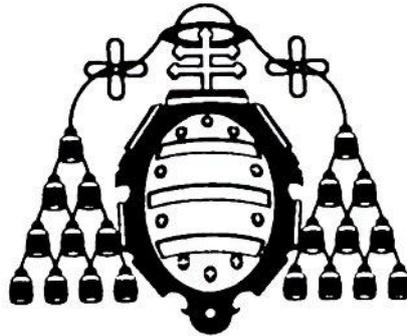


UNIVERSIDAD DE OVIEDO



ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES



Máster Oficial de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica

Departamento de Explotación y Prospección de Minas

Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

TRABAJO FIN DE MÁSTER

REVISIÓN COMPARATIVA Y ANÁLISIS DEL ERROR EN MDE DE LA VERTIENTE CANTABRICA

Autor:

Alejandro Suárez Méndez

Directoras:

Pilar García Manteca

María del Rosario González Moradas

Mieres, Julio de 2012

AGRADECIMIENTOS:

Especialmente a Pilar García Manteca y María del Rosario González Moradas, mis directoras de Trabajo Fin de Máster, y a Ramón Arguelles Fraga, mi profesor y amigo, sin cuya atención y ayuda no hubiera alcanzado mis propósitos.

También a mis amigos y demás personas que aportaron su granito haciéndome el camino más fácil.

Y por último a mis padres, quienes por su paciencia y apoyo en estos años pude llegar a ser lo que soy.

A todos, MUCHAS GRACIAS.

RESUMÉN

Este trabajo consiste en analizar la calidad de los Modelos Digitales de Elevación (MDE) del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria para evaluar los errores de los modelos digitales del terreno, para ello se han utilizado la información de 280 vértices geodésicos distribuidos uniformemente por la zona de estudio y se han analizado un total de 29 modelos. Se ha estudiado la influencia del cambio del sistema de referencia y del huso en los errores finales. También se ha evaluado la influencia de la resolución y se ha establecido una relación matemática entre el error final y el tamaño de pixel. Finalmente se ha intentado establecer las correlaciones entre los errores y la pendiente pero no se han obtenido resultados satisfactorios.

ABSTRACT

This work is to analyze the quality of Digital Elevation Models (DEM) of Asturias and the bordering areas such as Lugo, Leon and Cantabria. To evaluate errors of digital terrain models 280 geodetic points well distributed were used and 29 models were analyzed. The reference system changes and the zone in the final error were studied Also the resolution influence in final errors was evaluated and a mathematical correlation between error and pixel size was calculated. Finally it tried to determine the relationship between errors and slope but the results wasn't good.



ÍNDICE

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO.....	1
1.1.1. CONCEPTO DE MODELO.....	2
1.1.2. MODELOS DIGITALES DEL TERRENO (MDT).....	4
1.1.3. ORIGÉN DE MDT.....	7
1.2. SISTEMAS DE REFERENCIA EN ESPAÑA.....	9
1.2.1. SISTEMA ED-50 (EUROPEAN DATUM 1950).....	9
1.2.2. SISTEMA ETRS-89 (EUROPEAN TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM)....	11

CAPITULO II

2. ANTECEDENTES.....	13
2.1. DETECCIÓN Y CORRECCIÓN DE LOS ERRORES EN LOS MDE.....	13
2.2. NATURALEZA Y DETECCIÓN DE LOS ERRORES POSICIONALES.....	14
2.2.1. EL ERROR DERIVADO DEL PROCESO DE DIGITALIZACIÓN.....	14
2.2.2. EL ERROR DEBIDO A DEFORMACIONES DEL DOCUMENTO FUENTE ...	16
2.3. DETECCIÓN DE LOS ERRORES ATRIBUTIVOS EN LOS MDE MATRICIALES.	19
2.4. LA MEDIDA DEL ERROR ATRIBUTIVO EN LOS MDE MATRICIALES.....	23
2.5. ESTUDIOS REALIZADOS DE LA VERTIENTE CANTÁBRICA.....	25

CAPITULO III

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	27
--------------------------------	----

CAPITULO IV

4. ÁREA DE ESTUDIO.....	29
-------------------------	----



CAPITULO V

5. METODOLOGÍA	31
5.1. PROCEDIMIENTO GENERAL.....	31
5.1.1. OBTENCIÓN DE PUNTOS DE CONTROL.....	31
5.1.2. OBTENCIÓN DE LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO	37
5.1.3. PROYECCIÓN LOS PUNTOS DE CONTROL SOBRE UN MODELO DIGITAL.....	38
5.1.4. CALCULO DE LOS RESIDUOS	41
5.1.5. ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS MUY ALTOS.....	42
5.1.6. CALCULO DE LOS ERRORES ESTADÍSTICOS EN MDE	42
5.1.7. OBTENCIÓN DE LOS MODELOS DE PENDIENTES	43
5.1.8. CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE PEARSON	45
5.1.9. CAMBIO DEL TAMAÑO DE PIXEL	46
5.2. MODELOS ANALIZADOS	48
5.3. DATOS DE PARTIDA	49
5.3.1. PROCEDENCIA	49
5.3.1.1. VÉRTICES GEODÉSICOS	49
5.3.1.2. MODELOS DIGITALES DEL TERRENO	55
5.3.2. MANIPULACIÓN	57
5.3.2.1. DATOS OBTENIDOS DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS, PROYECCIÓN ORIGINAL EN EL ED-50	57



5.3.2.2. DATOS OBTENIDOS DE LA PÁGINA WEB DE CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (CNIG), PROYECCIÓN ORIGINAL EN EL ETRS-89.....	58
5.3.2.3. CREACIÓN DE LOS CAMPOS DE LAS BASES DE DATOS.....	61
5.3.2.4. CREACIÓN DE UN MAPA CON LOS PUNTOS DE CONTROL.....	61
5.4. MODELOS DE PENDIENTES.....	63
5.4.1. DATOS OBTENIDOS DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS, PROYECCIÓN ORIGINAL EN EL ED-50.....	63
5.4.2. DATOS OBTENIDOS DE LA PÁGINA WEB DE CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (CNIG), PROYECCIÓN ORIGINAL EN EL ETRS-89.....	64
5.5. PROGRAMAS EMPLEADOS.....	67
5.5.1. MICROSOFT EXCEL.....	67
5.5.2. ARCGIS.....	67

CAPITULO VI

6. RESULTADOS.....	71
6.1. ANÁLISIS DE LOS ERRORES EN LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO APORTADOS POR EL PRINCIPADO DE ASTURIAS.....	71
6.1.1. MODELO DE PRINCIPADO DE ASTURIAS DE LA ZONA OCCIDENTAL EN EL HUSO 29 DEL ED-50.....	71
6.1.2. MODELO DE PRINCIPADO DE ASTURIAS DE LA ZONA OCCIDENTAL EN EL HUSO 29 DEL ETRS-89.....	73
6.1.3. MODELO DE PRINCIPADO DE ASTURIAS DE LA ZONA OCCIDENTAL EN EL HUSO 30 DEL ETRS-89.....	74



6.1.4. MODELO DE PRINCIPADO DE ASTURIAS DE LA ZONA OCCIDENTAL EN EL HUSO 30 DEL ED-50	76
6.1.5. MODELO DE PRINCIPADO DE ASTURIAS DE LA ZONA ORIENTAL EN EL HUSO 30 DEL ED-50	77
6.1.6. MODELO DE PRINCIPADO DE ASTURIAS DE LA ZONA ORIENTAL EN EL HUSO 30 DEL ETRS-89.....	79
6.1.7. MODELO DE PRINCIPADO DE ASTURIAS EN EL HUSO 30 DEL ED-50	80
6.1.8. RESUMÉN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL MODELO DE PRINCIPADO DE ASTURIAS EN EL HUSO 30 DEL ED-50	82
6.2. ANÁLISIS DE LOS ERRORES EN LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO DESCARGADOS DE LAS PÁGINAS WEB DE CNIG.....	85
6.2.1. MODELO DE LA ZONA OCCIDENTAL EN EL HUSO 29 DEL ETRS-89... ..	85
6.2.2. MODELO DE LA ZONA DE LUGO Y LEÓN EN EL HUSO 29 DEL ETRS-89.....	87
6.2.3. MODELO DE LA ZONA OCCIDENTAL DEL NORTE EN EL HUSO 29 DEL ETRS-89.....	89
6.2.4. MODELO DE LA ZONA OCCIDENTAL DEL SUR EN EL HUSO 29 DEL ETRS-89.....	91
6.2.5. MODELO DE LA ZONA OCCIDENTAL EN EL HUSO 30 DEL ETRS-89... ..	93
6.2.6. MODELO DE LA ZONA ORIENTAL EN EL HUSO 30 DEL ETRS-89	95
6.2.7. MODELO DE LA ZONA DE CANTABRIA Y LEÓN EN EL HUSO 30 DEL ETRS-89.....	97
6.2.8. MODELO DE LA ZONA ORIENTAL DEL NORTE EN EL HUSO 30 DEL ETRS-89.....	99



