificativa posible, pero sin complicar en exceso la lectura humana del archivo. Para ello, se establecen los elementos más representativos de los archivos de trabajo.

El territorio bajo vigilancia se divide en varias zonas que, a su vez, están compuestas por varias secciones. Los archivos correspondientes a estas zonas representan la superficie del territorio con una cierta resolución/escala. Se podrá obtener una altura y una localización de cualquier punto de esa superficie. Condensando estas consideraciones a su valor mínimo, se definen las características claves de cada archivo, las cuales se ven representadas en la nomenclatura final tal y como se presenta en la figura 3.2.

- Zona. Superficie de terreno general de la zona de vigilancia.
- Sección. Cada Zona se ve dividida en varias columnas y filas para cada una de las cuales existe un archivo (mapa). La Sección es la superficie de terreno específico de la zona de vigilancia.

- Escala. Los archivos podrán tener una escala de 1, 5, 10, 20 ó 50. Este valor multiplicado por 5 representará el paso de malla (en metros) del archivo.
- Profundidad. Profundidad de bits para establecer el rango de alturas. Se establecen 16 bits para una altura máxima de 65.535 metros.
- Zona UTM. Combinación de la zona y el huso UTM del punto empleado como referencia.

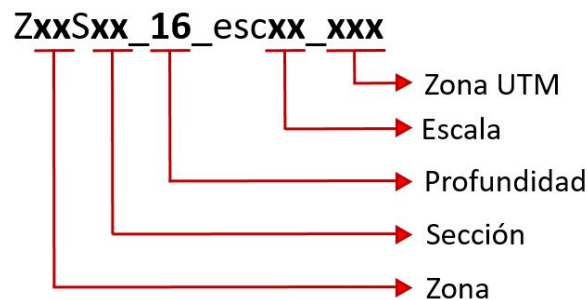


Figura 3.2: Nomenclatura estándar de los archivos de trabajo

Mediante estas reglas, es posible identificar la localización de cada archivo y sus características de importancia. Si bien no es necesario conocer la zona UTM para identificar su localización física (vendrá definida en la matriz de referencia), será importante denotarla para realizar las operaciones de conversión de coordenadas.

### 3.3. Conversión de coordenadas

Para poder realizar la conversión a las coordenadas de trabajo, se genera una matriz de datos de dimensiones iguales al archivo de trabajo. Empleando la función de Matlab *pix2map()*, la cual obtiene las coordenadas correspondientes a un punto de la matriz dado según una matriz de referencia, la matriz generada almacenará las coordenadas UTM para cada punto del mapa. Tras esto, se emplean las reglas en la nomenclatura del archivo para conocer el parámetro de la zona UTM donde este se sitúa y poder así realizar la conversión a grados. El conocimiento de las coordenadas de cada punto del mapa no es relevante en la generación de la ventana que solo requiera de un archivo, pero se vuelve esencial en el proceso de unión de mapas.



Figura 3.3: Proceso de conversión de coordenadas UTM a Grados

## Capítulo 4

# Escenarios de Trabajo

La naturaleza del proyecto indica la posibilidad de que el archivo principal en donde se selecciona el punto central de visualización no comprenda territorio suficiente para completar la ventana de visualización, necesitando así archivos complementarios. Se llamará “exceso” a aquellas segmentos de la ventana de visualización que no pertenezcan al archivo principal.

La ejecución del programa varía en función de la posición de estos excesos, por lo que se definen numéricamente a todos los escenarios posibles en función del borde de la ventana de visualización que entra en exceso. Se define así el escenario 1, para el cual no hacen falta archivos complementarios; el escenario 2, para el cual se necesitan los datos del mapa situado a la izquierda; etc. La tabla 4.1 recoge todas las posibilidades a considerar.

Escenario	Exceso			
	Izquierda	Arriba	Derecha	Abajo
1	-	-	-	-
2	✓	-	-	-
3	-	✓	-	-
4	-	-	✓	-
5	-	-	-	✓
6	✓	✓	-	-
7	-	✓	✓	-
8	-	-	✓	✓
9	✓	-	-	✓

Tabla 4.1: Relación de excesos en la ventana de visualización con escenario de trabajo

Habiendo definido los escenarios de trabajo, se puede realizar una agrupación de estos en función del número de archivos necesarios para la ejecución del programa. Observando la tabla 4.1, se puede comprobar fácilmente el número de mapas necesarios en función de cuantos excesos existan por escenario:

- Un archivo. El escenario 1 requiere únicamente al archivo original.

- Dos archivos. Los escenarios 2-5 requieren un archivo complementario para el borde afectado.
- Cuatro archivos. Los escenarios 6-9 presentan dos excesos, requiriendo dos archivos complementarios. Además, para completar el cuadro de visualización se ha de incluir el archivo situado en la diagonal correspondiente. Como ejemplo, al trabajar cerca de la esquina superior izquierda del mapa se requieren los siguientes elementos:
  - Archivo original.
  - Archivo situado a la izquierda del original.
  - Archivo situado arriba del original.
  - Archivo situado en la diagonal superior izquierda del original.

Cuando el usuario selecciona un punto de interés donde centrar la ventana de visualización a generar, el sistema trabajará en función del escenario cuyo identificador sea más alto. La figura 4.1 indica la relación entre los escenarios de trabajo y los archivos necesarios en función de su localización en el territorio. En dicha figura se representa como posición central al archivo original, el cual será empleado en el escenario 1. A su alrededor se representan la posición de los archivos requeridos para el resto de escenarios. Es decir, el escenario 2 requiere además el archivo que se sitúa a su izquierda, el escenario 6 trabaja con el archivo situado en la parte superior izquierda, el 3 necesita el archivo superior, etc.

6	3	7
2	1	4
9	5	8

Figura 4.1: Representación de los 9 escenarios de trabajo. Blanco: 1 archivo. Azul: 2 archivos. Naranja: 4 archivos

Si se pretendiese generar una ventana de visualización con un tamaño tal que sean necesarios más de cuatro archivos, el programa no será capaz de ejecutarse correctamente. Por lo tanto, el tamaño de la ventana debe ser inferior a las dimensiones del archivo principal. Los archivos de trabajo empleados poseen unas dimensiones aproximadas de 30x20 km, por lo que se trabajará con ventanas de 15x15 km.

Así pues, una vez se presente el archivo principal en pantalla, se seguirán los pasos vistos en la figura 4.2. Primero se selecciona el punto de interés, actuando como centro de la ventana de visualización. Luego se comprueban los excesos, los cuales estarán afectados por el tamaño de a ventana. Una vez comprobado, se determina el escenario y, siguiendo las normas de nomenclatura establecidas, se obtendrán los archivos complementarios.

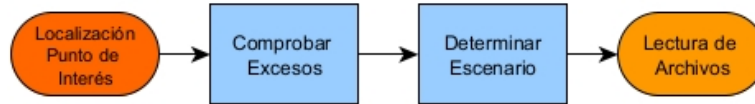


Figura 4.2: Obtención de los datos necesarios para generar la ventana de visualización

## 4.1. Posición del Norte

Debido a la proyección cartográfica del territorio, es posible encontrarse con archivos sobre los que exista un cambio de huso dentro del territorio representado. La figura 4.3 muestra un segmento del territorio perteneciente a Cataluña, el cual se ve dividido en los husos 30 y 31, y se muestra la diferencia en coordenadas Easting de dos puntos cercanos. Como se menciona en el apartado 2.1 Coordenadas Universal Transversal, las coordenadas UTM tienen como punto de origen el centro de cada huso, lo que explica la elevada diferencia de coordenadas para puntos situados a unos pocos kilómetros de diferencia. Esta característica de las coordenadas UTM es la responsable del requerimiento de conversión de coordenadas al sistema geográfico. Sin embargo, se debe recordar que los archivos de trabajo ven sus coordenadas definidas según la matriz de referencia, la cual describe las coordenadas según uno de los dos husos. Por lo tanto, la sección del mapa que no pertenece al mismo huso que la matriz de referencia poseerá unas coordenadas “falsas”. Volviendo a la figura 4.3, si la matriz de referencia se basa en las coordenadas del huso 30, el punto verde situado en el huso 31 tendría una coordenada X superior a 750.000 m.

Estas coordenadas “falsas” no son más que una extensión del territorio cubierto por el huso, pero esta se realiza sobre una superficie plana para representar la curvatura de la Tierra. Es decir, una vez se exceden los límites del huso, la asignación de coordenadas de este territorio no tiene en consideración la curvatura del planeta, resultando en una desviación con respecto a sus coordenadas reales. Como solución, si la zona de interés se sitúa en esta zona, se imita el efecto de la curvatura realizando una operación de rotación sobre el archivo.

En Matlab, la operación se puede realizar simplemente con el comando *imrotate* (anexo A) para el cual sólo hará falta especificar el ángulo de rotación ( $\alpha$ ), el cual se establece a  $3.7^{\circ}$  para lograr el ajuste de coordenadas. Además del archivo en sí

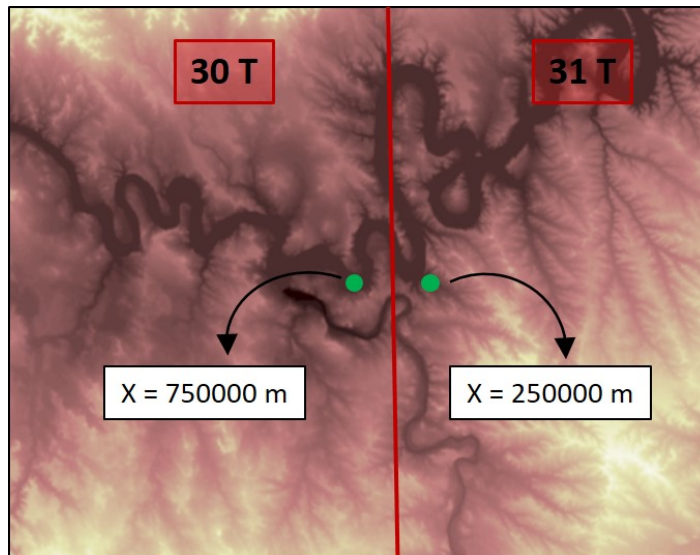


Figura 4.3: Archivo situado en dos husos diferentes, mostrando la coordenada de Easting de dos puntos cercanos localizados en distintos husos

mismo, también es necesario conocer la nueva localización del punto seleccionado por el usuario, que igualmente deberá verse sometido a una operación de rotación. Para ello se establece una matriz de rotación en dos dimensiones ( $M_{rotacion}$ ) la cual desplazará al punto a su nueva posición, empleando para ello la posición (fila y columna) del centro de la matriz tanto de forma previa como posterior a la rotación (anexo B).

$$M_{rotacion} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\text{sen}(\alpha) \\ \text{sen}(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix}$$

$$punto_{rotado} = M_{rotacion} * (punto - centro) + centro_{rotado}$$

Además de esto, se debe asegurar la correcta posición de unos puntos situados en cada lateral del mapa. Esto será desarrollado con más detalle en el apartado 5.1.1 Punto Unión pero, a efectos del apartado actual, estos puntos deben situarse en una posición tal que sea posible establecer los bordes de la ventana de visualización a partir de ellos. Según se muestra en la figura 4.5, debido a la rotación del archivo (cuadro azul) la mitad de la longitud de la ventana (MV) a generar contiene elementos introducidos en la matriz de datos por el proceso de rotación (cuadro gris).

Con el fin de evitarlo, se realiza un desplazamiento del punto una distancia “d” la cual puede ser determinada al considerar el segmento gris de la imagen como un triángulo con ángulo  $\alpha$  y lado igual a la mitad de la ventana (figura 4.4). La distancia se obtendrá empleando la ecuación  $d = MV * \text{tng}(\alpha)$  (anexo C).



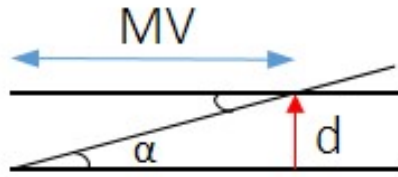


Figura 4.4: Representación triangular del segmento de elementos no deseados tras la rotación. MV: mitad de la ventana.  $\alpha$ : ángulo de rotación. d: desplazamiento a calcular

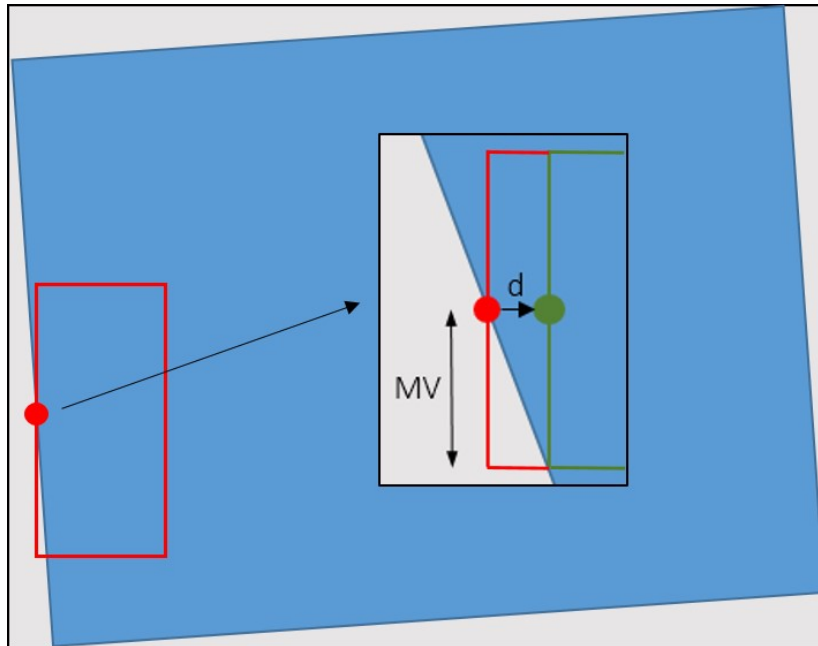


Figura 4.5: Representación de un archivo rotado (azul) y la incursión de elementos no deseados (gris) en la ventana de visualización (rojo). En verde se muestra la ventana tras el desplazamiento

## Capítulo 5

# Ventana de Visualización

Como ya se ha explicado previamente, se llamará “ventana de visualización” a la sección del terreno obtenido como resultado de la ejecución del programa, siendo necesarios entre uno o cuatro archivos diferentes. Las dimensiones de esta ventana tendrán un tamaño establecido previamente, y su posición está determinada por la selección del usuario.

Una vez se haya determinado la posición de la ventana en el archivo principal, se comprueba el escenario de trabajo y se realiza la lectura de los archivos complementarios necesarios, convirtiendo todos estos al sistema de coordenadas correcto. Quedan así definidos todos los pasos previos a la formación de la ventana y posterior generación del archivo *geotiff* correspondiente.