6.2.9. MODELO DE LA ZONA ORIENTAL DEL SUR EN EL HUSO 30 DEL ETRS-89.....	101
6.2.9. MODELO DE LA VERTIENTE CANTÁBRICA EN EL HUSO 30 DEL ETRS-89.....	103
6.2.10. RESUMÉN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL MODELO DE LA VERTIENTE CANTÁBRICA EN EL HUSO 30 DEL ETRS-89.....	105
6.3. ANÁLISIS GLOBAL DE LOS ERRORES DE LA VERTIENTE CANTÁBRICA	108
6.4. ANÁLISIS DE ERRORES SEGÚN RESOLUCIONES	111
6.4.1. MODELOS DIGITALES DEL TERRENO APORTADOS POR EL PRINCIPADO DE ASTURIAS	111
6.4.1.1. MODELO DE PRINCIPADO DE ASTURIAS EN EL HUSO 30 DEL ED-50 PARA EL TAMAÑO DE PIXEL DE 10 METROS.....	111
6.4.1.2. MODELO DE PRINCIPADO DE ASTURIAS EN EL HUSO 30 DEL ED-50 PARA EL TAMAÑO DE PIXEL DE 20 METROS.....	112
6.4.1.3. MODELO DE PRINCIPADO DE ASTURIAS EN EL HUSO 30 DEL ED-50 PARA EL TAMAÑO DE PIXEL DE 30 METROS.....	113
6.4.1.4. MODELO DE PRINCIPADO DE ASTURIAS EN EL HUSO 30 DEL ED-50 PARA EL TAMAÑO DE PIXEL DE 50 METROS.....	114
6.4.1.5. MODELO DE PRINCIPADO DE ASTURIAS EN EL HUSO 30 DEL ED-50 PARA EL TAMAÑO DE PIXEL DE 100 METROS.....	115
6.4.1.6. MODELO DE PRINCIPADO DE ASTURIAS EN EL HUSO 30 DEL ED-50 PARA EL TAMAÑO DE PIXEL DE 1000 METROS.....	116
6.4.2. MODELOS DIGITALES DEL TERRENO DESCARGADOS DE LAS PÁGINAS WEB DE CNIG	117



6.4.2.1. MODELO DE LA VERTIENTE CANTÁBRICA EN EL HUSO 30 DEL ETRS-89 PARA EL TAMAÑO DE PIXEL DE 10 METROS	117
6.4.2.2. MODELO DE LA VERTIENTE CANTÁBRICA EN EL HUSO 30 DEL ETRS-89 PARA EL TAMAÑO DE PIXEL DE 20 METROS	118
6.4.2.3. MODELO DE LA VERTIENTE CANTÁBRICA EN EL HUSO 30 DEL ETRS-89 PARA EL TAMAÑO DE PIXEL DE 30 METROS	119
6.4.2.4. MODELO DE LA VERTIENTE CANTÁBRICA EN EL HUSO 30 DEL ETRS-89 PARA EL TAMAÑO DE PIXEL DE 50 METROS	120
6.4.2.5. MODELO DE LA VERTIENTE CANTÁBRICA EN EL HUSO 30 DEL ETRS-89 PARA EL TAMAÑO DE PIXEL DE 100 METROS	121
6.4.2.6. MODELO DE LA VERTIENTE CANTÁBRICA EN EL HUSO 30 DEL ETRS-89 PARA EL TAMAÑO DE PIXEL DE 1000 METROS	122
6.5. COMPARATIVA DE LOS MODELOS	123
CAPITULO VII	
7. CONCLUSIONES	127
CAPITULO VIII	
8. BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTACIÓN	129
ANEXOS	131



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1-Creación de un modelo digital, fragmento de Modelo digital del terreno del Principado de Asturias.....	3
Figura 1.2-Modelo digital del Terreno (MDT) en la hoja 99 del MTN50 (Lugo).....	4
Figura 1.3-Los procesos básicos implicados en la creación, manejo y explotación de los MDE.....	6
Figura 2.1-Error posicional (Cartográfico).....	15
Figura 4.1-Ubicación del área de estudio.....	29
Figura 5.1.1.1-Ventana de Add XY Data.....	32
Figura 5.1.1.2-Tabla de las coordenadas cartesianas en las provincias de Cantabria y León en el Huso 30 del ED-50.....	32
Figura 5.1.1.3- Buscar la tabla de las coordenadas cartesianas para cargar.....	32
Figura 5.1.1.4-Buscar el fichero de Excel.....	33
Figura 5.1.1.5-Elegiendo el fichero en extensión “.xlsx”.....	33
Figura 5.1.1.6-Ventana de Add XY Data.....	34
Figura 5.1.1.7-Ventana de Sistema cartográfico de referencia.....	34
Figura 5.1.1.8-Ventana de Add XY Data.....	35
Figura 5.1.1.9-Visualización del mapa de los vértices geodésicos obtenidos de las provincias de Cantabria y León.....	35
Figura 5.1.1.10-Exportar los datos.....	36
Figura 5.1.1.11-Ventana de “Export Data”.....	36
Figura 5.1.1.12-Visualización de los vértices geodésicos de las provincias de Cantabria y León guardados.....	37
Figura 5.1.2.1-Página web del Centro de Descargas.....	38



Figura 5.1.3.1-Visualización del mapa general de la vertiente cantábrica.....	39
Figura 5.1.3.2-Herramienta “ArcToolBox”	39
Figura 5.1.3.3-Formulario de “Surface Spot”	40
Figura 5.1.3.4-Seleccionar la opción “Open Attribute Table”	40
Figura 5.1.3.5-Tabla de los atributos de los puntos de control de la vertiente cantábrica	41
Figura 5.1.4.1-Tabla de los atributos de los puntos de control de la vertiente cantábrica.....	41
Figura 5.1.7.1-Herramienta “ArcToolBox”	43
Figura 5.1.7.2-Formulario de Slope.	44
Figura 5.1.7.3-Visualización del modelo de pendiente del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria en el ETRS-89.	44
Figura 5.1.9.1-Herramienta “ArcToolBox”	46
Figura 5.1.9.2-Formulario de Resample.	47
Figura 5.1.9.3-Visualización del modelo del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria en el ETRS-89 para el tamaño de pixel de 1000 metros.	47
Figura 5.3.1.1-Vértice geodésico de REGENTE de Paisano, Oviedo (Principado de Asturias). ...	50
Figura 5.3.1.2-Vértice geodésico de ROI de Depósito, de Colunga (Principado de Asturias).....	55
Figura 5.3.1.3-Modelo digital del Terreno y los vértices geodésicos	56
Figura 5.3.1.4-Metodo fotogramétrico de correlación cruzada.	56
Figura 5.3.1.5-Gráfico de distribución de hojas del MTN50.	57
Figura 5.3.2.1-Eschema de la unión de las mascarar, “h29etrs_noas2”	60
Figura 5.4.1-Eschema final de los datos obtenidos del Principado de Asturias.....	64
Figura 5.4.2-Eschema final de los datos obtenidos de página web de CNIG.....	65



Figura 6.1.1.1- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 ED-50.....	72
Figura 6.1.1.2-Modelo de pendiente del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 ED-50.....	72
Figura 6.1.3.1- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 ETRS-89.....	75
Figura 6.1.3.2-Modelo de pendiente del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 ETRS-89.	75
Figura 6.1.5.1-Modelo digital del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 ED-50.....	78
Figura 6.1.5.2-Modelo de pendiente del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 ED-50.....	78
Figura 6.1.7.1- Modelo digital del Principado de Asturias en el Huso 30 ED-50.....	81
Figura 6.1.7.2-Modelo de pendiente del Principado de Asturias en el Huso 30 ED-50	81
Figura 6.1.8- Modelo digital del Principado de Asturias en el Huso 30 ED-50 y división en zonas	82
Figura 6.2.1.1-Modelo digital de la zona occidental en el Huso 29 ETRS-89	86
Figura 6.2.1.2-Modelo de pendiente de la zona occidental en el Huso 29 ETRS-89	86
Figura 6.2.2.1-Modelo digital de la zona de las provincias Lugo y León en el Huso 29 ETRS-89	88
Figura 6.2.2.2-Modelo de pendiente de la zona de las provincias Lugo y León en el Huso 29 ETRS-89	88
Figura 6.2.3.1-Modelo digital de la zona occidental del Norte en el Huso 29 ETRS-89	90
Figura 6.2.3.2-Modelo de pendiente de la zona occidental del Norte en el Huso 29 ETRS-89	90



Figura 6.2.4.1-Modelo digital de la zona occidental del Sur en el Huso 29 ETRS-89	92
Figura 6.2.4.2-Modelo de pendiente de la zona occidental del Sur en el Huso 29 ETRS-89	92
Figura 6.2.5.1-Modelo digital de la zona occidental en el Huso 30 ETRS-89	94
Figura 6.2.5.2-Modelo de pendiente de la zona occidental en el Huso 30 ETRS-89	94
Figura 6.2.6.1-Modelo digital de la zona oriental en el Huso 30 ETRS-89	96
Figura 6.2.6.2-Modelo de pendiente de la zona oriental en el Huso 30 ETRS-89	96
Figura 6.2.7.1-Modelo digital de la zona de las provincias Cantabria y León en el Huso 30 ETRS-89	98
Figura 6.2.7.2-Modelo de pendiente de la zona de las provincias Cantabria y León en el Huso 30 ETRS-89	98
Figura 6.2.8.1-Modelo digital de la zona oriental del Norte en el Huso 30 ETRS-89	100
Figura 6.2.8.2-Modelo de pendiente de la zona oriental del Norte en el Huso 30 ETRS-89	100
Figura 6.2.9.1-Modelo digital de la zona oriental del Sur en el Huso 30 ETRS-89	102
Figura 6.2.9.2-Modelo de pendiente de la zona oriental del Sur en el Huso 30 ETRS-89	102
Figura 6.2.10.1-Modelo digital de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89	104
Figura 6.2.10.2-Modelo de pendiente de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89.....	104
Figura 6.2.11- Modelo digital de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 ETRS-89.....	105
Figura 6.5.1-Relación entre el error (m) y el tamaño de pixel (m) del Principado de Asturias en el Huso 30 ED-50	124
Figura 6.5.2-Relación entre el error (m) y el tamaño de pixel (m) de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89.....	126