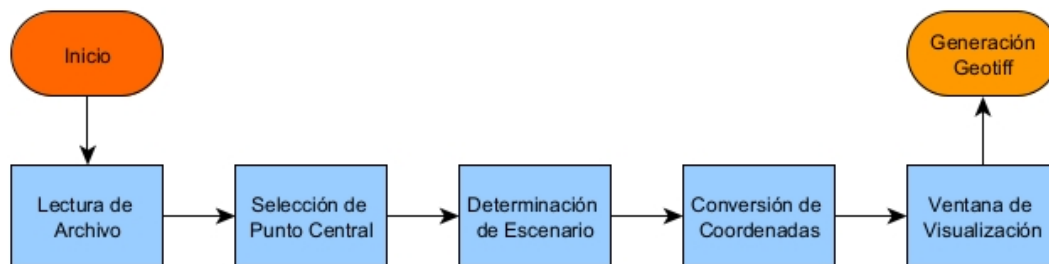


Figura 5.1: Diagrama de flujo general del programa

La lectura se lleva a cabo mediante los comandos *geotiffread* y *geotiffinfo* de Matlab, para obtener los datos de alturas y la matriz de referencia respectivamente (anexo D). Como se explicó en el apartado 3.2 Nomenclatura, los archivos de trabajo pueden verse caracterizados por diferentes pasos de malla (5, 25, 50, 100 ó 250 metros), garantizando una mayor precisión cuanto menor sea esta. Se trabaja con los archivos de 5 metros, garantizando la mayor precisión posible.

La formación de la ventana de visualización se ejecutará según lo visto en la figura 5.2. Tras comprobar el escenario de trabajo se realizarán las operaciones necesarias en función del número de archivos implicados. El objetivo del programa es encontrar

aqueellos elementos de cada archivo que se sitúen dentro de los márgenes de la ventana a generar (fracción de interés). Si se requiere la unión de solo dos archivos, se realiza directamente la búsqueda de un punto en ambos mapas que posean las mismas coordenadas. Dicho punto será empleado para delimitar los márgenes de cada fracción. De requerirse cuatro archivos, se realiza en primer lugar el proceso de unión de dos parejas de archivos (los dos mapas que forman la mitad izquierda de la ventana y los dos situados a la derecha) para luego imitar el proceso seguido con dos archivos, obteniendo las fracciones necesarias para la unión de la pareja resultante. De forma previa a este último paso, se ha de comprobar la localización del punto seleccionado por el usuario, el cual se debe mantener como el centro de la ventana. Tras esto, se juntarán las fracciones para formar el mapa final, la ventana de visualización, y su posterior conversión a *geotiff*.

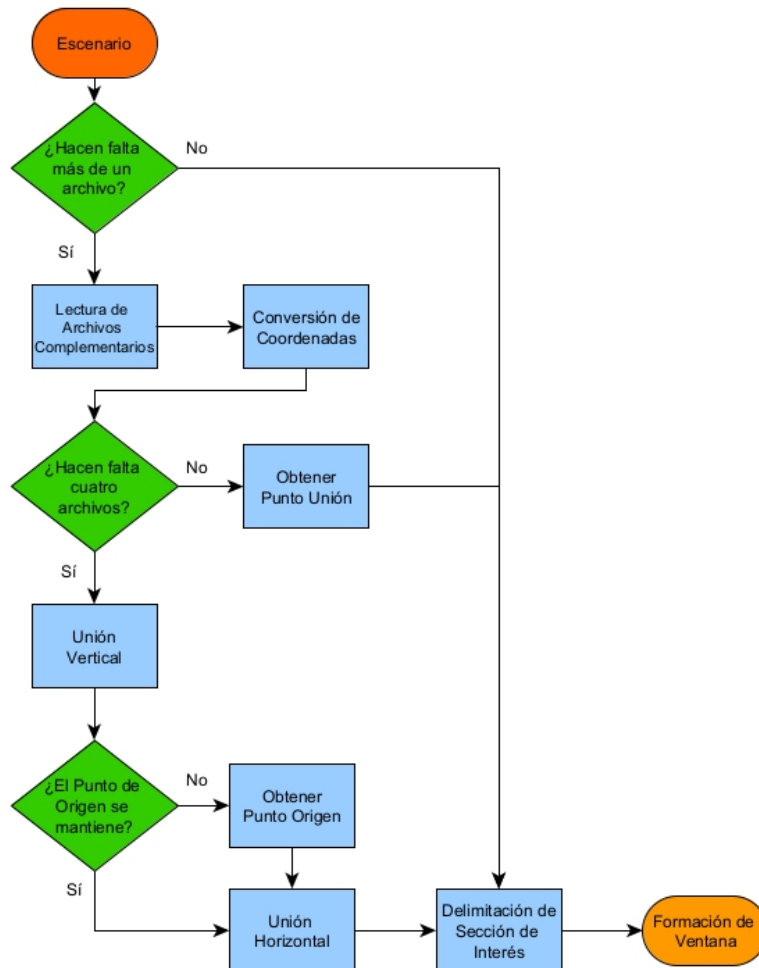


Figura 5.2: Diagrama de flujo de la generación de la ventana de visualización

El caso más sencillo es cuando no es necesario ningún archivo complementario (escenario 1), por lo que simplemente se tomarán los datos requeridos en función del punto seleccionado, las dimensiones de la ventana y la necesidad de realizar una operación de rotación (anexo E).

## 5.1. Varios Archivos de Trabajo

En caso de requerirse uno o varios archivos complementarios, estos serán identificados según las reglas de nomenclatura y el escenario de trabajo.

- Misma Zona, Escala y Profundidad.
- Columna adyacente: Variación  $\pm 1$  de la Sección.
- Fila adyacente: Variación  $\pm 10$  de la Sección.
- Comparativa de zonas UTM.

De no hallarse algún archivo requerido, se generará una matriz de tamaño genérico cuyo valor y matriz de referencia sean iguales a cero. Esta matriz será lo que se considere más adelante como “no válido”.

Tras localizar los archivos correspondientes (anexo F), se realiza la lectura y cambio de coordenadas al igual que se realizó en el archivo principal. El proceso por el cual se unirán las fracciones de interés se fundamenta en lo que se llamará “punto unión”. Los archivos de trabajo no presentan una continuidad perfecta del terreno, existiendo una parte de la superficie que se ve representada por mas de un archivo, existiendo además un desajuste en la alineación vertical de los mismos. Para poder presentar una unión perfecta entre los archivos (figura 5.3), se tendrá que buscar un punto que exista en dos archivos adyacentes y establecer los bordes de la ventana en función de estos.

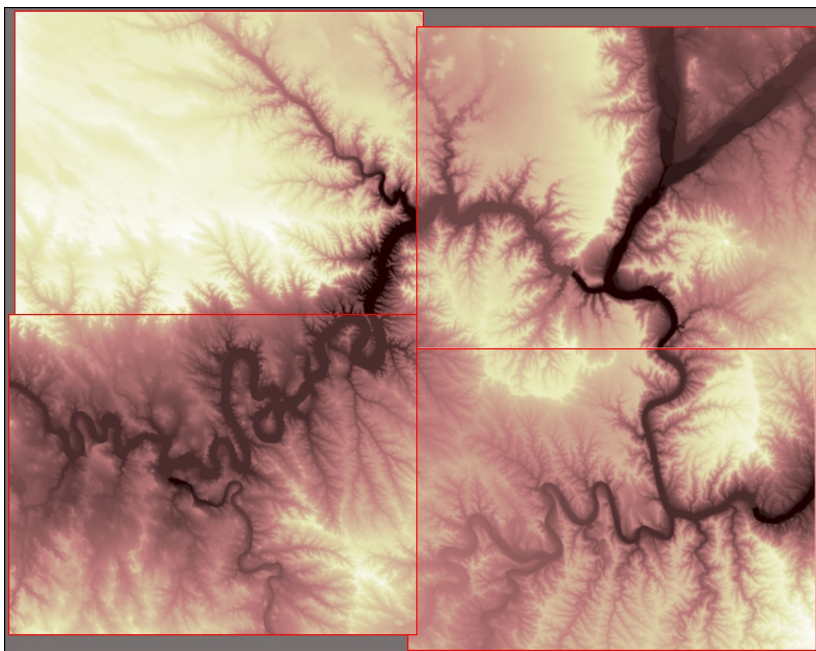


Figura 5.3: Correcta alineación del terreno de 4 archivos adyacentes

### 5.1.1. Punto Unión

Con el fin de obtener el punto unión, se selecciona un elemento próximo a uno de los extremos del archivo principal, del cual se obtendrán sus coordenadas. Estas serán comparadas con las coordenadas del archivo complementario apropiado, buscando la diferencia mínima. En Matlab existe la función *find* la cual puede devolver la posición del elemento que se busca, pero se evitará su empleo. El motivo de esto es que la función devolverá la posición que coincida exactamente con el punto de referencia dado, sin embargo, es posible que existan pequeñas disparidades (aproximadamente del orden de  $10^{-6}$ ) en las coordenadas obtenidas para un mismo punto según dos archivos diferentes. Esta diferencia, la cual puede ser debida a desajustes en las coordenadas de referencia o como producto del preprocesado (conversión de coordenadas o rotación de archivos), impediría encontrar el elemento común que se busca. Por lo tanto, se realiza una búsqueda no de equivalencias exactas, sino aproximadas.

La figura 5.4 muestra los archivos que conforman el mismo territorio que la figura 5.3, pero en esta situación no se han desplazado los mapas para simular la continuidad. Se remarca en cuadros azules la zona de interés de cada archivo (se le denominará en adelante como “fracciones”) para generar una ventana de visualización en la zona central. Se puede apreciar, con mayor facilidad en las fracciones superiores frente a las inferiores, una separación del borde del mapa con la fracción deseada. Esto es debido a la superposición del territorio representado por archivos adyacentes. Explotando esta característica de la planimetría, se podrá obtener un punto cuyas coordenadas coincida en ambos archivos (punto unión) y obtener los límites de la fracción a partir de su posición.

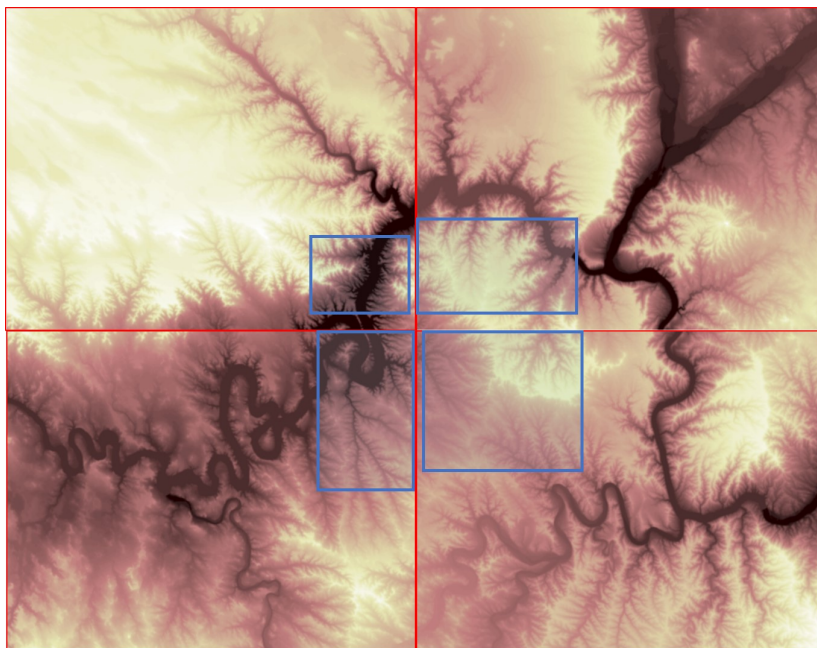


Figura 5.4: Fracciones del terreno necesarias para la formación de la ventana de visualización

## 5.2. Unión de Dos Archivos

Para obtener el punto que se usará como referencia, se desplaza el punto seleccionado por el usuario al borde del mapa que sea relevante para el escenario de trabajo. De este punto se deben obtener sus coordenadas en grados, para las cuales existirá una posición muy similar en el archivo adyacente. Para realizar la búsqueda (figura 5.5) se comprueba la diferencia entre las matrices de latitud y longitud del archivo complementario con la referencia, comparando el resultado con un valor de umbral determinado. Este valor de umbral, fijado a  $10^{-6}$ , definirá como de estricto se comportará el proceso, actuando como el mayor valor próximo a cero permitido. Se obtendrá el punto unión cuando se encuentre un punto cuya latitud y longitud se diferencien de las coordenadas de referencia en un valor inferior o igual al umbral. De no cumplirse esta condición, se incrementará el valor del umbral en pasos de  $10^{-6}$  hasta obtener un resultado o alcanzar el límite de repeticiones permitidas. La posición de la coordenada obtenida será la columna y fila de unión.

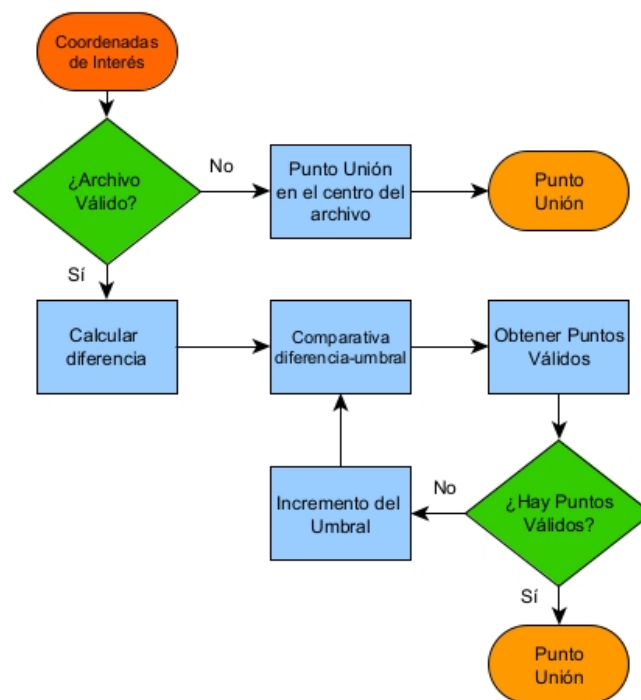


Figura 5.5: Proceso de diferenciación para obtener un punto cuyas coordenadas sean similares a aquellas dadas como referencia

Las dimensiones y el posicionamiento de las fracciones son dependientes del punto seleccionado por el usuario y el tamaño de la ventana deseado. La combinación de las distintas fracciones serán lo que lleven a conformar la ventana de visualización. Como ejemplo de esto se muestra la figura 5.6, la cual representa la formación de la ventana entre dos archivos laterales. A partir del punto seleccionado por el usuario (punto azul) se toman las coordenadas de una posición relativa a este, y se calcula la

posición equivalente en el archivo adyacente (puntos verdes). Las dimensiones de la fracción complementaria se establecen según la superficie que no pudo ser cubierta por el archivo principal, completando la ventana de visualización de tamaño establecido.