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6.1.1-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias occidental en el Huso 29 del ED-50.	71
Tabla 6.1.2-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 del ETRS-89.....	73
Tabla 6.1.3-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 del ETRS-89.....	74
Tabla 6.1.4-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 del ED-50.	76
Tabla 6.1.5-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 del ED-50.	77
Tabla 6.1.6-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 del ETRS-89.....	79
Tabla 6.1.7-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50.....	80
Tabla 6.2.1-Estadísticos de los errores del modelo de la zona occidental en el Huso 29 del ETRS-89.....	85
Tabla 6.2.2-Estadísticos de los errores del modelo de la zona de Lugo y León en el Huso 29 del ETRS-89.....	87
Tabla 6.2.3-Estadísticos de los errores del modelo de la zona occidental del Norte en el Huso 29 del ETRS-89.....	89
Tabla 6.2.4-Estadísticos de los errores del modelo de la zona occidental del Sur en el Huso 29 del ETRS-89.....	91
Tabla 6.2.5-Estadísticos de los errores del modelo de la zona occidental en el Huso 30 del ETRS-89.....	93



Tabla 6.2.6-Estadísticos de los errores del modelo de la zona oriental en el Huso 30 del ETRS-89.....	95
Tabla 6.2.7-Estadísticos de los errores del modelo de la zona de Cantabria y León en el Huso 30 del ETRS-89.....	97
Tabla 6.2.8-Estadísticos de los errores del modelo de la zona oriental del Norte en el Huso 30 del ETRS-89.....	99
Tabla 6.2.9-Estadísticos de los errores del modelo de la zona oriental del Sur en el Huso 30 del ETRS-89.....	101
Tabla 6.2.10-Estadísticos de los errores del modelo de la zona oriental del Sur en el Huso 30 del ETRS-89	103
Tabla 6.3.1-Correlaciones entre el valor absoluto de los residuos (Abs), la elevación y pendiente de los vértices geodésicos de REGENTE de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89	108
Tabla 6.3.2-Correlaciones entre el valor absoluto de los residuos, la elevación y pendiente de los vértices geodésicos de ROI de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89	109
Tabla 6.3.3-Correlaciones entre el valor absoluto de de los residuos, la elevación y pendiente de los vértices geodésicos de REGENTE de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 si seleccionamos los errores mayores de un metro.....	109
Tabla 6.3.4-Correlaciones entre el valor absoluto de los residuos, la elevación y pendiente de los vértices geodésicos de ROI de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 si seleccionamos solo los errores mayores de un metro	110
Tabla 6.4.1.1-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 10 metros.....	111
Tabla 6.4.1.2-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 20 metros.....	112



Tabla 6.4.1.3-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 30 metros.....	113
Tabla 6.4.1.4-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 50 metros.....	114
Tabla 6.4.1.5-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 100 metros.....	115
Tabla 6.4.1.6-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 1000 metros.....	116
Tabla 6.4.2.1-Estadísticos de los errores del modelo de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 10 metros	117
Tabla 6.4.2.2-Estadísticos de los errores del modelo de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 20 metros	118
Tabla 6.4.2.3-Estadísticos de los errores del modelo de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 30 metros	119
Tabla 6.4.2.4-Estadísticos de los errores del modelo de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 50 metros	120
Tabla 6.4.2.5-Estadísticos de los errores del modelo de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 100 metros	121
Tabla 6.4.2.6-Estadísticos de los errores del modelo de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 1000 metros	122



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1.1-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias occidental en el Huso 29 del ED-50.	71
Gráfico 6.1.2-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 del ETRS-89.....	73
Gráfico 6.1.3-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 del ETRS-89.....	74
Gráfico 6.1.4-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 del ED-50.	76
Gráfico 6.1.5-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 del ED-50.	77
Gráfico 6.1.6-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 del ETRS-89.....	79
Gráfico 6.1.7-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50.....	80
Gráfico 6.1.8.1-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50.....	82
Gráfico 6.1.8.2-Residuos en los vértices geodésicos de la zona occidental del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50.....	83
Gráfico 6.1.8.3-Residuos en los vértices geodésicos de la zona central del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50.....	83
Gráfico 6.1.8.4-Residuos en los vértices geodésicos de la zona oriental del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50.....	84
Gráfico 6.2.1-Residuos en los vértices geodésicos de la zona occidental en el Huso 29 del ETRS-89.....	85



Gráfico 6.2.2-Residuos en los vértices geodésicos de la zona de Lugo y León en el Huso 29 del ETRS-89.....	87
Gráfico 6.2.3-Residuos en los vértices geodésicos de la zona occidental del Norte en el Huso 29 del ETRS-89.....	89
Gráfico 6.2.4-Residuos en los vértices geodésicos de la zona occidental del Sur en el Huso 29 del ETRS-89.....	91
Gráfico 6.2.5-Residuos en los vértices geodésicos de la zona occidental en el Huso 30 del ETRS-89.....	93
Gráfico 6.2.6-Residuos en los vértices geodésicos de la zona oriental en el Huso 30 del ETRS-89.....	95
Gráfico 6.2.7-Residuos en los vértices geodésicos de la zona de Cantabria y León en el Huso 30 del ETRS-89.....	97
Gráfico 6.2.8-Residuos en los vértices geodésicos de la zona oriental del Norte en el Huso 30 del ETRS-89.....	99
Gráfico 6.2.9-Residuos en los vértices geodésicos de la zona oriental del Sur en el Huso 30 del ETRS-89..	101
Gráfico 6.2.10-Residuos en los vértices geodésicos de la zona oriental del Sur en el Huso 30 del ETRS-89	103
Gráfico 6.2.11.1-Residuos en los vértices geodésicos de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89..	105
Gráfico 6.2.11.2-Residuos en los vértices geodésicos de la zona occidental de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89.....	106
Gráfico 6.2.11.3-Residuos en los vértices geodésicos de la zona central de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89.....	106
Gráfico 6.2.11.4-Residuos en los vértices geodésicos de la zona oriental de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89.....	107



Gráfico 6.4.1.1-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 10 metros	111
Gráfico 6.4.1.2-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 20 metros	112
Gráfico 6.4.1.3-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 30 metros	113
Gráfico 6.4.1.4-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 50 metros	114
Gráfico 6.4.1.5-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 100 metros	115
Gráfico 6.4.1.6-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 1000 metros	116
Gráfico 6.4.2.1-Residuos en los vértices geodésicos de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 10 metros	117
Gráfico 6.4.2.2-Residuos en los vértices geodésicos de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 20 metros	118
Gráfico 6.4.2.3-Residuos en los vértices geodésicos de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 30 metros	119
Gráfico 6.4.2.4-Residuos en los vértices geodésicos de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 50 metros	120
Gráfico 6.4.2.5-Residuos en los vértices geodésicos de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 100 metros	121
Gráfico 6.4.2.6-Residuos en los vértices geodésicos de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 1000 metros	122



1. INTRODUCCIÓN

1.1. LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

La revolución informática producida a partir de los años 60 ha introducido grandes cambios en muchos aspectos de la sociedad. El desarrollo científico y tecnológico ha sido uno de los campos más afectados por la enorme capacidad de cálculo de los ordenadores. Las ciencias ambientales no han sido una excepción y, aprovechando esta capacidad, se han visto sometidas a cambios que han permitido nuevas formas de trabajo diferentes a las tradicionales.

El tratamiento de los datos geográficos ha tenido una evolución muy importante. A la función histórica de los mapas, como una referencia para los desplazamientos terrestres y marítimos, se ha añadido más recientemente la de servir de documento básico en la planificación territorial y, de forma más general, en los estudios ambientales.

En este sentido, las concepciones tradicionales de lo que es la cartografía y de las formas de trabajo que se apoyan en ella se han visto profundamente transformadas:

- El tratamiento manual de la información cartográfica se ha complementado con la integración de la misma en los sistemas de información geográfica (SIG), sistemas informáticos diseñados para el manejo, análisis y cartografía de información espacial referenciada.
- Se ha pasado progresivamente de una concepción analítica en la que cada variable era contemplada y estudiada de una forma independiente, a una concepción sintética, donde las variables ambientales tienden a integrarse en sistemas de elementos interrelacionados e independientes.
- Se ha evolucionado desde un enfoque básicamente descriptivo hacia otro explicativo y prospectivo, en el que los medios disponibles permiten la realización de modelos cuantitativos de propiedades y de fenómenos dinámicos.

El manejo eficaz y productivo de las estructuras de datos con una organización espacial sólo se ha hecho posible cuando se ha pasado del tratamiento manual al uso generalizado de los medios informáticos. La cartografía digital abarca este amplio ámbito de tratamiento de la información y, dentro de la misma, los modelos digitales del terreno representan una parte con carácter propio.



1.1.1. CONCEPTO DE MODELO

La palabra “modelo” en ámbitos geográficos, se define como una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades (Joly, 1988).

Los modelos se construyen estableciendo una relación de correspondencia con la realidad cuyas variables pueden producir modelos de características diferentes.

Hay tres tipos básicos de modelos; en los modelos icónicos, la relación de correspondencia se establece a través de las propiedades morfológicas. Los modelos análogos poseen algunas propiedades similares a los objetos representados pero sin ser una réplica morfológica de los mismos. Finalmente, en los modelos simbólicos se llega a un nivel superior de abstracción ya que el objeto real queda representado mediante una simbolización matemática (Turner, 1970).