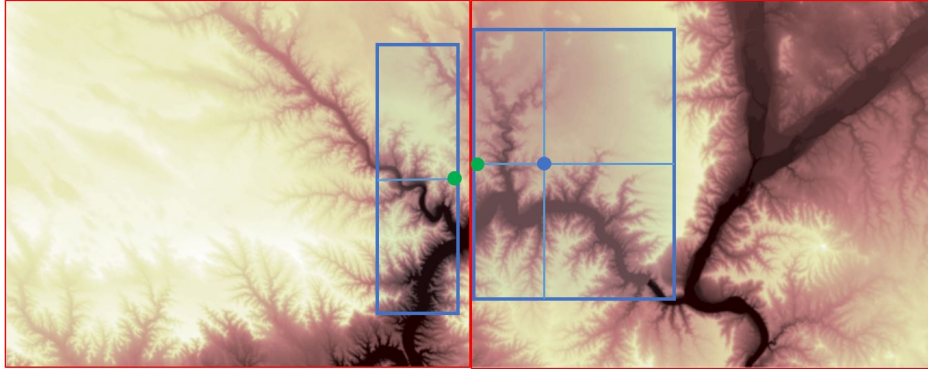


Figura 5.6: Archivos con datos de territorios adyacentes. Azul: Fracciones generadas para formar la ventana de visualización. Verde: Punto unión

### 5.3. Unión de Cuatro Archivos

Para aquellos escenarios de trabajo con múltiples archivos complementarios, se trabajará de manera similar al apartado anterior. Se siguen los mismos principios: Buscar el punto unión en archivos adyacentes y definir las fracciones en cada archivo para su combinación en la ventana de visualización. La distinción principal radica en que este proceso se realizará en dos partes:

1. Unión de elementos verticales. Se realizan dos operaciones de unión, obteniendo como resultado las fracciones que constituyen la parte izquierda y derecha de la ventana final.
2. Unión de elementos horizontales. Se realiza la unión de las fracciones generadas en el paso anterior.

Siguiendo con las operaciones realizadas para dos archivos, la unión se realizará a partir de la posición del punto unión obtenido. Sin embargo, su localización está relacionada con el punto seleccionado por el usuario. Al operar entre dos archivos complementarios, no es posible trabajar con esta relación, por lo que se ha de realizar un proceso de búsqueda de un punto cuyas coordenadas estén presentes en ambos archivos.

#### 5.3.1. Unión de Fracciones Verticales

Se preparan los datos necesarios para formar la ventana de visualización final. El resultado deseado (figura 5.7) es la unión perfecta de las fracciones situadas en los

laterales, definidas según la localización determinada por el usuario y las dimensiones de la ventana. Para ello, se sigue la misma metodología descrita en el capítulo 5.2 Unión de Dos Archivos.

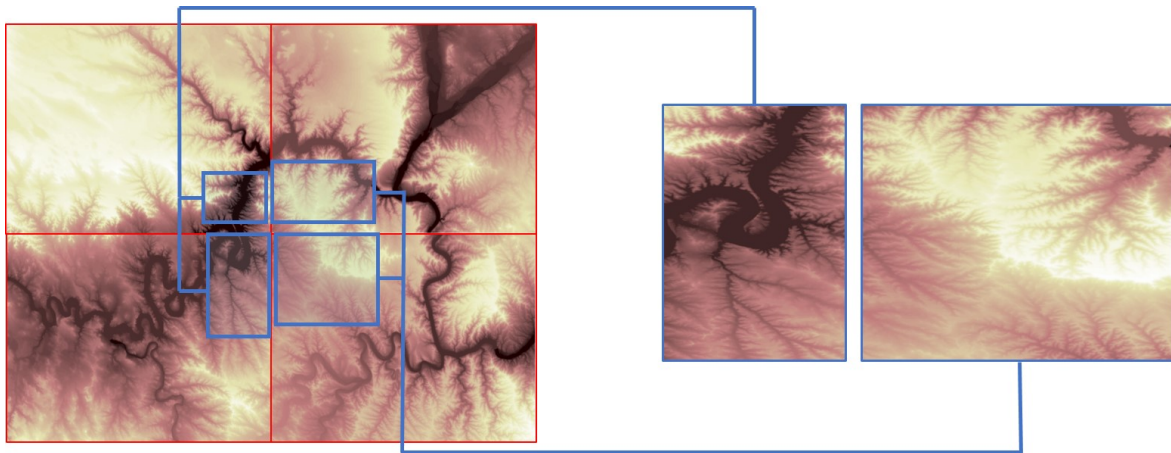


Figura 5.7: Representación de la unión vertical de los elementos.

Para cada pareja de uniones, se tratará al archivo representante del territorio superior como aquel que proporcionará las coordenadas a emplear como referencia. Estas estarán localizadas en el extremo inferior derecho de la matriz de datos para el archivo de la izquierda; y en el extremo inferior izquierdo para el terreno situado a la derecha.

Se realiza el proceso definido para obtener el punto unión ya visto en la figura 5.5, empleando su resultado como la entrada de este segmento. El proceso a seguir, descrito en la figura 5.8, consiste simplemente en la comprobación de la validez de la columna y fila de unión obtenidas. Se entiende como punto “no válido” cuando el archivo en sí no es válido, o cuando se ha superado el límite de repeticiones permitido en la operación de diferenciación. Si la posición es válida, será considerado como el punto unión. De no serlo, se realiza un desplazamiento de columna para conseguir unas nuevas coordenadas de referencia a emplear en una nueva operación de diferencia.

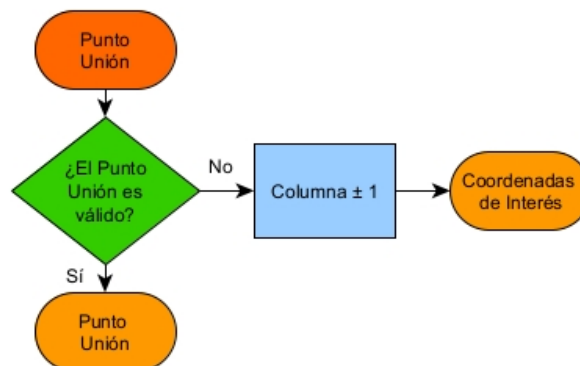


Figura 5.8: Operación de desplazamiento de columna simple

Si bien el proceso descrito es simple de ejecutar, presenta como mayor inconveniente unos largos tiempos de espera para localizar un punto válido. Por ello se establecen



en su lugar dos desplazamientos diferentes: largos y cortos, según el nivel de precisión requerido. Como explicación básica del funcionamiento (figura 5.9), tras realizar la primera comprobación, se realizan desplazamientos largos hasta localizar un punto válido, tras lo cual se retorna a una columna anterior para comenzar a realizar desplazamientos cortos.

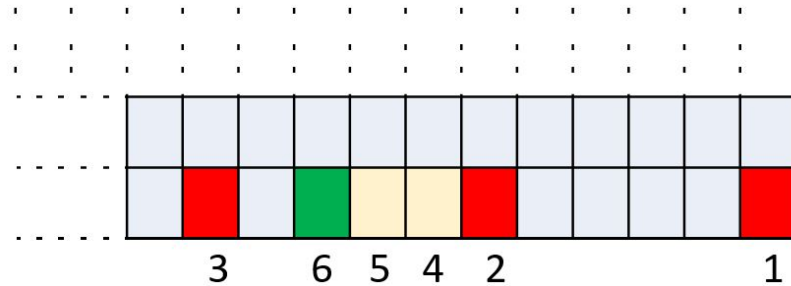


Figura 5.9: Extremo inferior derecho de matriz de datos. Obtención del punto con coordenadas válidas tras 6 operaciones. Rojo: desplazamiento largo. Marrón: Desplazamiento corto. Verde: Punto válido

La elección del tipo de desplazamiento se basa en el número de ocasiones en los que se ha obtenido un resultado válido. En primer lugar, se realizan desplazamientos largos de columna para cada repetición de la operación. Se perciben mejores resultados cuando este desplazamiento ( $d$ ) es de 10 columnas. Tras obtener un resultado válido, es necesario recordar que la pareja resultante de la unión vertical debe ser capaz de combinarse entre ellas.

Como ya se mencionó en el capítulo 5.1 Varios Archivos de Trabajo, más concretamente en la figura 5.4, existe un segmento del territorio presentado por cada archivo que coincide con los mapas adyacentes. Esta propiedad ha sido explotada para la generación del punto unión, pero debe ser tratada con cuidado al querer unir cuatro archivos diferentes. Si se realiza la unión de elementos verticales a partir de un punto muy alejado del borde, se corre el riesgo de que se descarte la superficie del terreno que se emplearía en la unión horizontal, resultando en la imposibilidad de finalizar el correcto funcionamiento del programa.

Por ello, tras obtener el primer resultado válido, retornan  $(d - 1)$  columnas para realizar un barrido (desplazamiento corto) hasta encontrar el punto válido más cercano al borde del mapa. La modificación de la función a seguir (figura 5.10) presenta las mismas entradas y salidas que su versión simplificada: se le entrega un punto unión el cual, de no ser válido, se verá descartado, proveyendo una nueva columna donde realizar la operación.

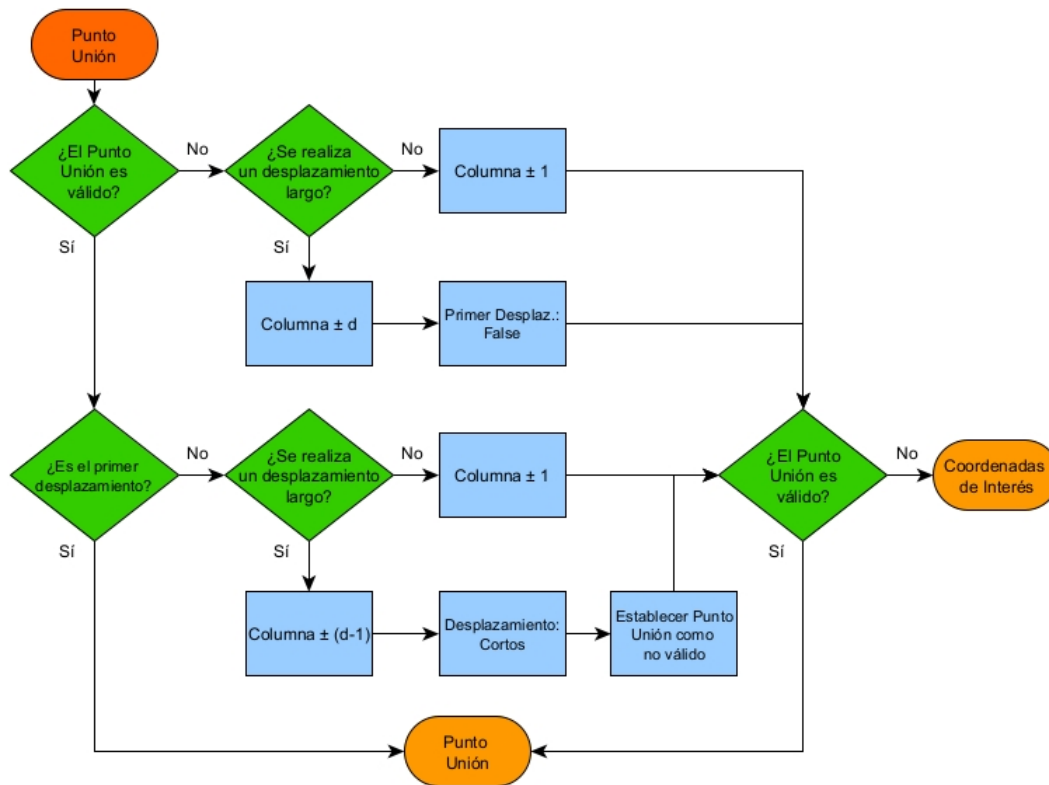


Figura 5.10: Operación de desplazamiento de columna. Se denomina “d” al desplazamiento largo de columnas

### 5.3.2. Unión de Fracciones Horizontales

Con el resultado de la unión vertical, se realiza el mismo proceso que en la unión de dos archivos, es decir, la búsqueda de un punto cuyas coordenadas coincidan en ambas superficies. En este segundo paso, se puede realizar la asociación entre el punto unión y el punto seleccionado por el usuario, por lo que no es necesario realizar el proceso de búsqueda. Sin embargo, es posible que durante el desplazamiento de columnas el punto del usuario ya no se encuentre en el archivo original. Esto puede ocurrir al hacer la selección muy cerca del borde del mapa, por lo que haya sido necesario “eliminar” esa parte del terreno para lograr la unión de los elementos verticales. Pero la misma condición que produce este error es la responsable de su solución, ya que el solape del terreno entre archivos cubre esa superficie. Debido a su cercanía al borde, este punto no aparecerá como parte de la fracción principal, sino de las complementarias.

Se debe realizar una actualización en la posición del punto. Para ello se ejecuta la operación de diferenciación de coordenadas, empleando las coordenadas conocidas del punto seleccionado por el usuario, y comprobando su similitud con las coordenadas de la fracción adyacente. El resultado de esta operación presenta la posición en fila y columna de este punto, la cual será empleada para obtener el punto unión de la misma manera a lo visto anteriormente en la figura 5.6.

## 5.4. Archivo Geotiff

Este paso en la ejecución del programa sigue varios paralelismos a lo visto en el apartado 3.1 Conversión ASCII-Geotiff. El diagrama de flujo presentado en la figura 5.11 muestra los pasos a seguir en la formación del archivo:

- Puntos caracterizados por pares de coordenadas (GTModelTypeGeoKey).
- Cada punto representa un área de superficie establecida (GTRosterTypeGeoKey).
- Se generan varios archivos según los pasos de malla requeridos por el programa (anexo G).
- Identificación de las coordenadas de referencia.

La selección de las coordenadas de referencia se realiza según el sistema UTM, por lo que se realiza la conversión necesaria empleando el comando *deg2utm* para cada archivo a generar. Estas coordenadas serán aquellas situadas en la esquina superior izquierda de la matriz de datos.