Los modelos digitales del terreno (MDT) se incluyen dentro de los modelos simbólicos y las relaciones de correspondencia que se establecen con el objeto tienen la forma de algoritmos o formalísimos matemáticos.

Los MDT presentan algunas ventajas sobre el resto de tipos de modelos, derivadas de su naturaleza numérica: no ambigüedad, posibilidad de modelización de procesos con una deducción estricta, verificabilidad y repetibilidad de los resultados.

El segundo aspecto de los modelos que nos interesa no se deriva directamente de la definición anterior ya que aquella no aporta nada sobre sus objetivos. En el caso presente, la construcción de modelos se realiza para conocer o predecir propiedades que se desconocen del objeto real. Algunos autores llegan a incluir esta expresión de finalidad en la propia definición de modelo: un objeto M es un modelo de X para un observador O , si O puede utilizar M para responder a cuestiones que le interesan acerca de X (Aracil, 1986). Este es el sentido en el que vamos a desarrollar los modelos: partiendo de una información conocida a partir de la medición del objeto real, se elaborará información derivada que refleja otras propiedades diferentes.

La elaboración de modelos debe realizarse de forma que la relación de correspondencia entre el objeto real y el modelo sea al menos parcialmente reversible y exista, por tanto, una relación simétrica que permita la traducción de algunas propiedades del modelo a la realidad.



La existencia de la relación simétrica permite que un resultado C' relativo al modelo pueda traducirse en otro C relativo al objeto real y , de esta forma, que las respuestas derivadas del modelo sean aplicables sobre la realidad sin verse despojadas de sentido.

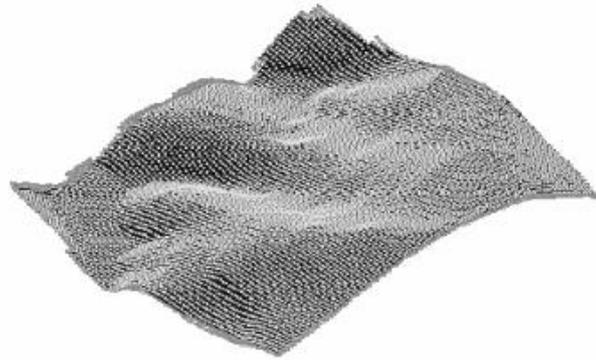


Figura 1.1-Creación de un modelo digital, fragmento de Modelo digital del terreno del Principado de Asturias

La utilidad de los modelos para conocer o predecir, puede valorarse sometiendo los resultados a verificación experimental. En efecto, si del uso del modelo M se deduce una propiedad determinada, ésta será previsiblemente aplicable al objeto real X . El contraste experimental puede servir de mecanismo de realimentación para realizar ajustes, tanto en los elementos que componen el modelo como en las relaciones que se establecen entre ellos.

El contraste experimental puede servir de mecanismo de realimentación para realizar ajustes, tanto en los elementos que componen el modelo como en las relaciones que se establecen entre ellos.

Hay que destacar que la naturaleza digital y simbólica de los MDT permite una elevada precisión en la descripción de los procesos pero no garantiza la exactitud de los resultados (Popper, 1984)

1.1.2. MODELOS DIGITALES DEL TERRENO (MDT)

Los MDT son una categoría de modelos simbólicos que ha nacido y se ha desarrollado al amparo de las nuevas tecnologías. Uno de los elementos básicos de cualquier representación digital de la superficie terrestre son los Modelos Digitales de Terreno (MDT). Constituyen la base para un gran número de aplicaciones en ciencias de la Tierra, ambientales e ingenierías de diverso tipo.

Los MDT son la herramienta idónea para el estudio y manejo de un buen número de variables geológicas, biológicas y geográficas.

Los modelos digitales del terreno se han definido como un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio (Doyle, 1978). Debemos de tener en cuenta por un lado, que se añade la matización de que los modelos que van a ser tratados son digitales, y por otro lado, que se resalta la importancia de la distribución espacial de la variable representada.

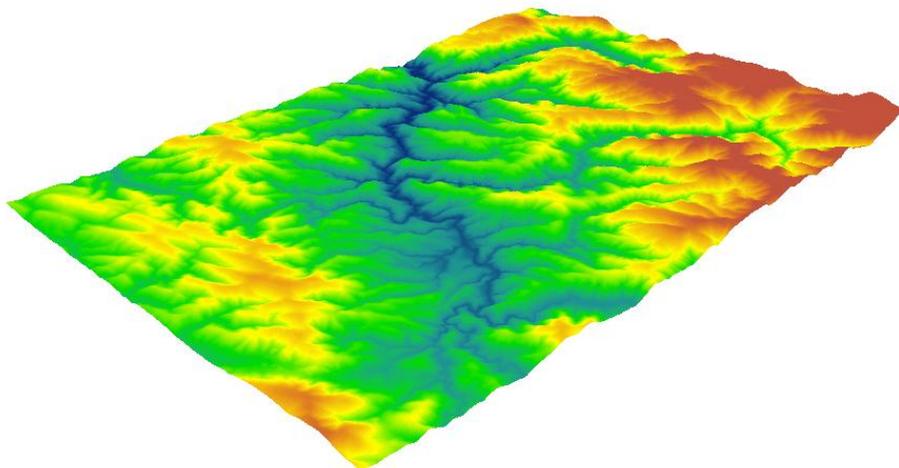


Figura 1.2-Modelo digital del Terreno (MDT) en la hoja 99 del MTN50 (Lugo)

Figura 1.2-Los modelos digitales incorporan datos para representar las más diversas variables (temperatura, humedad, distribución de especies animales o vegetales, precipitaciones, densidad de población, etc.).

La diferencia básica entre los modelos digitales y los modelos analógicos reside en que los primeros están codificados en cifras, lo que permite su tratamiento por medios informáticos.

Para llegar a la elaboración de los modelos digitales es necesario, realizar un proceso de codificación de la información, que permite una representación virtual en forma de cifras. Las relaciones espaciales o las características que se desean representar se traducen a diferentes



tipos de estructuras (vectores, matrices, conjuntos, etc.) o a expresiones matemáticas que expresan relaciones topológicas y funcionales.

Los MDT pueden ser contruidos directamente a partir de la realidad a representar, pero es muy habitual que exista un modelo analógico intermedio a partir del cual se realiza la codificación. Éste modelo analógico puede adoptar formas diversas, desde los mapas hasta pares fotográficos, estereoscópicos. Por este motivo, los MDT han sido entendidos como una versión digital, y por tanto codificada, de los mapas convencionales por lo que, en ocasiones, han sido denominados mapas virtuales.

Otro aspecto interesante es que la definición anterior permite que la característica a representar sea diferente de la altitud. Este aspecto debe ser destacado ya que es habitual identificar los MDT con los modelos digitales de elevaciones cuando, en realidad, pueden ser representadas muchas otras propiedades del terreno. Es deseable diferenciar claramente qué variable se está representando en el modelo.

Asimismo, es necesario realizar alguna limitación en cuanto al tipo de variable representada ya que es discutible que las versiones digitales de los mapas de vegetación, de vías de comunicación o de puntos singulares puedan ser considerados modelos digitales del terreno.

Por este motivo, introduciremos en la definición de MDT dos condiciones suplementarias. La primera es que debe existir una estructura interna que represente las relaciones espaciales entre los datos. La segunda es que la variable representada en el modelo debe ser cuantitativa y de distribución continua. Con ello se excluyen las variables categoriales, representadas habitualmente mediante recintos y, de forma general, las variables representadas por entidades lineales o puntuales.

Por tanto, podemos decir que un MDT es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continúa.

En la cartografía convencional la descripción hipsométrica constituye la infraestructura básica del resto de los mapas. El papel equivalente en los MDT lo desempeña el modelo digital de elevaciones (MDE), que describe la altimetría de una zona mediante un conjunto de datos acotados.

Siguiendo la analogía cartográfica, es posible construir un conjunto de modelos derivados, elaborados a partir de la información contenida explícita o implícitamente en el MDE.

Los modelos derivados más sencillos pueden construirse exclusivamente con la información del MDE y reflejan características morfológicas simples (pendiente, orientación, etc.). Incorporando información auxiliar es posible elaborar otros modelos más complejos, utilizando conjuntamente la descripción morfológica del terreno y simulaciones numéricas de procesos físicos.

Los MDT descritos de esta forma son esencialmente modelos estáticos (en los que las propiedades representadas permanecen con valores inmutables), pero su naturaleza digital permite utilizarlos para realizar procesos de simulación dinámica con cierta facilidad. Así, por ejemplo, el uso de un MDE complementado con una simulación de la trayectoria solar permite conocer la cantidad acumulada de horas de radiación directa que puede recibir un lugar determinado.

Tanto la construcción de los modelos derivados como los procesos de simulación dinámica son posibles mediante el diseño de algoritmos numéricos, es decir, construyendo secuencias explícitas de operaciones matemáticas que conducen a la solución de problemas concretos.

El correcto funcionamiento de los algoritmos es susceptible de revisión mediante el contraste o verificación del modelo derivado con el objeto real. Este contraste se realiza mediante métodos de análisis del error que, habitualmente, se basan en la comparación de una muestra extraída del modelo derivado con medidas empíricas realizadas sobre el terreno.

Los resultados del análisis del error permiten efectuar ajustes en el algoritmo, aumentando su fiabilidad y, por tanto, su capacidad predictiva. Esto significa que un algoritmo sólidamente construido, aplicado sobre un MDT fiable, permite estimar propiedades que pueden ser aplicadas al objeto real con márgenes moderados de error, aportando información difícil de obtener por otros medios.