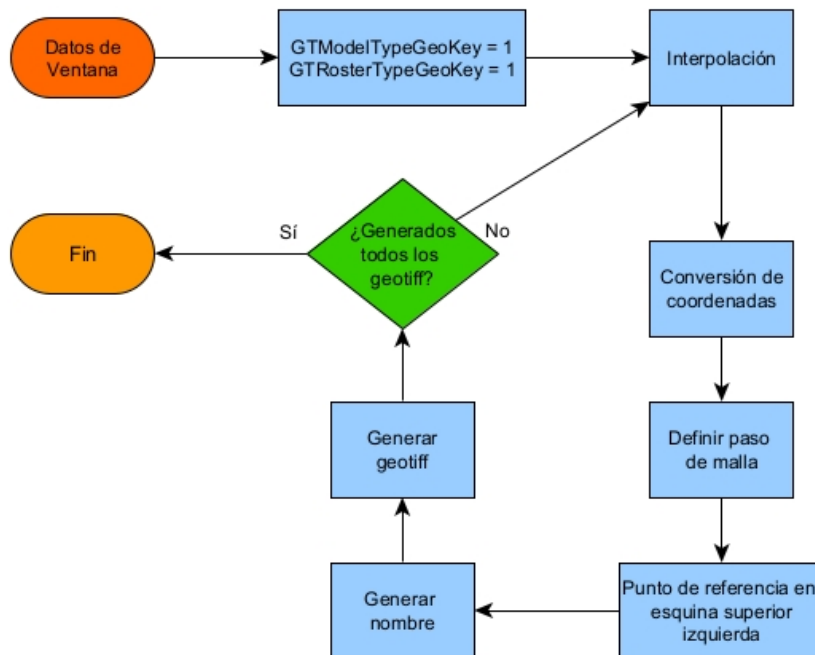


Figura 5.11: Proceso de generación de archivo geotiff

## Capítulo 6

# Implementación en Interfaz

El último paso en la generación del programa es su implementación en la interfaz ya existente del proyecto SeLif. De esta interfaz (figura 6.1) se destacan los elementos que hay que considerar para introducir nuevas características.

- Mapa: Imágenes de la superficie del archivo seleccionado. Se deberá ver en los dos tamaños requeridos.
- Punto de Observación (PO): Puntos de interés seleccionados por el usuario. Tras su selección deben ser visibles en el mapa y estar presentes en un listado donde se describen sus características principales.
- Zoom de Plano: Operación para una mejor visualización de la zona de interés. Además, la lista de PO se debe actualizar a la superficie que se esté visualizando.

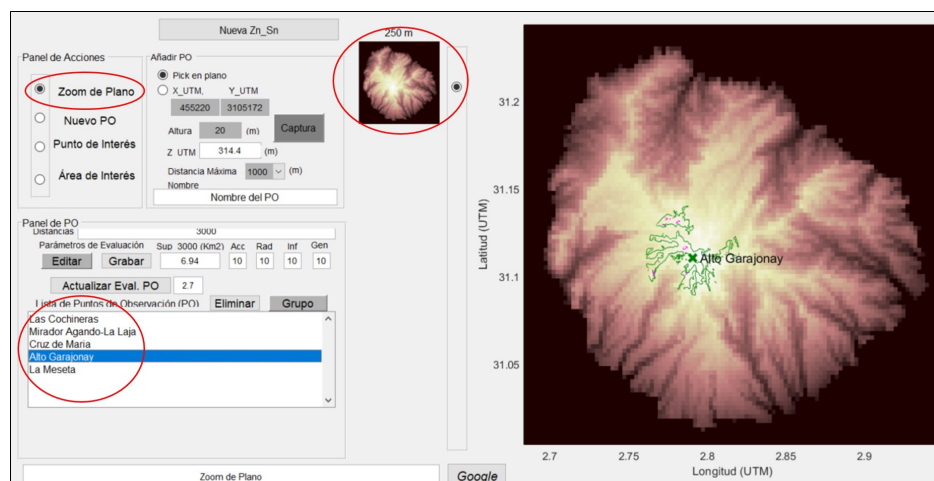


Figura 6.1: Interfaz original del proyecto. Destacados los elementos críticos en la implementación

Para la implementación del programa desarrollado, se incluye en primer lugar un botón el cual actuará como acceso al programa. Este se llamará *Centrar Plano* y

permitirá seleccionar en el mapa el punto sobre el que se quiera generar la ventana de visualización. En la figura 6.2 se ha abierto un archivo con paso de malla de 250 metros de una zona de Cataluña, el cual será empleado para mostrar la operabilidad de la interfaz. En la imagen se resalta el botón descrito y, además, se han preparado dos PO para comprobar si el nuevo archivo generado mantiene su posición. Se pueden observar estos dos puntos tanto en el mapa como en el listado de PO.

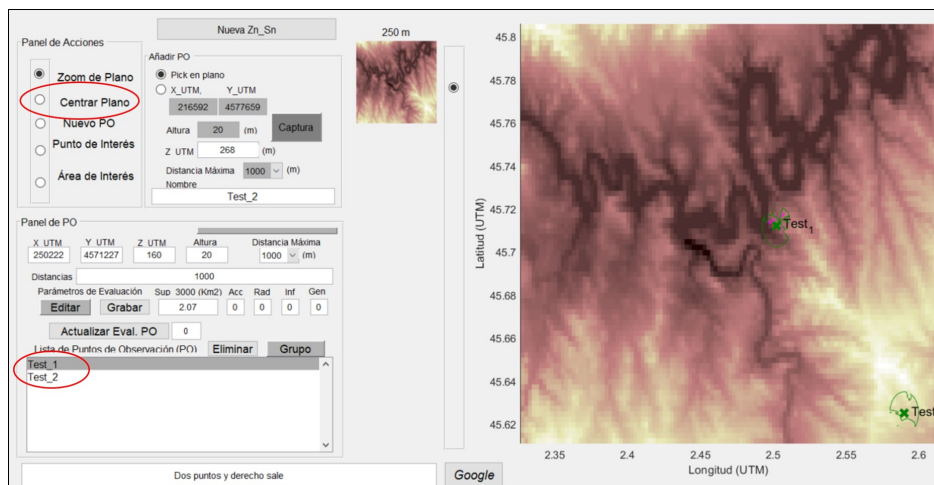


Figura 6.2: Interfaz con botón de Centrar Plano y dos PO generados

Tras seleccionar la opción *Centrar Plano*, el usuario es capaz de seleccionar un punto del mapa, ejecutando tras esto el programa desarrollado en este documento. Para la realización de este apartado, las figuras que se mostrarán en adelante muestran los resultados de seleccionar un punto en la esquina inferior derecha del mapa, forzando la unión de cuatro archivos y su posterior generación de *geotiff* a diferentes saltos de malla.

Al inicializar la interfaz, se generan las variables *planos\_min* y *planos\_max* los cuales almacenan las direcciones del archivo principal a diferentes escalas (más información del funcionamiento de la interfaz en el anexo H). Estas son llamadas para realizar las acciones de zoom, por lo que se deberán modificar una vez se genere la ventana de visualización, almacenando la dirección de las ventanas de visualización generadas. Para ello, se implementa una nueva carpeta que almacenará los resultados del programa. El contenido de esta carpeta se ve renovado tras cada operación de centrado, y se emplea como dirección de las variables *planos\_min* y *planos\_max*. Una vez finalizada la generación de los archivos, estos son mostrados en la interfaz, sustituyendo al mapa presentado previamente. En la figura 6.3 se muestra el resultado de menor resolución. Además se puede apreciar en la lista de PO que se mantiene el elemento previamente situado en la esquina inferior derecha del mapa.

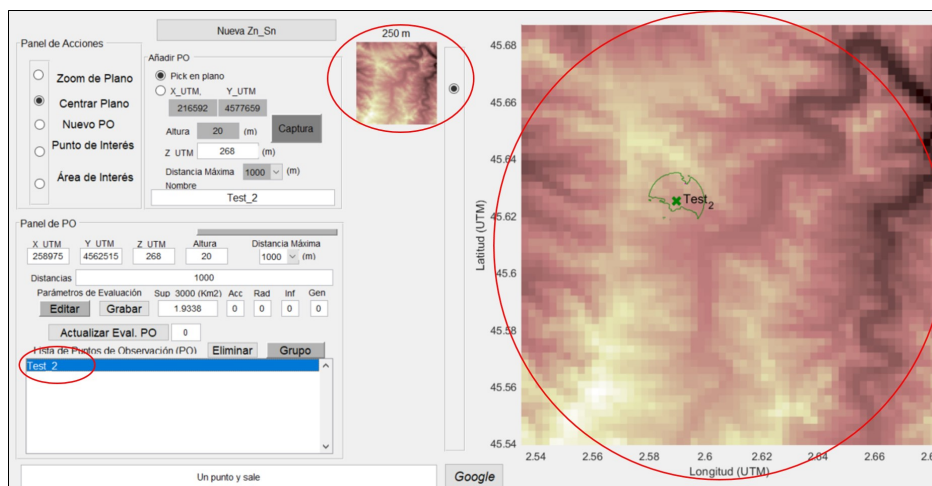


Figura 6.3: Interfaz mostrando la ventana de visualización generada en dos tamaños. La lista de PO se actualiza al elemento existente en el mapa

Una vez generada la ventana de visualización, se podrán incluir nuevos PO sin necesitar realizar alteraciones en el código. Sólo es necesario seleccionar las localizaciones que se quieran almacenar, para su posterior presentación en pantalla junto a su cobertura (figura 6.4).

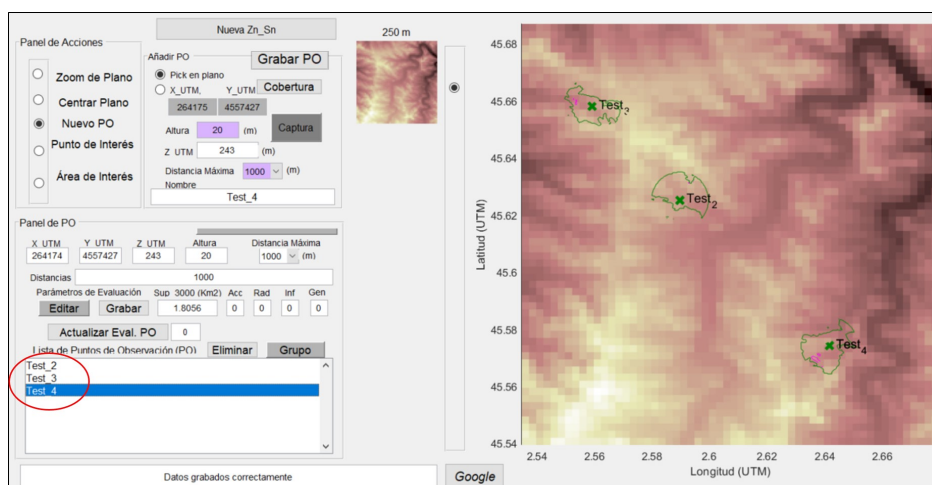


Figura 6.4: Interfaz mostrando la ventana de visualización generada con nuevos PO

Tras esto, se comprueba en la figura 6.5 la correcta ejecución de la función de zoom. Debido a la previa modificación de la dirección de los archivos de trabajo, no se requiere ninguna nueva alteración. Una vez escogida la opción de zoom, se selecciona en el mapa la zona de interés, provocando que la interfaz cargue la dirección guardada previamente del archivo con menor paso de malla (100, 25 y 5 con cada reiteración de la operación), siendo capaz de alternar la visualización entre ellos. Además, se produce la actualización de la lista de PO que muestra el punto situado dentro del margen deseado.

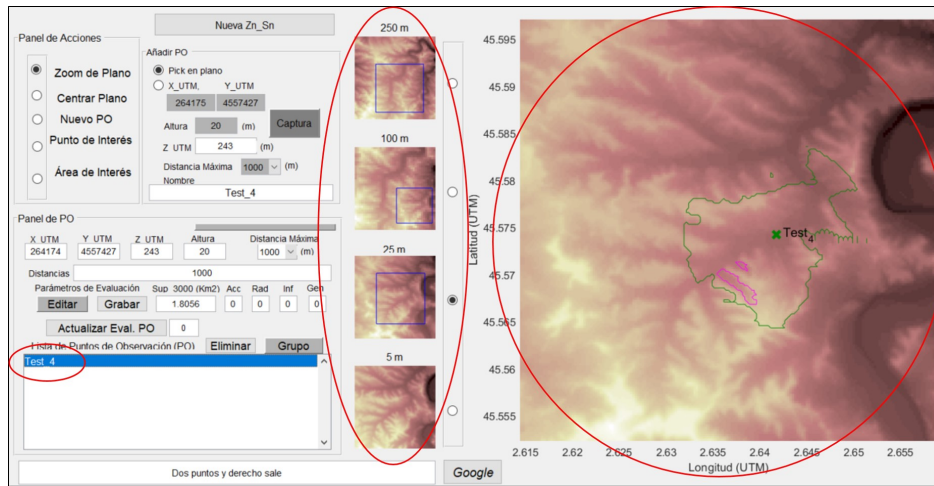


Figura 6.5: Interfaz habiendo ejecutado la acción de zoom sobre la ventana de visualización generada. La lista de PO se actualiza al elemento existente en el mapa seleccionado

Para finalizar, si el usuario desea seleccionar un nuevo punto, este deberá presionar el botón *Nueva ZnSn*, reiniciando el proceso de selección del archivo principal tras el cual se podrá volver a realizar las operaciones descritas en este apartado. En la imagen 6.6 se ha vuelto a seleccionar el mismo archivo inicial de trabajo y se puede observar en la lista de PO la aparición de uno de los PO introducidos en la figura 6.4 cuya posición se encuentra dentro del archivo principal.

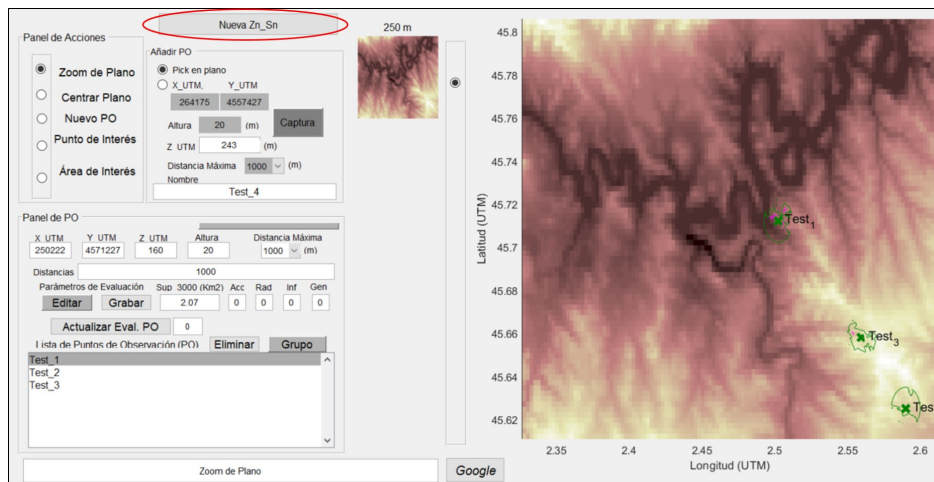


Figura 6.6: Interfaz tras haber vuelto a seleccionar el archivo principal al presionar *Nueva ZnSn*

# Capítulo 7

## Resultados

Para la obtención de los resultados se ha empleado la versión R2019a de Matlab en un ordenador con sistema operativo Windows 10, 8 GB de RAM y procesador Intel Core i7-7700HQ. Se comprueba en primer lugar el comportamiento general del programa, plasmando en la tabla 7.1 los tiempos de ejecución medio para cada escenario. Observando estos resultados, se aprecia como el tiempo de espera incrementa según aumente el número de archivos de trabajo.

Escenario	Nº de archivos	Tiempo (seg)	
		Un Huso	Varios Husos
1	1	1.97	2.09
2	2	3.71	3.57
3	2	3.39	3.61
4	2	3.63	3.10
5	2	3.38	3.59
6	4	19.20	29.63
7	4	10.69	20.82
8	4	13.12	20.87
9	4	15.11	29.21

Tabla 7.1: Tiempo medio de ejecución del programa

El principal factor que afecta al tiempo de ejecución del programa es la comparativa de unas coordenadas de referencia con aquellas de archivos adyacentes (figura 5.5). Con solo un archivo este proceso no se ejecuta, resultando en los menores tiempos de ejecución. Con dos archivos, el tiempo depende del número de veces que se ha tenido que incrementar el umbral de búsqueda.

Una vez se requieran cuatro archivos, el tiempo de ejecución aumenta debido al proceso de desplazamiento en donde se realiza la comparativa para cada columna hasta encontrar un punto de referencia válido (figura 5.10). Para este último caso se pueden apreciar mayores disparidades de tiempos entre escenarios similares, siendo esto debido



a la alta dependencia con las dimensiones de la superficie del terreno que está presente en ambos elementos a unir.

Al trabajar en varios husos, la operación de rotación visto en el apartado 4.1 Posición del Norte resulta en una pequeña variación temporal al trabajar con menos de cuatro archivos, donde el mayor influyente en el tiempo de ejecución es la comparativa de coordenadas. Al trabajar con cuatro archivos, sin embargo, el tiempo de búsqueda del punto unión aumenta, pues la rotación incrementa el número de desplazamientos necesarios hasta encontrar una columna válida.

## 7.1. Unión de archivos

A continuación se comprueban los resultados obtenidos en la unión de los archivos para cada escenario. En este apartado se busca confirmar la continuidad visual en la superficie del territorio de interés de forma similar a lo visto en la figura 5.3, además que la localización del centro de la ventana de visualización coincida con el punto seleccionado por el usuario.

El archivo de trabajo sobre el que se realizarán las comprobaciones se sitúa en el borde de los husos “30” y “31” de las coordenadas UTM, por lo que se podrá comprobar también la corrección realizada por el cambio de huso. La presentación de los resultados se realiza en tres grupos, según el número de archivos necesario.

En primer lugar, se representa la figura 7.1 como resultado de la operación realizada para el escenario 1, en el cual no es necesario ningún archivo complementario. Se destacan dos observaciones principales: la localización del centro de la ventana y el cambio en la coordenada de longitud. El punto seleccionado por el usuario, resaltado con un punto azul, se ve presente en la misma posición aproximada en la superficie de ambos mapas.

En cuanto al cambio de coordenadas, esto se debe a la localización entre husos del archivo por lo que, además de realizar la operación de rotación, al realizar la conversión final de coordenadas (grados a UTM) se toma como referencia un huso diferente al que empleaba el archivo original. La exactitud de las coordenadas del punto en ambos mapas será discutido en el apartado siguiente.

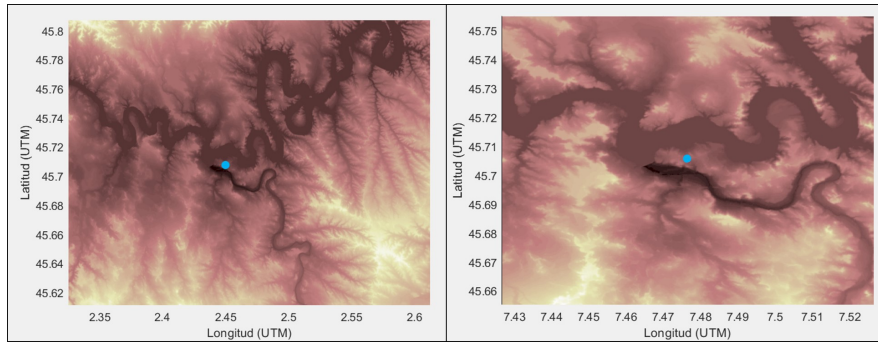


Figura 7.1: Visualización del resultado tras operar con un archivo. Azul: Punto seleccionado por el usuario

Se muestra a continuación los resultados para las uniones de los escenarios con dos archivos. En la figura 7.2 se aprecia una vez más la continuidad del territorio y la aparente correcta centralización del punto seleccionado por el usuario. En este caso tampoco se aprecian imperfecciones en la superficie.

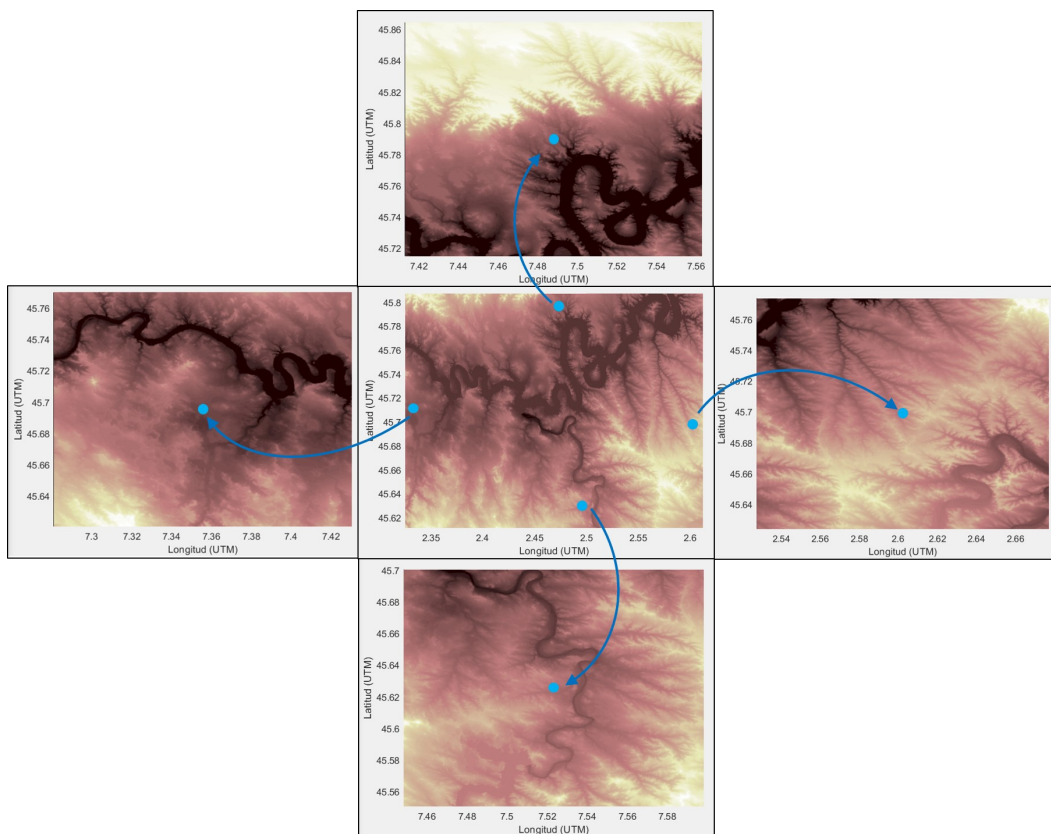


Figura 7.2: Visualización del resultado tras operar con dos archivos. Azul: Punto seleccionado por el usuario

Finalmente, se muestran los resultados de realizar la operación para los escenarios 6-9, para los que son requeridos cuatro archivos. La figura 7.3 muestra los resultados obtenidos y no se aprecian discontinuidades visuales entre los mapas.

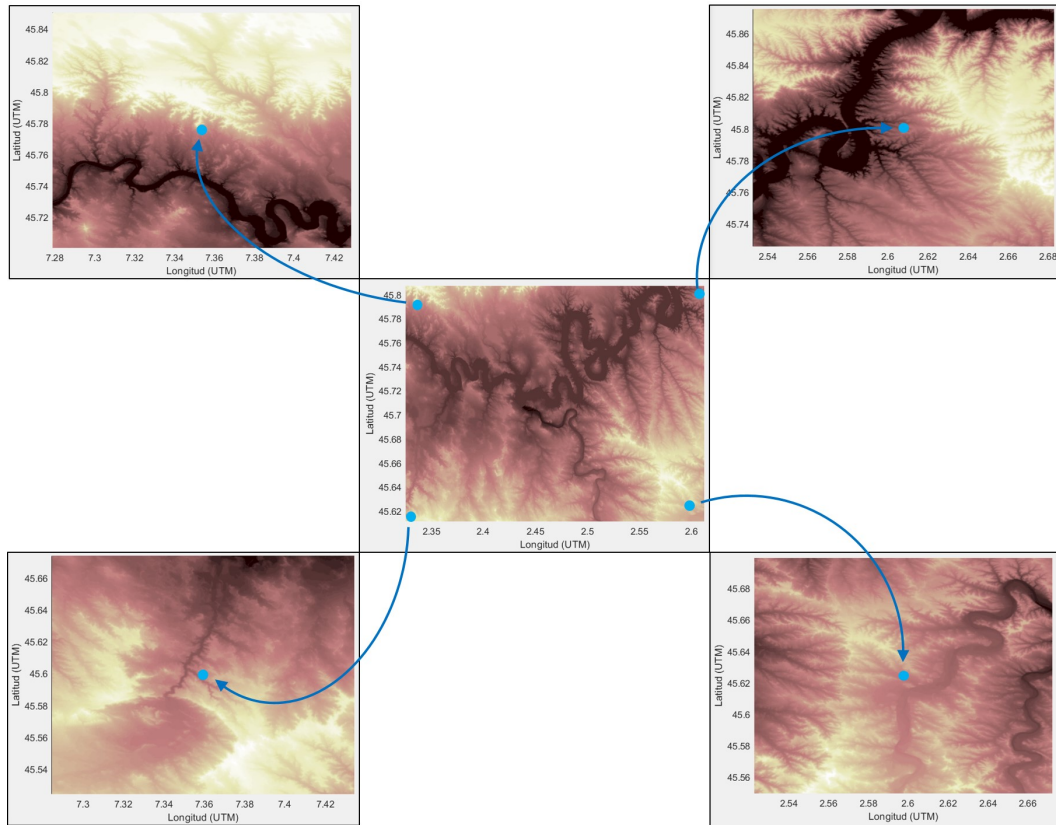


Figura 7.3: Visualización del resultado tras operar con cuatro archivos. Azul: Punto seleccionado por el usuario

## 7.2. Precisión

Si en el apartado anterior se establece el correcto posicionamiento de la ventana, ahora se busca comprobar la correcta asignación de coordenadas mediante la comparativa de elevaciones en diferentes escenarios. Para realizar la comprobación de la precisión de los resultados, se emplea el programa Google Earth. La metodología será la siguiente:

- Se establecen las coordenadas de un punto concreto y se comprueba su elevación.
- Se genera una ventana de visualización que contenga dicho punto.
- Se emplean las coordenadas previas para obtener la elevación de ese punto.

Si la asignación de coordenadas es correcta, buscando las mismas coordenadas en los archivos *geotiff* y en Google Earth se deberá localizar el mismo punto y, por lo tanto, la misma elevación del terreno. Sin embargo hay que tener en cuenta los diferentes orígenes de los archivos, por lo que es posible que estos presenten desigualdades en las elevaciones documentadas. Por lo tanto, en primer lugar se realiza la metodología descrita en una gran superficie plana (llanura) donde la inexactitud de las coordenadas

no afecte al resultado final. Con esto se busca obtener un margen de error esperado entre los datos *geotiff* y de Google.

La superficie plana seleccionada se sitúa al sur-este de Sevilla, en donde se encuentra una elevación casi constante de 48 m (figura 7.4). Tras ejecutar el programa sobre el archivo que cubre dicha superficie, se obtiene una altura de 51 m. Esta diferencia de 3 metros será considerada como el margen de diferencia aproximado esperado por los resultados.

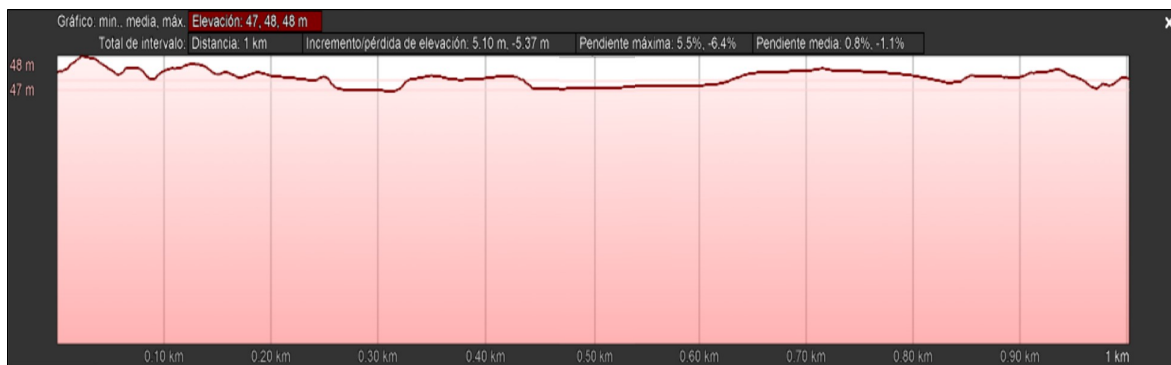


Figura 7.4: Perfil de elevación del territorio con elevación media de 48 m a lo largo de 1 km

Se realizan a continuación las comprobaciones en la precisión para los nueve escenarios definidos. Se organizan las comprobaciones en tres categorías principales:

1. Archivo en el centro de huso UTM.
2. Archivo no centrado en el huso UTM.
3. Archivo en un extremo del huso UTM.

Con esto se busca realizar una estimación del error centrada en la localización relativa a un huso UTM. En primer lugar, como localización del centro del huso se establece a Sierra Nevada, el macizo montañoso de mayor altitud en Europa occidental después de los Alpes (tabla 7.2). Debido al terreno muy montañoso, una pequeña desviación del punto requerido implica una alta diferencia en alturas. Los resultados obtenidos para cada escenario muestran, en su mayor parte, una diferencia que cae dentro del margen esperado. Aquellos puntos que lo superan siguen estando próximos a su valor, por lo que es posible atribuirlos a un error generado por zonas boscosas.