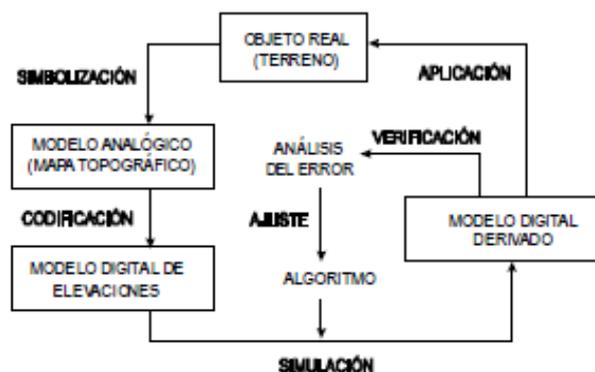


Figura 1.3-Los procesos básicos implicados en la creación, manejo y explotación de los MDE



Figura 1.3-Partiendo de la superficie real del terreno, la construcción del mapa topográfico incluye básicamente un proceso de simbolización, mediante el cual las propiedades del terreno se representan sobre un plano usando relaciones de analogía previamente establecidas.

La codificación numérica del modelo analógico conduce al modelo digital, susceptible de tratamientos matemáticos y estadísticos imposibles de aplicar al anterior. Ello permite construir modelos digitales derivados y realizar procesos de modelización mediante simulaciones numéricas. Los resultados obtenidos son contrastables con la realidad, induciendo correcciones o ajustes del algoritmo de modelización que permitan una mejor correspondencia con el fenómeno real.

1.1.3. ORIGEN DE MDT

A través de los tiempos esta denominación tuvo varios conceptos similares: Modelos Altimétricos Digitales o MAD, Modelos Digitales de Alturas o MDA y de elevaciones o DEM, también con el término Modelos Topográficos Digitales, acuñado por Cebrían y Mark en la década de los años 80 y como Modelo Digital del Terreno, la denominación más utilizada en el idioma castellano.

Las necesidades de los Ejércitos por obtener información minuciosa y aprovechable sobre las características de las superficies están relacionadas de manera directa con el origen de los Modelos Digitales del Terreno.

Hace más de treinta años que comenzaron las primeras tareas de investigación por parte del Ejército y la Marina de Estados Unidos para recaudar información de manera digital sobre los relieves del terreno. También las obras públicas que requieren del uso de Ingeniería civil se beneficiaban mucho con estos datos.

El término *digital terrain model* tiene aparentemente su origen en el Laboratorio de Fotogrametría del Instituto de Tecnología de Massachussetts en la década de los años 50.

Con el apoyo de este Instituto Tecnológico, situado en Boston se realizaron investigaciones para crear métodos que facilitaran el manejo sencillo y rápido de estos datos.

Estas investigaciones dieron como resultado la creación de las estructuras de datos raster y TIN así como también un cambio en la forma de trabajar los Sistemas de Información Gráfica con respecto a cuerpos planos.

En el trabajo pionero de Miller y Laflamme (1958) se establecen ya los principios del uso de los modelos digitales para el tratamiento de problemas tecnológicos, científicos y militares.



La definición del MDT que se menciona en los trabajos de Miller y Laflamme es una representación estadística de la superficie continua del terreno, mediante un número elevado de puntos selectos con coordenadas (X, Y, Z) conocidas, en un sistema de coordenadas arbitrario.

El objeto de su trabajo fue a acelerar el diseño de carreteras mediante el tratamiento digital de datos del terreno adquiridos por fotogrametría, planteándose una serie de algoritmos para la obtención de pendientes, áreas, etc.

Ante el problema de almacenar muchos datos por la escasa capacidad de almacenamiento de los ordenadores en aquella época, se propuso el uso de ecuaciones polinómicas para almacenar segmentos de los perfiles topográficos. Esta técnica se sigue utilizando en la actualidad, aunque se han propuesto versiones algo más sofisticadas (Walton, 1989).

Los programas de uso más general para el tratamiento de los MDT tuvieron que esperar algunos años más y, habitualmente, surgieron en un contexto SIG que incorporaba la información topográfica para el manejo de cartografía digital en términos más generales. Probablemente el trabajo de mayor importancia fue desarrollado por el Harvard Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis que, en 1967, presentó el SYMAP; este conjunto de programas de manejo de cartografía digital incorporaba, entre otros, algoritmos de interpolación que permitían la generación de mapas de isolíneas a partir de puntos de altitud distribuidos irregularmente. SYMAP constituyó una de las primeras demostraciones de la posibilidad de manejo de la información espacial por medios informáticos.

Posteriormente surgieron programas como el SYMVU, destinado a generar simulaciones 3D de los datos procedentes del SYMAP, o el GRID, que manejaba información en formato matricial y, en general, un número considerable de aplicaciones con bases muy diferentes.

Sólo una cobertura topográfica global y utilizada de forma general podía garantizar cierta convergencia en los métodos de trabajo con los MDT. Esto se consigue en la década de los años 80 en los EE.UU., con los trabajos del U.S. Geological Survey, que estandariza la información de un modelo digital de elevaciones para los Estados Unidos: el USGS-DEM, en formato matricial.

Los programas de manejo de modelos digitales están en la actualidad en pleno desarrollo, aunque aún intentando resolver satisfactoriamente problemas básicos, como la estructuración idónea de los datos, la compatibilización de diferentes estructuras entre sí, la búsqueda de algoritmos eficientes para generar nueva información y el intercambio de ésta entre sistemas diferentes.



1.2. SISTEMAS DE REFERENCIA EN ESPAÑA

El Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio regula el sistema de referencia geodésico sobre el que se debe compilar toda la información geográfica y cartografía oficial, permitiendo una completa integración de la información geográfica y de la cartografía oficial española con la de otros países europeos y con los sistemas de navegación.

En el año 1852 comenzaron los trabajos de la Red Geodésica Fundamental por la Comisión del Mapa de España, que tenían que servir como base para la formación del Mapa Nacional a escala 1:50.000. Se adoptó como elipsoide de referencia el de Struve, datum Madrid y origen de longitud el meridiano de Madrid.

Posteriormente, y hasta el año 1934, el Instituto Geográfico procedió a la densificación de la Red Fundamental, con las redes de segundo y tercer orden. Las observaciones geodésicas realizadas, junto con las observaciones geodésicas del resto de los países europeos, dieron lugar a la creación del sistema de referencia ED50. El inicio de la era espacial ha traído consigo el uso de sistemas de posicionamiento que requieren el uso de otros sistemas de referencia entre los que destaca el ETRS89.

A continuación se describen ambos sistemas por ser los comúnmente empleados en este trabajo.

1.2.1. SISTEMA ED-50 (EUROPEAN DATUM 1950)

Hayford propuso en 1924 en la Asamblea Internacional de Geodesia y Geofísica (Madrid) un Elipsoide Internacional de Referencia, con:

$$a = 6378388 \text{ y } \alpha = 1/297.$$

Este elipsoide fue utilizado ampliamente por la mayoría de países, no siendo perfeccionado hasta 1964, donde la Unión Astronómica Internacional en Hamburgo estableció unos nuevos valores de:

$$a = 6378160 \text{ y } \alpha = 1/298,25$$

En la orientación de este sistema se estipula:

- El eje menor del elipsoide de referencia es paralelo a la dirección definida por el origen internacional convencional (O.I.C.) para el movimiento del polo.
- El meridiano de referencia es paralelo al meridiano cero adoptado por el BIH para las longitudes (Greenwich).



Tenía como origen de latitudes el Ecuador, y de longitudes, el Meridiano de Greenwich. Con este nuevo elipsoide las coordenadas geodésicas del *Datum* de Madrid diferían de las anteriores astronómicas, estableciéndose en:

$$\lambda = 3^{\circ}41'10'',629 \text{ W } \phi = 40^{\circ}24'34'',545 \text{ N}$$

Introduciendo un vector de desviación de la vertical con un módulo aproximado de $6'',45$.

El punto astronómico fundamental está en la Torre de Helmert, en la ciudad alemana de Potsdam. Para soluciones posteriores (ED79, ED87) el punto astronómico fundamental es Munich. En el caso de España es sistema altimétrico tiene el origen en el mareógrafo de Alicante.

Las altitudes son ortométricas o geoídalas, es decir, referidas al geoide.

En España se adoptó en 1970 el Sistema ED50 como sistema oficial, sustituyendo al antiguo con elipsoide de Struve y datum Madrid (Observatorio del Retiro), tomando como parámetros del elipsoide de Hayford los definidos en 1924 ($a = 6378388$ y $\alpha = 1/297$).

El sistema ED-50 ha sido el sistema oficial de la cartografía de la Península y Baleares hasta 2008, año en el que se adopta como oficial el ETRS89.

En él comenzó a usarse además la proyección UTM en la serie MTN50 (abreviatura empleada en España para el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000) y, ya de modo exclusivo en la serie MTN25 (a escala 1:25.000, iniciada en España en 1974).

Se comenzó, entonces, la reconstrucción de la red, señalizándose la totalidad de sus vértices mediante pilares de hormigón armado. Los trabajos finalizaron en 1992, quedando constituida la Red de Primer Orden (RPO) por 680 vértices, que forman una malla continua cubriendo todo el territorio. Ésta se complementa con la Red de Orden Inferior (ROI) integrada por 10.944 vértices.

El sistema ED50 ha generado problemas cartográficos derivados del empleo del elipsoide de Hayford, por lo que la red hubo de ser revisada (compensada). La IAG siempre recomendó su revisión con el fin de lograr una compensación europea más rigurosa.