Escenario	Coordenada UTM (*10 <sup>5</sup> m)			Elevación (m)		
	Easting	Northing	Zona	Google Earth	Ventana	Diferencia
1	4.68388	41.05907	30S	2223	2221	2
2	4.52659	41.07031	30S	1124	1123	1
3	4.69683	41.10801	30S	2115	2111	4
4	4.76707	41.04848	30S	2799	2799	0
5	4.70661	40.97457	30S	2215	2211	4
6	4.51565	41.14011	30S	1013	1013	0
7	4.80677	41.11903	30S	1901	1904	3
8	4.80890	40.97992	30S	2217	2208	9
9	4.53525	40.97551	30S	1453	1448	5

Tabla 7.2: Comprobación de las elevaciones en un punto en el centro de un huso

Se desplaza el punto de interés a una zona algo más próximo al extremo lateral de la zona UTM y se repite la metodología establecida. El territorio escogido se encuentra en la zona sur de Castilla y León, para el cual se obtienen resultados similares a lo anteriormente visto (tabla 7.3). Las diferencias de elevación vistas en los escenarios 3 y 6, las cuales superan el margen establecido en 4 y 5 metros, pueden volver a deberse de nuevo a la presencia de zonas boscosas.

Escenario	Coordenada UTM (*10 <sup>5</sup> m)			Elevación (m)		
	Easting	Northing	Zona	Google Earth	Ventana	Diferencia
1	3.82067	45.51668	30T	851	849	2
2	3.73630	45.51058	30T	818	815	3
3	3.86157	45.58970	30T	831	823	8
4	4.02185	45.49462	30T	891	889	2
5	3.81841	45.38270	30T	922	922	0
6	3.77047	45.56875	30T	813	806	7
7	4.03645	45.57094	30T	871	867	4
8	3.99312	45.56875	30T	905	908	3
9	3.71510	45.39802	30T	891	890	1

Tabla 7.3: Comprobación de las elevaciones en un punto entre el centro y el límite de un huso

Finalmente, se comprueban los resultados para el territorio situado entre dos husos. El territorio seleccionado se sitúa entre las zonas 30T y 31T, entre Cataluña y Aragón. Los resultados de esta última tabla (tabla 7.4) no presentan disparidades con lo visto en los anteriores casos: elevaciones muy similares en la mayor parte de los escenarios, con las mayores diferencias siendo similares al error esperado.

Escenario	Coordenada UTM (*10 <sup>5</sup> m)			Elevación (m)		
	Easting	Northing	Zona	Google Earth	Ventana	Diferencia
1	7.46552	45.69863	30T	126	126	0
2	7.32497	45.68768	30T	181	180	1
3	7.47014	45.80397	30T	253	252	1
4	2.61696	45.70487	31T	281	280	1
5	7.51354	45.64102	30T	207	210	3
6	7.34875	45.80234	30T	362	362	0
7	2.64578	45.80907	31T	363	363	0
8	2.60166	45.63800	31T	286	287	1
9	7.33893	45.64335	30T	243	247	4

Tabla 7.4: Comprobación de las elevaciones en un punto en el límite de un huso

Como justificación del efecto de la presencia de zonas boscosas, se realiza el mismo procedimiento para obtener la diferencia de alturas en claros situados muy próximos a aquellos puntos de los resultados anteriores que muestren errores superiores a 6 metros.

Característica del terreno	Coordenada UTM (*10 <sup>5</sup> m)			Elevación (m)		
	Easting	Northing	Zona	Google Earth	Ventana	Diferencia
Bosque	4.80890	40.97992	30S	2217	2208	9
Claro	4.81061	40.98076	30S	2177	2174	3
Bosque	3.86157	45.5897	30T	831	823	8
Claro	3.83421	45.60001	30T	828	825	3
Bosque	3.77047	45.56875	30T	813	806	7
Claro	3.77148	45.56906	30T	807	805	2

Tabla 7.5: Comprobación de las elevaciones en zonas boscosas y claros

La tabla 7.5 muestra la comparativa en el error de alturas obtenido al comprobar un punto en un bosque y en un claro cercano. Tras desplazar el punto hasta una zona libre de árboles, los valores de alturas se ven reducidos hasta encontrarse dentro de los valores de error esperados.

# Capítulo 8

## Conclusiones

Partiendo de los objetivos de este Trabajo de Fin de Máster, se presentan las conclusiones respecto al grado de cumplimiento de las tareas propuestas:

- Identificación por geolocalización de la superficie de interés. Se ha podido realizar la correcta identificación por geolocalización de la superficie de interés para la formación de la ventana de visualización deseada.
- Generación del mapa de la superficie donde se realice el control de incendio. Se ha podido realizar la generación de un fichero *geotiff* uniendo hasta un máximo de cuatro archivos, independientemente de su localización según las coordenadas UTM.
- Visualización de la zona en interfaz gráfica. La interfaz ha sido correctamente actualizada para que sea capaz de mostrar las funciones desarrolladas y visualizar los mapas resultantes.

Tal como se señala en los párrafos anteriores, se han cumplido todos los objetivos previstos en el desarrollo del Trabajo de Fin de Máster.

La disparidad de tiempos de ejecución entre los distintos escenarios de cuatro archivos (visto en la tabla 7.1), es debida al proceso de desplazamiento de columnas que, a su vez, depende del proceso de diferenciación de coordenadas. Por lo tanto, cambiando los parámetros de configuración de este último proceso sería posible reducir los tiempos de ejecución. Con la configuración actual: umbral e incrementos a  $10^{-6}$  y un límite a 200 repeticiones, se logran tiempos máximos de 29 segundos. Si, por ejemplo, se modifica el valor de incremento a  $10^{-5}$  y el límite de repeticiones a 50, se reduce el tiempo máximo hasta los 12 segundos. Sin embargo, una configuración menos estricta resulta en un aumento del riesgo de realizar una unión no correcta, ya que se facilita que existan múltiples puntos que cumplan con las condiciones impuestas por el umbral.

La unión de los archivos se puede ejecutar sin problemas aparentes, siendo capaz de formar la ventana de visualización a partir de uno, dos y cuatro archivos, encontrándose

estos en el mismo huso o en adyacentes. Las figuras 7.2 y 7.3 muestran la correcta formación de la ventana alrededor del punto seleccionado por el usuario para cada escenario de trabajo.

En cuanto a la precisión, se comenta en primer lugar la tabla 7.2, la cual muestra los resultados del experimento en una zona muy montañosa. Debido a la naturaleza de la superficie del mapa, una desviación de pocos metros del punto de interés seleccionado resulta en una variación de la elevación de varias decenas de metros. Al comprobar la diferencia en la elevación del punto según la ventana y Google Earth, no se aprecian valores muy superiores al error esperado, pudiendo justificar las mayores diferencias por la presencia interferente de zonas boscosas (tabla 7.5). Por ello, se puede concluir en que el error en las coordenadas como consecuencia de la unión de archivos no supera los 5 metros que constituyen las dimensiones de cada celda del archivo. Al comprobar los resultados de las siguientes tablas, especialmente en la tabla 7.4 para archivos situados en husos adyacentes, se aprecian resultados similares.

Finalmente, la implementación en la interfaz se ha podido realizar correctamente, permitiendo la interactividad del usuario con las funciones desarrolladas para la generación de una ventana de visualización en una zona de su interés.

Como propuesta de mejora del trabajo realizado, se plantean los siguientes puntos para su futura implementación:

- La formación automática de la ventana de visualización a partir de unas coordenadas. Conociendo las coordenadas cubiertas por cada archivo en memoria, se propone un sistema de búsqueda al cual se le proporcionen las coordenadas del punto deseado y se seleccione automáticamente el archivo de trabajo adecuado, generando la ventana de visualización y presentársela al usuario.
- Agilización de generación de una ventana nueva. En la interfaz actual, si se desea generar una nueva ventana en el mismo archivo de trabajo, se ha de repetir el proceso completo. Se propone una modificación del programa que permita el empleo del archivo previamente generado para facilitar la formación de la nueva ventana.



---

# Presupuesto

# Presupuesto

## P.1. Introducción

En las secciones siguientes se desarrolla el valor monetario asignado a las distintas partidas presupuestarias consideradas en este trabajo.

- Recursos materiales.
  - Recursos hardware.
  - Recursos software.
- Recursos humanos.
- Redacción del documento.
- Derechos de visado del COITT (Colegio Oficial Ingenieros Técnicos de Telecomunicaciones).
- Gastos de tramitación y envío.

Analizados todos estos puntos, se aplicarán los impuestos vigentes y se calculará el coste total.

## P.2. Recursos Materiales

Con este concepto se agrupan los gastos que vienen dados por el uso de los recursos hardware y software. La forma de modelar el coste final será mediante la amortización lineal (P.1), teniendo en cuenta que no se tomará en consideración el valor de mantenimiento y que el valor residual (valor de los elementos al transcurrir su vida útil) es nulo. El coste final solo tendrá en cuenta el periodo de uso de cada uno de los equipos durante el transcurso del TFM.

$$C_f = \frac{V_{ad} - V_{res}}{A_u} \quad (P.1)$$

Donde:

- $C_f$  es el coste final.
- $V_{ad}$  el valor de adquisición.
- $V_{res}$  el valor residual.
- $A_u$  son los años de vida útil.

### P.2.1. Equipos Hardware

Para calcular los costes se tiene en cuenta que los equipos fueron adquiridos antes de la realización de este TFM. Se considera que la vida útil del ordenador usado es de 4 años. El resultado de los costes asociados a los recursos materiales hardware son los que se muestran en la tabla P.1.

Recursos Hardware				
Descripción	Tiempo	Valor de adquisición	Amortización anual	Coste final
OMEN by HP laptop 15-ce000	4 meses	1139 €	284.75 €	71.19 €
<b>Total:</b>		1139 €	284.75 €	71.19 €

Tabla P.1: Coste de equipos hardware

Por consiguiente, el coste final para equipos hardware es de SETENTA Y UN EUROS Y DIECINUEVE CÉNTIMOS

### P.2.2. Equipos Software

Para la realización de este TFM se dispusieron los recursos software mostrados en la tabla P.2. El coste final depende del tiempo de utilización de cada uno de ellos durante el período de trabajo correspondiente, considerándose en este caso una vida útil de 3 años para cada uno de ellos. La licencia de MATLAB Y Microsoft Office es proporcionada por la ULPGC, por esto quedan referenciadas con un valor de adquisición de 0.00 €.

Recursos Software				
Descripción	Tiempo	Valor de adquisición	Amortización anual	Coste final
Matlab R2019a	4 meses	0.00 €	0.00 €	0.00 €
SO Windows 10	4 meses	126.37 €	31.59 €	7.90 €
Microsoft Office	4 meses	0.00 €	0.00 €	0.00 €
<b>Total:</b>		126.37 €	31.59 €	7.90 €

Tabla P.2: Coste de equipos software

Por consiguiente, el coste final para equipos software es de SIETE EUROS Y NOVENTA CÉNTIMOS.

### P.3. Recursos Humanos

Este es el coste asociado al proyectando, que ha empleado 4 meses a media jornada en las tareas de estudio previo, integración de la cámara, realización de medidas y documentación. Para el cálculo se ha tenido en cuenta que el proyecto se desarrolla dentro del entorno de investigación de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, el tipo de tarifa aplicada es la correspondiente al personal técnico (máster) según la tabla de contrataciones de personal con cargo de proyectos, programas, convenios y contratos, correspondiente al BOULPGC de julio de 2021 [19]. Así, el coste a tiempo parcial (4 horas diarias) es el que se muestra en la tabla P.3.

<b>Recursos Humanos</b>			
<b>Personal</b>	<b>Coste total mensual</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Total</b>
<b>Ingeniero Técnico</b>	831.43 €	4 meses	3324.64 €

Tabla P.3: Coste de recursos humanos

El coste total de recursos humanos es de TRES MIL TRESCIENTOS VEINTICUATRO EUROS Y SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.

### P.4. Redacción del documento

El importe de la redacción del proyecto se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$R = 0,07 * P * C_n \quad (\text{P.2})$$

Donde:

- $P$  es el presupuesto del proyecto.
- $C_n$  es el coeficiente de ponderación en función del presupuesto. En este caso el coeficiente  $C_1$  está fijado a 1.00 para presupuestos menores a 30.050 €.

En la tabla P.4 se muestra el presupuesto calculado hasta el momento. Por lo que los costes derivados de la redacción del documento se obtienen sustituyendo los valores en la ecuación P.2.

$$R = 0,07 * 3403,73 * 1 = 238,26 \text{ €}$$

El coste de redacción asciende a un total de DOSCIENTOS TREINTA Y OCHO EUROS Y VEINTISÉIS CÉNTIMOS.

<b>Recurso</b>	<b>Coste</b>
<b>Recursos Materiales Hardware</b>	71.19 €
<b>Recursos Materiales Software</b>	7.90 €
<b>Recursos humanos</b>	3324.64 €
<b>Total:</b>	<b>3403.73 €</b>

Tabla P.4: Presupuesto parcial

## P.5. Derechos de visado del COITT

Para proyectos de carácter general [20], los derechos de visado se calculan de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$0,006 * P_1 * C_1 + 0,003 * P_2 * C_2 \quad (\text{P.3})$$

Donde:

- $P_1$  = Presupuesto general para este proyecto.
- $P_2$  = Presupuesto de ejecución material que corresponde a la obra civil.
- $C_1$  = Coeficientes Reductores (C) correspondientes a  $P_1$ .
- $C_2$  = Coeficientes Reductores (C) correspondientes a  $P_2$ .

Por lo dicho anteriormente el coeficiente  $C_1$  está fijado a 1.00. En este caso, para el desarrollo de este TFM no se ha requerido obra civil por lo que el valor de  $P_2$  es 0.00 €. De la misma manera, el valor del presupuesto  $P_1$  se calcula sumando los costes de las secciones anteriores. Esto viene incluido en la tabla P.5.

<b>Recurso</b>	<b>Coste</b>
<b>Recursos Materiales Hardware</b>	71.19 €
<b>Recursos Materiales Software</b>	7.90 €
<b>Recursos humanos</b>	3324.64 €
<b>Redacción del documento</b>	238.26 €
<b>Total:</b>	<b>3641.99 €</b>

Tabla P.5: Presupuesto con el coste de redacción

Se sustituyen los valores en la ecuación P.3.

$$R = 0,006 * 3641,99 * 1 = 21,85 \text{ €}$$

El coste por derecho de visado es de VEINTIUN EUROS Y OCHENTA Y CINCO CÉNTIMOS.

## P.6. Gastos de tramitación y envío

Según [20], cada documento visado por vía telemática tiene un coste de 6.00 €.

## P.7. Aplicación de impuestos y coste final

El resultado final con todos los apartados desglosados se encuentra en la tabla P.6, estableciendo el coste total del trabajo presentado.