Hasta hace poco tiempo el datum oficial en la cartografía española era el ED50 y por tanto la mayor parte de datos geográficos disponibles están representados en dicho datum. El sistema ED-50 fue sustituido por el Sistema ETRS-89 (REAL DECRETO 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España).



1.2.2. SISTEMA ETRS-89 (EUROPEAN TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM).

El ETRS89 (siglas en inglés de *European Terrestrial Reference System 1989*, en español Sistema de Referencia Terrestre Europeo 1989), es un sistema de referencia geodésico ligado a la parte estable de la placa continental europea. Este datum geodésico espacial es consistente con los modernos sistemas de navegación por satélite GPS, GLONASS y el europeo GALILEO.

Su origen se remonta a la resolución de 1990 adoptada por UEREF (Subcomisión de la Asociación Internacional de Geodesia, AIG, para el Marco de Referencia Europeo) y trasladada a la Comisión Europea en 1999, por lo que está siendo adoptado sucesivamente por todos los países europeos.

Está definido por 36 estaciones europeas y densificado mediante una serie de campañas GPS, la primera de las cuales comprendió un total de 93 estaciones GPS, observadas durante dos semanas en mayo de 1989 (Campaña GPS EUREF 89), en la que España contribuyó con 14 estaciones (dos de ellas permanentes: Robledo y San Fernando). El trabajo efectuado por un equipo de geodestas europeos finalizó con la presentación en Berna (Marzo de 1992) del conjunto de coordenadas de todas las estaciones EUREF 89.

Desde entonces, éstas han pasado a definir el ETRF 89, considerándose como puntos fiduciales, en los que deben apoyarse los trabajos GPS sobre las redes geodésicas nacionales. Así se está actuando en España donde, mediante el proyecto REGENTE, todo el territorio nacional quedó cubierto por una densa red de estaciones GPS a finales de 1997.

Desde esa fecha y hasta la actualidad se han realizado algunos mapas con este nuevo sistema de referencia en aplicaciones que requerían mucha precisión, pero no se ha implantado a nivel de usuario normal en mapas en papel al uso.

El Sistema ETRS89 emplea el mismo elipsoide que el sistema WGS84 (GRS80). La única diferencia es que los semiejes menores (b) varían en alguna décima de milímetro.

En definitiva se puede decir que $WGS84 \approx ETRS89$.

La materialización de este *Datum* sobre el terreno (ETRF89), o conjunto de puntos o vértices geodésicos, son señales cilíndricas de hormigón cuya implantación se completó en 2001.

En los nuevos mapas MTN del Instituto Geográfico Nacional (IGN) ya aparecen rotulados los vértices. Éstos (REGENTE) también pertenecen a la ROI anterior (ED50), de forma que al día de hoy se dispone de coordenadas en ambos sistemas, pudiéndose calcular así parámetros de transformación entre ambos sistemas. Los mapas que pueden adquirirse en estos momentos



están aún referidos a ED50 (salvo en Canarias, en donde utiliza el REGCAN95, totalmente compatible con WGS84≈ETRS89).

En España y en 1995, la compensación de la red geodésica de Canarias, dentro del marco de la Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales (REGENTE), supuso la materialización del sistema denominado REGCAN95, completamente compatible con el sistema ETRS89.

Desde el 29 de Agosto de 2007 un Real Decreto regula la adopción en España del sistema de referencia geodésico global ETRS89, sustituyendo al sistema geodésico de referencia regional ED50, oficial hasta entonces en el país y sobre el que actualmente se está compilando toda la cartografía oficial en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares, y el sistema REGCAN95 en el ámbito de las Islas canarias, permitiendo una completa integración de la cartografía oficial española con los sistemas de navegación y la cartografía de otros países europeos.

Mediante REAL DECRETO 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el Sistema Geodésico de Referencia oficial en España, se adopta el sistema ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) como nuevo sistema de referencia geodésico oficial en España y se propone un nuevo conjunto de coordenadas para las esquinas de hojas del MTN50 y sus divisiones. Para adaptarse a la norma, se dispone de un periodo transitorio hasta el 2015 en el que podrán convivir los dos sistemas.



2. ANTECEDENTES

2.1. DETECCIÓN Y CORRECCIÓN DE LOS ERRORES EN LOS MDE

El modelo digital de elevaciones (MDE) es la fuente básica de información para la elaboración de otros modelos, total o parcialmente dependientes de la topografía.

La calidad de un MDE depende del tipo y magnitud de los errores implicados, aunque es inevitable cometer errores debido a que los modelos son visiones simplificadas de la realidad, sometidas a un proceso de generalización (Lanter y Veregin, 1990).

Los errores en los MDE pueden ser separados en dos categorías: los *errores posicionales* implican una deficiente localización geográfica de la cota o de la trayectoria de la curva de nivel y afectan a la situación en el plano *XY*; los *errores atributivos* suponen una asignación imprecisa de la altitud asociada a la cota o a la curva e implican a las coordenadas en el eje *Z* siendo la altitud se trata como una propiedad del terreno, independientemente de su valor como tercera coordenada espacial. De esta forma, su tratamiento se realiza como con otras propiedades tales como pendiente, insolación, rugosidad, que no tienen un valor intrínseco como referente espacial. Estos dos tipos de errores han sido denominados también, *cartográficos* (error en la localización de elementos, sean puntos, líneas o polígonos) y *temáticos* (error en el atributo cartografiado, sean altitudes, población o cualquier otra característica) (Veregin, 1989).

Ambos tipos de errores aparecen en el proceso de creación de los MDE, tanto si se hace de forma automática como manual. Por este motivo, es necesario adoptar criterios para su detección y medida, así como valorar la influencia de los mismos en los modelos derivados (propagación del error).

Los errores posicionales afectan exclusivamente a los modelos vectoriales, que tratan entidades, mientras que en los matriciales las localizaciones están predefinidas por su naturaleza *raster*.

Los errores atributivos pueden encontrarse en ambos tipos de modelos pero presentan una problemática más compleja en los matriciales, la altitud se asigna habitualmente mediante operaciones de interpolación o ajuste, cuyo error es dependiente de múltiples factores.

2.2. NATURALEZA Y DETECCIÓN DE LOS ERRORES POSICIONALES

2.2.1. EL ERROR DERIVADO DEL PROCESO DE DIGITALIZACIÓN

Aunque los métodos de digitalización automática se han desarrollado cada vez con más perfección, la digitalización manual de mapas sigue siendo el método más usual de creación de MDE en equipos de trabajo de pequeño y mediano tamaño.

Este proceso ha sido reconocido como una importante fuente de error cartográfico (posicional en este caso) cuyas causas pueden dividirse en dos categorías, en función de su origen: *externas y operacionales*.

Las causas externas están relacionadas generalmente con la deformación de los documentos utilizados para la elaboración del MDE (mapas antiguos, en mal estado de conservación, referenciación geográfica deficiente o, simplemente, de mala calidad). Las inexactitudes de posición debidas a deformaciones del documento pueden rectificarse al menos parcialmente mediante un proceso global de corrección geométrica, capaz de modificar coherentemente la localización de las entidades cartografiadas para su ajuste a un sistema de proyección geográfico.

Los errores debidos a causas operacionales son propios de los procesos de digitalización y manipulación posterior de los datos. Así, el error introducido en el proceso de digitalización se debe básicamente a inexactitudes en la colocación del cursor del tablero sobre la curva de nivel. Se ha propuesto que los errores derivados del operador son, al menos parcialmente, procesos no aleatorios dependientes de los puntos previamente introducidos (Keefer, 1988). El motivo es que el operador tiende a un trazado inercial de la línea rebajando o excediendo la trayectoria según su morfología. En el caso de la digitalización en modo continuo, la magnitud y dirección del error de un punto depende parcialmente de los de puntos digitalizados anteriormente.

En el caso de la digitalización punto a punto, se ha propuesto también que el error introducido puede ser aleatorio y no serialmente correlacionado. El motivo es que existe una pausa entre punto y punto, durante la cual el operador coloca con precisión el cursor sobre la línea. El tiempo entre puntos sucesivos es suficiente para eliminar la influencia de los factores humanos citados, por lo que el error en cada punto es independiente de los anteriores. Sin embargo, cuando el operador mantiene el cursor en continuo movimiento, pulsando secuencialmente, el modo punto a punto simula el modo continuo y el fenómeno de autocorrelación se hace significativo.



Otros errores básicamente diferentes tienen su origen en factores fisiológicos, que producen temblores o "picos", así como en errores lógicos en el seguimiento de las líneas 5 y en la identificación de puntos críticos.

Finalmente, puede definirse un *error de generalización*, derivado de la reducción de una línea curva a otra compuesta por pequeños segmentos rectilíneos entre los puntos digitalizados. El error de generalización tiende a reducirse cuando el número de puntos aumenta y se incrementa generalmente con la complejidad de la línea. Debido a la naturaleza fractal del terreno, el proceso de generalización es inevitable a cualquier escala de trabajo pero su magnitud puede limitarse, al menos en parte, mediante una selección correcta de los puntos críticos en la digitalización.

Tanto los errores de posición como los de generalización introducen un cierto grado de incertidumbre en la trayectoria de la línea. Esta incertidumbre puede representarse mediante una banda o "pasillo" que representa un entorno de probabilidad de la localización real de la curva de nivel alrededor de la línea digitalizada.

La banda de probabilidad suele denominarse *banda epsilon* y se construye en forma de pasillo de ancho " ϵ " a cada lado de la línea (Veregin, 1989). El valor de " ϵ " depende de la magnitud del error en los puntos digitalizados. Los errores de digitalización pueden conducir no sólo a que las bandas epsilon de dos líneas vecinas se superpongan, sobre todo en terrenos de fuerte pendiente, sino a que lo hagan las propias líneas digitalizadas.

El primer caso sólo plantea los problemas de la "difusión" de la línea, con el error implicado; el segundo puede suponer graves incoherencias en la estructura de los datos.

Los errores posicionales puntuales pueden ser detectados habitualmente durante el propio proceso de digitalización, por lo que son corregidos por el mismo operador. Sin embargo, el error inducido por la deformación global del documento fuente es un problema que no suele considerarse en la fase de captación de datos por lo que su tratamiento merece una atención especial.

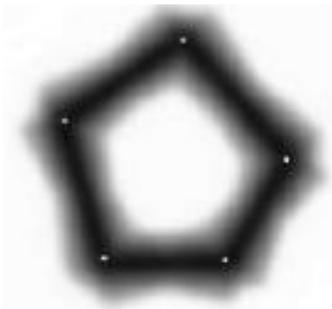


Figura 2.1-Error posicional (Cartográfico)

2.2.2. EL ERROR DEBIDO A DEFORMACIONES DEL DOCUMENTO FUENTE

Este tipo de errores se deben a causas externas a los trabajos de digitalización o postproceso del modelo y, se trata de errores globales (no locales), que afectan a la totalidad de los datos del modelo.

En el caso de un modelo vectorial, digitalizado a partir de un mapa original, el origen del error reside en la distorsión general del mapa topográfico, debida principalmente a modificaciones dimensionales del soporte físico.

En el caso de mapas impresos en soportes relativamente estables (poliéster o similares) el problema puede ignorarse. Sin embargo, la necesidad de una referenciación geográfica de los datos aconseja realizar un estricto control de las dimensiones del problema ya que una geometría distorsionada impide utilizar el modelo en combinación con otro tipo de cartografía digital, así como garantizar una correcta referenciación geográfica de los datos.

La medida de este tipo de error puede realizarse con criterios estadísticos a partir de un conjunto de puntos de control previamente localizados con precisión. El problema se plantea básicamente como una transformación de coordenadas, desde un sistema original (deformado) a otro de referencia, cuyos valores se corresponden adecuadamente con un sistema de proyección geográfica.

El método de corrección se ejecuta en tres pasos: en el primero se establecen una serie de puntos de control cuya localización se conoce con exactitud en ambos sistemas de coordenadas; en el segundo paso se establecen unas funciones de transformación entre ambos sistemas, calculadas a partir de los puntos de control; finalmente, en el tercero, las funciones se aplican a la totalidad de puntos del modelo.

Las funciones de transformación suelen estimarse independientemente para las abscisas y para las ordenadas. Definiendo con el subíndice T a las coordenadas originales y con G a las finales (sistema de proyección), se tienen las siguientes expresiones generales:

$$\hat{x}_G = \zeta_x(x_T, y_T); \hat{y}_G = \zeta_y(x_T, y_T)$$

En la mayoría de los casos, las funciones anteriores se estiman aplicando métodos estadísticos de los cuales el más utilizado es el de superficies de tendencia, en el que las funciones de combinación ζ se calculan mediante regresión múltiple o ecuaciones polinómicas estimadas por el método de mínimos cuadrados. Se han propuesto funciones diferentes (Goshtasby, 1986), pero el método polinómico es habitualmente suficiente para distorsiones moderadas. La expresión general del mismo es:



$$\hat{x}_G = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^{k-1} a_{i,j} \cdot x_T^i \cdot y_T^j$$

$$\hat{y}_G = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^{k-1} b_{i,j} \cdot x_T^i \cdot y_T^j$$

El grado del polinomio de ajuste es variable, desde 1 para transformaciones sencillas, que se limitan a operaciones de translación, rotación y cambio de escala, hasta grados superiores si la distorsión es de geometría más compleja. En el primer caso (transformaciones afines), las ecuaciones de transformación se reducen a un plano de regresión:

$$\hat{x}_G = a_{00} + a_{10} \cdot x_T + a_{01} \cdot y_T; \hat{y}_G = b_{00} + b_{10} \cdot x_T + b_{01} \cdot y_T$$

Donde los valores a_{00} , a_{10} , a_{01} , b_{00} , b_{10} y b_{01} son coeficientes.

La aplicación de este método se realiza mediante el siguiente proceso:

1. Definición de un conjunto de puntos de control sobre el mapa, determinando sus coordenadas originales (x_T , y_T) y sus coordenadas en el sistema de proyección (x_G , y_G) que se desee utilizar. El número de puntos de control n para una transformación de grado k debe ser, como mínimo $(k+1) \cdot (k+2)/2$.
2. Estimación de las funciones de transformación entre ambos sistemas de coordenadas por el método de mínimos cuadrados: ζ_x y ζ_y .
3. Estimación del error cometido en la transformación: se realiza comparando las coordenadas introducidas como datos con las resultantes de aplicar las funciones de transformación sobre los mismos puntos. El error suele estimarse como error cuadrático medio, ECM, separable para las componentes x e y :

$$ECM_x = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\hat{x}_{G_i} - x_{G_i})^2}$$

$$ECM_y = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\hat{y}_{G_i} - y_{G_i})^2}$$

4. Transformación de la totalidad de los datos del MDE mediante las funciones ζ , lo que origina un nuevo modelo vectorial compatible geoméricamente con el sistema de proyección geográfica.



El límite aceptable para el error cuadrático de las componentes o para el error cuadrático medio debe fijarse en función de la aplicación a la que va destinado el MDE, así como de la escala de partida, primer determinante de la precisión geométrica de un modelo. En caso de errores excesivos deben examinarse individualmente los puntos de control para comprobar si existe alguno especialmente anómalo. Posteriormente, puede variarse el grado de la transformación para intentar mejores ajustes.

De forma general, la transformación de primer grado sólo permite efectuar ajustes lineales por lo que, si el mapa está distorsionado, serán necesarias previsiblemente transformaciones de grado superior. El orden de éste tiene un límite operativo derivado de la precisión de los cálculos implicados en las operaciones matriciales necesarias.



2.3. DETECCIÓN DE LOS ERRORES ATRIBUTIVOS EN LOS MDE MATRICIALES

Los errores puntuales en los modelos matriciales pueden ser generados por causas diversas, incluso por los métodos automáticos de estereocorrelación, que pueden tener problemas operativos debido al bajo contraste de las imágenes, a ambigüedades por la repetición de objetos por la existencia de texturas periódicas sobre el terreno (Hannah, 1981), e incluso, por los reflejos solares sobre superficies de agua.

Cuando los modelos se construyen por transformaciones de archivos vectoriales previos, los conflictos pueden originarse en errores preexistentes o en el comportamiento de los algoritmos de interpolación utilizados en zonas problemáticas.

Las operaciones de interpolación pueden introducir también desviaciones no aleatorias en el modelo digital. La naturaleza de estos conflictos es típicamente local, es decir, se producen errores que sólo afectan a una pequeña fracción del área total. Por este motivo, las técnicas de detección suelen ser también locales y, en el caso de las comprobaciones de los valores de altitud, se basan generalmente en hipótesis sobre la continuidad en los valores de la pendiente (derivada primera de la altitud).

En los MDE de estructura matricial, la detección de errores en los valores de altitud se realiza generalmente mediante técnicas en las que un punto se comprueba usando los valores de los puntos más próximos.

Estos se definen mediante una "ventana" superpuesta al modelo, que delimita una fracción del mismo. En general, las ventanas suelen ser cuadradas (incluyen la misma cantidad de filas y columnas) y simétricas (el punto problema se sitúa en el centro de la ventana, lo que implica una dimensión impar).

El más sencillo de los métodos utilizables para la localización de errores en los valores de altitud se basa en el cálculo de las diferencias de altitud entre el punto problema y sus vecinos. Estas diferencias se comparan con un valor máximo, decidido previamente en función de los valores previsibles de pendiente en la zona.

Una sencilla estrategia para la detección rápida de puntos conflictivos dentro de una matriz de altitudes es la siguiente:

1. Dentro de la matriz se realiza un barrido por filas, donde para cada punto $z_{i,j}$, donde i es la fila y j la columna, se calculan las diferencias absolutas de altitud con el punto inmediatamente posterior:

$$\delta_z = |z_{i,j} - z_{i,j+1}|$$

2. Este valor se compara con otro prefijado δ_{max} que se utiliza como valor máximo esperado de cambio de altitud en el modelo. La condición de error e , se asigna en función del resultado de esta comparación y adquiere, por tanto, el valor de verdadero o falso:

$$e \leftarrow (|\delta_z| > \delta_{max})$$

Si en una línea sólo se detecta un valor conflictivo puede suponerse un punto de ruptura de pendiente. La detección de dos señales de alarma secuenciales es un indicador de que el punto implicado en ambos cálculos es probablemente erróneo (en el primero de ellos interviene como $z_{i,j+1}$ y en el segundo como $z_{i,j}$).

Esta prueba es probablemente la más elemental que puede aplicarse a un MDE matricial. Hannah (1981) propone pruebas más completas, basadas en el conjunto de los vecinos más próximos de cada punto, y utilizando tanto los valores de pendiente como los de cambio de pendiente.

En ellas se utilizan valores umbral para ambos parámetros con el fin de detectar puntos conflictivos. El valor de δ_{max} puede estimarse a partir de un valor máximo de pendiente prefijado γ_{max} y de la distancia entre filas y columnas, d :

$$\delta_{max} = d \cdot \tan \gamma_{max}$$

Estas pruebas, sin embargo, no tienen un valor estadístico, en el sentido de que no ofrecen una medida de verosimilitud o probabilidad para el valor de la cota sometida a prueba. Por ello, es conveniente desarrollar métodos alternativos que permitan obtener información complementaria.