<b>Presupuesto Final</b>	
<b>Partidas</b>	<b>Totales</b>
Recursos Materiales	
- Recursos Hardware	71.19 €
- Recursos Software	7.90 €
Recursos humanos	3324.64 €
<b>Total parcial:</b>	<b>3403.73 €</b>
Redacción del documento	238.26 €
Visado del COITT	21.85 €
Gastos de tramitación y envío	6 €
<b>Total:</b>	<b>3669.84 €</b>
IGIC(7%):	256.89 €
<b>Total después de impuestos</b>	<b>3926.73 €</b>

Tabla P.6: Presupuesto total

El presupuesto total teniendo en cuenta los impuestos asciende a TRES MIL NOVECIENTOS VEINTISÉIS EUROS Y SETENTA Y TRES CÉNTIMOS.

Las Palmas de Gran Canaria a 21 de Agosto de 2021

Fdo.:

---

# Anexos

## A. Función rotacionLatLon

$$[Z\_r, lat, lon] = \text{rotacionLatLon\_test}(Z, lalon, alpha, rotacion, es)$$

Función para realizar la rotación de los archivos. Para ejecutar el proceso, se comprueba el bit correspondiente al valor del escenario de trabajo en la variable de rotación global, tras lo cual se almacenan las matrices de alturas y coordenadas. Se sustituyen también los valores nulos introducidos por la propia rotación a valores muy negativos. Para ello se comprueban las coincidencias de valor 0 en la latitud y longitud.

Entradas:

- Z: Matriz de alturas del archivo.
- LatLon: Matriz (m,n,2) de las coordenadas Latitud y Longitud.
- alpha: Flag de rotación para todos los archivos (9 bits).
- rotacion: Ángulo para las tareas de rotación (grados).
- es: Identificador del escenario de trabajo.

Salidas:

- Z\_r: Matriz de alturas del archivo rotado.
- latitud: Matriz de coordenadas latitud rotadas.
- longitud: Matriz de coordenadas longitud rotadas.

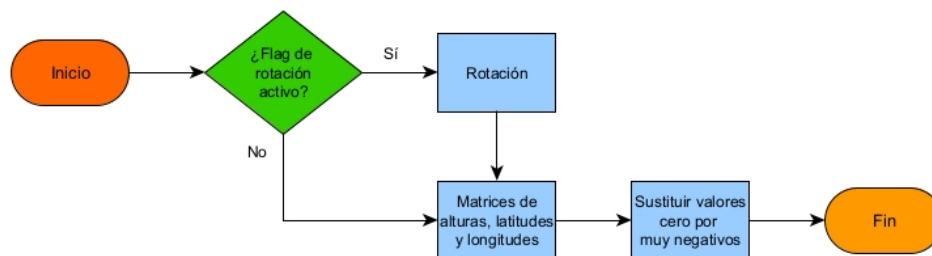


Figura A.1: Diagrama de flujo de la operación de rotación.

La operación de rotación se ejecuta a través de la función *imrotate* de Matlab, la cual gira la imagen alrededor de su punto central.  $J = \text{imrotate}(I, \text{angle})$  devuelve  $J$  como la matriz  $I$  rotada por un ángulo  $\text{angle}$  empleando por defecto la interpolación bicúbica.



## B. Función rotarPunto

nuevo\_punto = rotarPunto(Z, Z\_r, punto, rotacion)

Función para localizar la nueva posición de un punto determinado en una matriz tras haber realizado sobre esta una operación de rotación.

Entrada:

- Z: Matriz de alturas original.
- Z\_r: Matriz de alturas rotada.
- punto: Posición [columna, fila] del punto original.
- rotacion: Ángulo para las tareas de rotación (grados).

Salida:

- punto\_rotado: Posición [columna, fila] del punto seleccionado en la matriz rotada.

Conociendo un punto en el espacio 2D con coordenadas  $(x_0, y_0)$ , si se desea conocer la posición de dicho punto tras haber realizado una rotación sobre el origen de coordenadas por un ángulo  $\alpha$ , se podrán obtener las coordenadas de la nueva posición mediante una matriz de rotación.

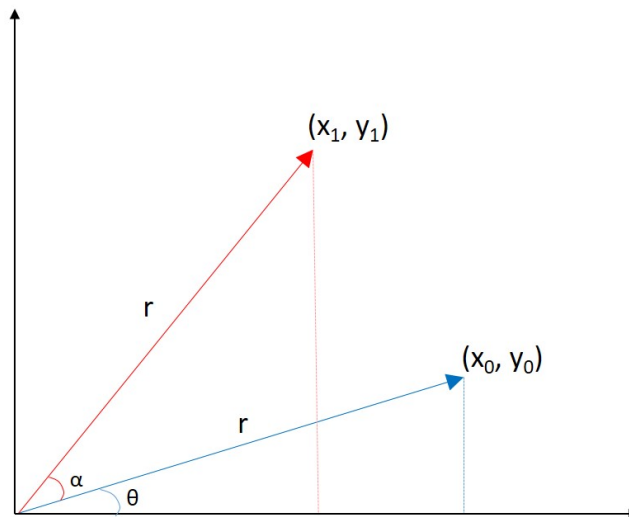


Figura B.1: Punto localizado en  $(x_0, y_0)$  a una distancia  $r$  del origen y ángulo  $\theta$ . Tras rotar sobre el origen por un ángulo  $\alpha$ , el punto se sitúa en la coordenada  $(x_1, y_1)$

A partir de los datos vistos en la figura B.1 se pueden obtener las ecuaciones que definen las coordenadas de cada punto.

$$\begin{array}{l|l} x_0 = r * \cos(\theta) & x_1 = r * \cos(\theta + \alpha) \\ y_0 = r * \sen(\theta) & y_1 = r * \sen(\theta + \alpha) \end{array}$$

Se puede observar que tanto  $x_1$  como  $y_1$  operan con la suma de dos ángulos en el coseno y el seno respectivamente. Operando mediante el uso de identidades trigonométricas, se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} x_1 &= r * (\cos(\theta) * \cos(\alpha) - \sen(\theta) * \sen(\alpha)) \\ x_1 &= r * \cos(\theta) * \cos(\alpha) - r * \sen(\theta) * \sen(\alpha) \\ y_1 &= r * (\sen(\theta) * \cos(\alpha) - \cos(\theta) * \sen(\alpha)) \\ y_1 &= r * \sen(\theta) * \cos(\alpha) - r * \cos(\theta) * \sen(\alpha) \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores de  $x_0$  y  $y_0$ , se resulta en las ecuaciones que definen la nueva posición tras la rotación de un ángulo  $\alpha$ .

$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 * \cos(\alpha) - y_0 * \sen(\alpha) \\ y_1 &= y_0 * \cos(\alpha) + x_0 * \sen(\alpha) \end{aligned}$$

Definiendo las ecuaciones anteriores de forma matricial, se obtiene la matriz de rotación de ángulo  $\alpha$  que, tras multiplicarse por un punto  $(x_0, y_0)$ , genera la posición de un nuevo punto  $(x_1, y_1)$ .

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\sen(\alpha) \\ \sen(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}$$

Si en vez de trabajar con un punto libre en el espacio se ha realizado la rotación sobre una matriz de datos cuya posición central ha sido empleada como el centro de rotación, se han de desplazar los puntos en el plano de manera que el centro de la rotación se sitúe en el origen de coordenadas. Tras operar con la matriz de rotación, se vuelve a realizar un desplazamiento para que el punto de origen se sitúe en el centro de la matriz rotada.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \text{desplazamiento}_x \\ \text{desplazamiento}_y \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_{centro} \\ y_{centro} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\sen(\alpha) \\ \sen(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{desplazamiento}_x \\ \text{desplazamiento}_y \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} x_{rotado} \\ y_{rotado} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{centro\_rotado} \\ y_{centro\_rotado} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Simplificando las ecuaciones en una sola operación, se realiza el cálculo de la rotación de un punto en una matriz de datos por un ángulo  $\alpha$  determinado de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} x_{rotado} \\ y_{rotado} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\sen(\alpha) \\ \sen(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} * \left( \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_{centro} \\ y_{centro} \end{bmatrix} \right) + \begin{bmatrix} x_{centro\_rotado} \\ y_{centro\_rotado} \end{bmatrix}$$

## C. Función eliminarBorde\_union

[punto\_despl] = eliminarBorde\_union(punto, phi, medioLado, i)

Función para desplazar los puntos de interés, situados en los 4 laterales del mapa, de forma que los elementos incluidos en el proceso de rotación no se tengan en cuenta para la unión de archivos.

Entradas:

- punto: Punto de interés [columna, fila] situado en uno de los laterales del mapa.
- phi: Angulo de rotación (grados) empleado en la matriz.
- medioLado: Mitad del número de columnas/filas establecidos como ancho y alto de la ventana de visualización
- i: Identificador del lateral donde se sitúa el punto.

Salidas:

- punto\_despl: Punto de interés [columna, fila] desplazado.

Se trata al segmento de datos "no válidos" resultantes de la rotación que se sitúan dentro de la ventana de visualización como un triángulo rectángulo con ángulo igual al de rotación. Por lo tanto, la longitud del cateto adyacente será igual a la distancia que se debe desplazar el punto de interés para descartar dichos valores. Esta distancia se obtiene a partir del cálculo de la tangente por trigonometría.

$$\tan(\alpha) = \frac{\textit{cateto\_opuesto}}{\textit{cateto\_adyacente}}$$

$$\textit{cateto\_opuesto} = \textit{cateto\_adyacente} * \tan(\alpha)$$

Una vez conocido el desplazamiento necesario, se modifica la fila o columna del punto de interés dependiendo del lateral sobre el que se trabaje:

- Izquierda

$$\textit{columna\_desplazado} = \textit{columna\_interes} + \textit{cateto\_opuesto}$$

- Derecha

$$\textit{columna\_desplazado} = \textit{columna\_interes} - \textit{cateto\_opuesto}$$

- Arriba

$$\textit{fila\_desplazado} = \textit{fila\_interes} + \textit{cateto\_opuesto}$$

- Abajo

$$fila\_desplazado = fila\_interes - cateto\_opuesto$$

## D. Función datos\_geotiff

$$[Z, latitud, longitud] = datos\_geotiff(mapa, es, alpha, rotacion)$$

Función para obtener los datos de alturas y coordenadas para cada punto de un archivo. Se generan matrices de filas y columnas de tamaño igual al archivo de trabajo, luego se convierten a coordenadas UMT mediante pix2map para ser transformadas a grados (utm2deg). Tras finalizar el proceso, se llama a la función encargada de ejecutar la rotación de las matrices de datos.

Entradas:

- mapas: Dirección del archivo.
- es: Identificador del escenario de trabajo.
- alpha: Flag de rotación para todos los archivos (9 bits).
- rotacion: Ángulo para las tareas de rotación (grados).

Salidas:

- Z: Alturas de cada punto del mapa (metros)
- latitud: Coordenada de latitud para cada punto del mapa (grados)
- longitud: Coordenada de longitud para cada punto del mapa (grados)

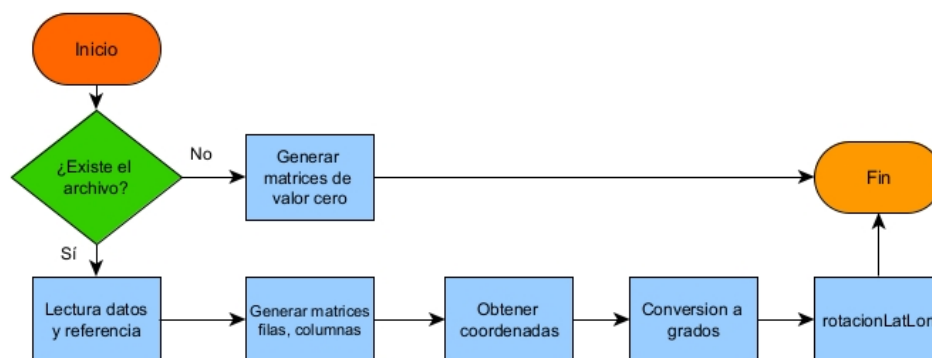


Figura D.1: Diagrama de flujo de la operación de lectura de datos de los archivos de interés

## E. Función eliminarBorde

$$[f\_0n, f\_1n, c\_0n, c\_1n] = \text{eliminarBorde}(f\_0i, f\_1i, c\_0i, c\_1i, \text{datos})$$

Función para evitar los bordes generados como consecuencia de realizar la rotación del (único) archivo de trabajo. A pesar de trabajar con un sólo archivo, la proximidad del punto de interés al borde del mapa puede resultar en la inclusión de los valores introducidos. Se desplazan los bordes establecidos de la ventana en función de la existencia de elementos no validos en cada lateral.

Entradas:

- $f\_0i$ : Fila inicial de la ventana.
- $f\_1i$ : Fila final de la ventana.
- $c\_0i$ : Columna inicial de la ventana.
- $c\_1i$ : Columna final de la ventana.
- $\text{datos}$ : Datos de la ventana sobre la que se quieren eliminar los bordes.

Salidas:

- $f\_0n$ : Nueva fila inicial de la ventana.
- $f\_1n$ : Nueva fila final de la ventana.
- $c\_0n$ : Nueva columna inicial de la ventana.
- $c\_1n$ : Nueva columna final de la ventana.

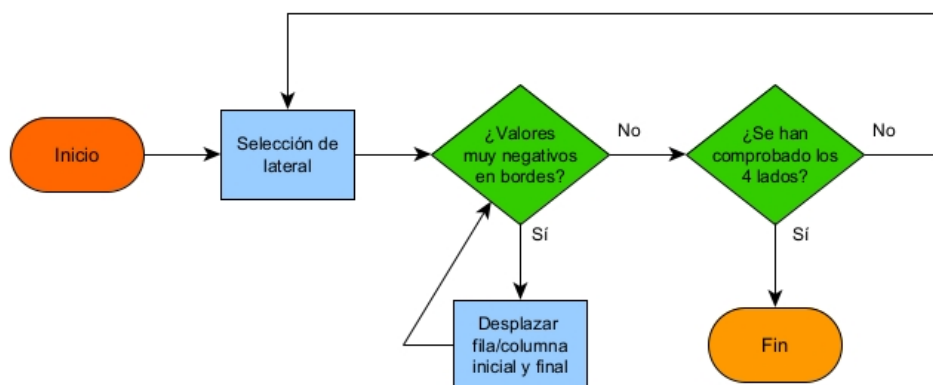


Figura E.1: Diagrama de flujo de la operación de eliminar bordes

## F. Función cargar\_archivos

[archivo\_union, alpha] = cargar\_archivos(Zona, zonaUTM, S, es, dir, r)

Obtención de la dirección de los archivos de interés a partir de los parámetros del archivo inicial. Si la nueva dirección no existe, se modifica la zona UTM y se comprueba de nuevo. Además se determinan las modificaciones a realizar debido a la rotación de los archivos obtenidos por el cambio de huso. Se trabaja en función del escenario de trabajo, el cual dicta la posición relativa de los archivos.

Entradas:

- Zona: Identificador numérico del área donde se sitúa el mapa.
- zonaUTM: Banda y Huso UTM a la que pertenece el archivo principal.
- S: Identificador de la sección dentro de la zona seleccionada.
- es: Identificador del escenario de trabajo.
- dir: Dirección del archivo de trabajo original.
- r: Flag de rotación del archivo original.

Salidas:

- archivo\_union: Nombres de los archivos necesarios para cada escenario.
- alpha: Flag de rotación para todos los archivos (9 bits).

La modificación de fila y/o columna en la operación modifica el valor proporcionado por la entrada Sección. Un desplazamiento de fila supone un cambio de  $\pm 1$  mientras que un desplazamiento en columna implica una modificación de  $\pm 10$ . Un cambio de Huso se ejecuta modificando el valor numérico por  $\pm 1$  mientras que para un cambio de Banda se modifica la letra representativa al elemento inmediatamente superior o inferior.

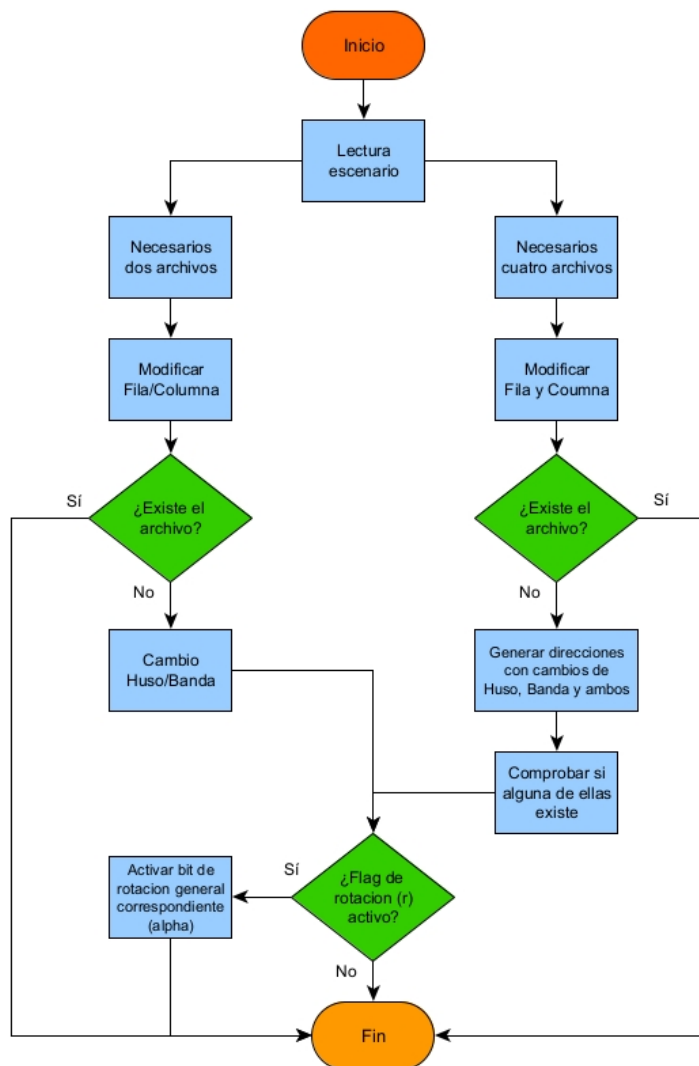


Figura F.1: Diagrama de flujo de la operación de generación de la dirección del archivo de interés

## G. Función `ventana2geotiff`

`ventana2geotiff(ventana, full_name, escala)`

Función para generar los archivos geotiff a diferentes escalas a partir de la ventana de visualización generada. Cada geotiff generado tendrá el mismo nombre que el archivo principal, con la diferencia de las escalas en cada uno de ellos.

Entradas:

- `ventana`: Matriz (m,n,3) con los datos de alturas, latitud y longitud para cada punto del territorio de interés.
- `full_name`: Dirección del archivo principal (geotiff) empleado.

- escala: Vector con los pasos de malla (en metros) requeridos para cada uno de los archivos.

En primer lugar, se realiza una comprobación de si el punto a emplear como referencia es “no válido”, lo cual puede suceder si se ha intentado cargar un archivo que no existe. De ser así, se descartan estos punto de manera temporal hasta después de haber realizado la modificación de las dimensiones de la matriz de datos.

Una vez se definan las características de los archivos geotiff que se mantendrán constantes para todos los archivos a generar (caracterización de puntos por pares de coordenadas y que cada punto representa una superficie de terreno), comienza el proceso de generación de las matrices a diferentes escalas. El archivo original, el cual está definido por un paso de malla de 5 metros, debe modificar las dimensiones de su matriz de datos acorde a los pasos de malla de 25, 50, 100 y 250 metros, resultando en matrices de inferior tamaño. Por lo tanto, al emplear la función *imresize*, se ha de introducir como segundo valor de entrada, el que determina la relación de tamaños entre la imagen inicial y la resultante, como el resultado de la división del paso de malla original (5 metros) con el nuevo paso de malla del archivo a generar.

$$ventana_{p.malla} = imresize(ventana, \frac{p.malla\_original}{p.malla})$$

De esta manera, se mantiene la relación en el dimensionado de las diferentes matrices generadas en función del paso de malla. Se comprueba en la tabla G.2 las dimensiones de las matrices resultantes tras modificar las dimensiones de la matriz original en función de los diferentes pasos de malla. La similitud entre las relaciones de dimensiones y paso de malla indican el correcto nuevo dimensionamiento.

Dimensiones matriz original	Paso de malla original (m)	Dimensiones matriz	Paso de malla (m)	Relación dimensiones	Relación paso de malla
3000x3000	5	600x600	25	5	5
3000x3000	5	300x300	50	10	10
3000x3000	5	150x150	100	20	20
3000x3000	5	60x60	250	50	50

Tabla G.2: Resultados de la comprobación en la relación de dimensiones y pasos de malla en los diferentes archivos generados con la matriz original

## H. Interfaz

Una vez se inicie el programa y se pretenda acceder a la interfaz gráfica, el primer paso a ejecutar es la generación de las variables globales que afectan al funcionamiento de todas las funciones que pueda ejecutar la interfaz. Las interfaces gráficas



realizadas en Matlab emplean una estructura llamada *handles* la cual agrupa datos relacionados mediante contenedores de datos llamados *campos*. Esta estructura es la empleada para el almacenamiento de todas las variables globales, las cuales serán categorizadas en diferentes campos, permitiendo su acceso mediante notaciones del estilo *handles.campos.variable*.

Una vez establecidas las variables globales, el usuario debe seleccionar en primer lugar el archivo *geotiff* que desea visualizar, así como el fichero de datos deseado. Este fichero de datos contiene la información relevante sobre los puntos de observación en la zona, por lo que todas aquellas acciones que modifiquen los puntos de observación (posición, número, identificadores) deben actualizar los contenidos de este fichero de datos. Tras esta selección, el programa localiza y almacena la dirección de los archivos que representen el mismo terreno pero a diferentes pasos de malla.

Antes de cederle el control al usuario, la interfaz debe habilitar el panel de acciones (figura H.1), el cual contiene los diferentes botones que el usuario debe seleccionar para elegir la acción deseada. Para ello, se emplea la función *set* la cual selecciona y permite modificar los parámetros de los objetos existentes en la interfaz, como su visibilidad o interactividad. Se define como “objeto” a todos los elementos gráficos introducidos en la interfaz (figuras, botones, cajas de texto, etc), los cuales se ven identificados por una etiqueta que deberá ser llamada por las funciones que quieran realizar cambios en ellos.

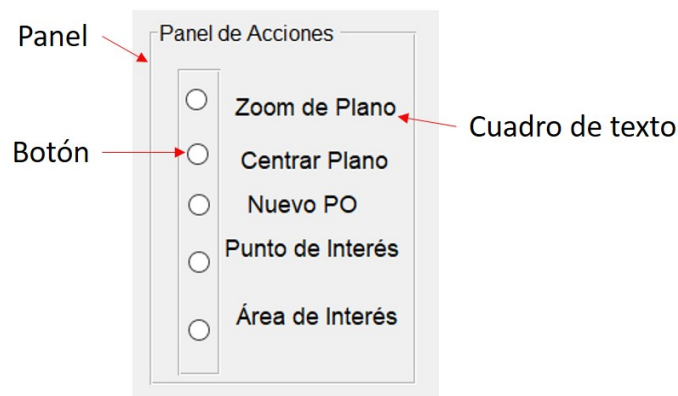


Figura H.1: Panel de acción en la interfaz gráfica. Dentro del panel contenedor se encuentran los diferentes botones y cuadros de textos explicativos

Finaliza así el proceso de inicialización (figura H.2) para dejarle el control al usuario, el cual podrá decidir la acción a ejecutar. En el caso de seleccionar el botón que permite ejecutar las funciones desarrolladas en este documento (*Centrar Plano*), se habilita un nuevo panel que permite seleccionar en el mapa un punto de interés. Tras esto, se ejecuta la función *centrar\_plano(hObject, handles)* la cual tiene como entrada todas las variables almacenadas en *handles* y la información relativa al objeto que está llamando a la función (en este caso, el botón seleccionado) en *hObject*, permitiendo la modificación de sus parámetros dentro de la función. Tras finalizar las modificaciones, habrá que

ejecutar la función `guidata(hObject, handles)` para almacenar los cambios realizados.

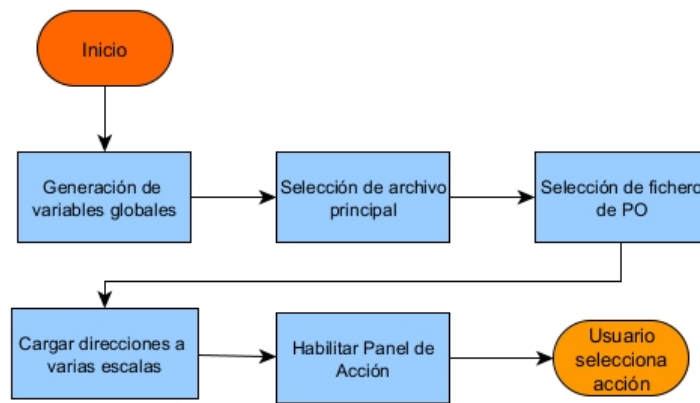


Figura H.2: Inicialización de la interfaz gráfica

Durante la ejecución de la función `centrar_plano` solo se modifican los objetos relativos a la presentación de los mapas generados. Estos son la figura que muestra el mapa y el botón que selecciona inicialmente el mapa de peor resolución, empleando para ello la función `set` y las etiquetas identificadoras de cada objeto. Para resaltar el botón, este debe ser seleccionado desde el panel en donde se encuentra.

```
set(handles.panel_figuras,'SelectedObject',handles.boton_figura)
```

Para actualizar la figura mostrada, en primer lugar se selecciona el objeto que presenta la figura, especificando que sus parámetros son visibles (modificables) para luego eliminar su contenido (función `cla`) y se presenta el nuevo mapa empleando una función `plot`.

```
set(handles.figura,'HandleVisibility','on')
cla
plot(nuevafigura)
```

## . Bibliografía

- [1] European Forest Fire Information System (EFFIS). *Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2019, 2020*
- [2] C. Montiel, J. Solana y G. Herrero. *Sistema de Detección de Incendios Forestales en España*, Revista Montes, 2009
- [3] INFOCA. “Sistema Bosque”. *Plan de Emergencia por Incendios Forestales de Andalucía (INFOCA)*, Junta de Andalucía, 2011
- [4] A. Ollero, J.R. Martínez de Dios, L. Merino, F. Caballero y D. X. Viegas. *Sistema basado en el empleo de Vehículos Aéreos no Tripulados para la Lucha contra Incendios Forestales*. IV Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales, Op Cit, 2007
- [5] J. Gonzalo, S. Martínez y G. Martín. REMFIRESAT, *Gestión de Emergencias en Tiempo Real Para Servicios de Lucha Contra Incendios Forestales Vía Satélite*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Fire Economics, Planning and Policy: A Global View. Córdoba, 19-22 de abril de 2004
- [6] YAN, Xuefeng, et al. A dynamic data driven application system for wildfire spread simulation. En *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*. IEEE, 2009. p. 3121-3128
- [7] V. Araña Pulido et al, *Desarrollo de nuevas técnicas para detección y seguimiento de líneas de fuego en incendios forestales basado en sensores térmicos móviles de despliegue rápido (SeLiF)*, 2015
- [8] Scherrer, R. *The WM GPS primer*. WM Satellite Survey Company, Heerbrugg, Switzerland, 1985.
- [9] M. R. Dr. Niles Ritter, «GeoTIFF Format Specification» SPOT Image Corp. Product Development Group, 1897. [En línea]. Available: <http://geotiff.maptools.org/spec/contents.html>
- [10] SNYDER, John Parr. *Map projections. A working manual*. US Government Printing Office, 1987.
- [11] I. Alonso Fernández-Coppel, *Las Coordenadas Geográficas y la Proyección UTM*, 2001

- [12] Servicio Geográfico del Ejército de España (SGE), *Sección de Geodesia (1976): Proyección Universal Transversa Mercator*, SGE, Madrid. Vol. I: Sistemas conformes. Proyección U.T.M. Cuadrículas y Sistemas de referencia, (220 pp.); Vol. II: Tablas, (331 pp.)
- [13] SNYDER, John Parr. *Map projections used by the US Geological Survey*. US Government Printing Office, 1982.
- [14] Institut Geographique National, *Projection Cartographique Mercator Transverse. Algorithmes*, 1<sup>o</sup> edición, Enero 1995.
- [15] Instituto Geográfico Nacional, “Instituto Geográfico Nacional – Centro Nacional de Información Geográfica”. [En línea]. Disponible en: <https://www.ign.es/web/ign/portal> . [Accedido: 1-jun-2021]
- [16] FELICÍSIMO, Ángel M. *Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Oviedo: Pentalfa Ediciones, 1994
- [17] «ESRI ASCII Raster format». [En línea]. Available: [http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisengine/java/GP\\_ToolRef/spatial\\_analyst\\_tools/esri\\_ascii\\_raster\\_format.htm](http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisengine/java/GP_ToolRef/spatial_analyst_tools/esri_ascii_raster_format.htm)
- [18] MELO, Samuel Barreto. Transformaciones geométricas sobre imágenes digitales. *Facultad de Ciencias-Carrera de Matemáticas. Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 2009.
- [19] ULPGC, Boletín Oficial de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2021. dirección: [https://www.ulpgc.es/sites/default/files/ArchivosULPGC/boulpgc/BOULPGC/boulpgc\\_1\\_julio\\_2021.pdf](https://www.ulpgc.es/sites/default/files/ArchivosULPGC/boulpgc/BOULPGC/boulpgc_1_julio_2021.pdf).
- [20] COITT, Derechos de visado 2021, 2021. dirección: [https://www.coit.es/sites/default/files/20210204\\_tarifas\\_2021\\_visado.pdf](https://www.coit.es/sites/default/files/20210204_tarifas_2021_visado.pdf)