El método siguiente (Felicísimo, 1992) tiene tres propiedades de interés con respecto a los anteriores:

- Se trata de un método objetivo, donde los umbrales de error se determinan mediante métodos estadísticos.
- La probabilidad de que un punto sea erróneo puede conocerse.
- Los valores umbral se deducen de los datos propios del modelo, por lo que se adaptan a las características del relieve de la zona estudiada (con unos valores propios de pendiente, rugosidad, etc.).

La base del test reside en el análisis de las diferencias existentes entre dos valores de altitud para cada punto: la primera es la existente en el MDE (correcta o errónea) y la segunda es un valor estimado mediante un proceso de interpolación a partir de las cotas vecinas.

El proceso comienza calculando para cada punto del modelo un valor de altitud basado en sus vecinos más próximos. En los métodos de interpolación existe la posibilidad de usar variantes



diversas. En este caso concreto es suficiente el método bilineal que, para un punto situado en la columna i y fila j , estima la altitud a partir de sus 4 vecinos más próximos mediante la expresión siguiente que es una simplificación del método bilineal solamente válida para el caso particular de cuatro datos equidistantes del punto problema.:

$$\hat{z}_{i,j} = (z_{i,j-1} + z_{i,j+1} + z_{i-1,j} + z_{i+1,j})/4$$

La diferencia entre la cota del modelo y la cota estimada es:

$$\delta_{i,j} = \hat{z}_{i,j} - z_{i,j}$$

El proceso se realiza para el total de puntos n del modelo digital de elevaciones (MDE) de forma que se obtiene una media de las diferencias:

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i,j} \delta_{i,j}$$

y una desviación estándar de las diferencias:

$$s_{\delta} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i,j} (\delta_{i,j} - \bar{\delta})^2}$$

Los valores anteriores definen la función de distribución de las diferencias, una distribución de Gauss $\mathbf{N}(\bar{\delta}, s_{\delta})$ que permite realizar un test de significación para los valores individuales $\delta_{i,j}$. Con este test se puede aceptar o rechazar la hipótesis de que el valor individual de desviación observado pertenece a la población de desviaciones. Para ello se utiliza un test de la t de Student, que debe realizarse para cada punto del modelo calculando el valor del estadístico mediante la expresión:

$$t_{i,j} = \frac{\delta_{i,j} - \bar{\delta}}{s_{\delta}}$$

El valor anterior se considera una desviación tipificada y se compara su magnitud con el valor tabulado $t_{\alpha[i, \infty]}$ (como el número de datos del modelo digital será habitualmente muy elevado, se considera equivalente a $t_{\alpha[\infty]}$). El modelo digital constituye la población, por lo cual los valores que definen la distribución pueden considerarse parámetros poblacionales y no estadísticos muestrales.

La probabilidad de error de Tipo I puede definirse con el fin de detectar solamente las diferencias muy significativas. Consecuentemente, la condición de error vendrá dada, por ejemplo, por:

$$e \leftarrow |t_{i,j}| \geq t_{10^{-6}[\infty]}$$

La hipótesis nula es:

$$H_0: \delta_{i,j} = \bar{\delta}$$



La alternativa es:

$$H_1: \delta_{i,j} \neq \bar{\delta}$$

La localización de puntos con un valor de t significativamente elevado no implica necesariamente un error de cota pero es un buen indicador de alarma. El criterio de selección de puntos conflictivos tiene en cuenta las características particulares de cada MDE pues los estadísticos de contraste se calculan a partir de su estructura real.



2.4. LA MEDIDA DEL ERROR ATRIBUTIVO EN LOS MDE MATRICIALES

La cuantificación del error sobre un modelo digital de elevaciones (MDE) matricial puede realizarse por comparación de un conjunto de valores conocidos de altitudes con los correspondientes puntos homólogos del modelo, usando pruebas estadísticas convencionales. En este sentido, el error de altitud en un punto i (δ_{z_i}) se define como la diferencia entre ambos datos:

$$\bar{Z}_i - Z_i$$

Donde el primer dato es la altitud del punto i en el modelo, y el segundo es la altitud "real" o de referencia, extraída de una fuente de datos precisa.

Los estadísticos del error deben calcularse con un número suficiente de puntos homólogos convenientemente distribuidos sobre el mapa. El error medio (EM) para este conjunto de datos se define como:

$$EM = \bar{\delta}_z = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_{z_i}$$

Donde n es el número de puntos que se comparan. El error estándar de las desviaciones, s_δ , se calcula mediante la expresión:

$$s_\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\delta_{z_i} - \bar{\delta}_z)^2}$$

Una prueba inmediata de calidad para el modelo puede realizarse comparando el error medio con un valor máximo aceptable, definido de acuerdo con unos baremos de calidad. La expresión es la siguiente:

$$t_z = \frac{(|\bar{\delta}_z| - \delta_{z0}) \cdot \sqrt{n}}{s_\delta}$$

Donde δ_{z0} es el error máximo aceptable. La desviación se considera estadísticamente significativa si

$$|t_z| < t_{\alpha[\infty]}$$

Donde el segundo término es el percentil de la distribución t de Student para un nivel de significación α . El número de datos n es habitualmente lo suficientemente elevado como para considerar válido el valor de ∞ para los grados de libertad.

En realidad, el uso del error medio tal como se presenta en las expresiones anteriores sólo tiene interés para comprobar si las desviaciones del modelo son aleatorias o no.



En el primer caso, EM tenderá a cero, mientras que en el segundo, la expresión que evalúa t_z será significativa tomando $\delta_{z0} = 0$. Por lo tanto, el problema del uso del error medio para la evaluación de la calidad de un MDE reside en que las desviaciones positivas y negativas se anulan; por este motivo, podría darse el absurdo caso de un MDE generado aleatoriamente alrededor de la altitud media de la zona que presentase un valor de error medio no significativo.

La solución a este caso es doble: tomar los valores absolutos de las desviaciones o bien usar el error cuadrático medio para la evaluación del error. En el primer caso, la expresión inicial se transforma en la correspondiente al error medio absoluto (EMA):

$$EMA = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |\delta_{z_i}|$$

Merchant (1987) sugiere el uso del error cuadrático medio (ECM) en vez del error medio. El ECM se calcula mediante la expresión:

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_{z_i}^2}$$

El uso de estos estadísticos permite una evaluación objetiva de la calidad de los MDE si, del mismo modo que en el caso de la cartografía convencional, se plantean unos baremos de calidad para los MDE. Los baremos parten de la base de que los grandes errores han sido corregidos y miden, por tanto, la desviación del modelo de la "realidad", expresada ésta a partir de una fuente de datos más fiable, como puede ser el mapa topográfico original utilizado en el proceso de digitalización (Keefer *et al.*, 1988)



2.5. ESTUDIOS REALIZADOS DE LA VERTIENTE CANTÁBRICA

En 1994 se publicó un estudio evaluado por el Instituto Geográfico Nacional sobre sus modelos MDT05, que ofrecen por el momento sólo algunos resultados parciales. Según éstos (García y Lumbreras, 1992:42), el error cuadrático medio observado en unas hojas concretas oscila entre los 25 y los 32 m (debe recordarse que el intervalo entre las curvas de nivel del mapa original es de 100 m).

Se ha considerado de interés la aplicación de los métodos descritos en el apartado anterior a tres zonas de la vertiente cantábrica, con el fin de aportar algunos datos suplementarios y, sobre todo, destacar la importancia del relieve como factor influyente en la cuantía del error. Para ello se han elegido tres zonas con un diseño topográfico muy diferente.

La primera coincide con la Hoja 14 (Gijón) del Mapa Topográfico Nacional de España a escala 1:50.000. La mayor parte de su superficie pertenece a los concejos de Carreño y Gijón. Su relieve es suave, condicionado por el origen geológico ya que, en su mayor parte, se trata de una antigua plataforma de abrasión marina elevada sobre el nivel actual del mar. En consecuencia, la pendiente media es muy baja, de apenas 1°.

La segunda zona está representada en la Hoja 53 (Langreo); los concejos con mayor superficie en ella son San Martín del Rey Aurelio, Langreo, Laviana y Bimenes. Pertenece a la cuenca media del río Nalón, cuyo relieve está condicionado básicamente por el modelado fluvial y su pendiente media es de 10°.

La tercera zona está situada en los límites entre Asturias y Cantabria y coincide con la Hoja 56 (Sotres). La mayor parte de su superficie está ocupada por el concejo asturiano de Cabrales y el término cántabro de Camaleño e incluye una parte significativa de los macizos Central y Oriental de los Picos de Europa. En el relieve actual influyen unos procesos kársticos muy activos actuando sobre un paisaje modelado por un glaciario o periglaciario reciente. La pendiente media de la zona alcanza los 22°.





3. OBJETIVOS DEL TRABAJO

El objeto de este trabajo es analizar la calidad de los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria, que están a disposición pública en distintos organismos con diferentes sistemas de referencia. Para ello se emplearán las posibilidades de análisis espacial que brindan los Sistemas de Información Geográfica (SIG), definiendo las características de los modelos digitales del terreno en la escala 1:5.000. Éstos son una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipos de cómputo y software especializados tales como ArcGIS.

Los objetivos específicos son:

- Crear una base de datos con puntos singulares usados como puntos de control, obteniendo las altitudes (Cota) sobre el nivel medio del mar en Alicante y las coordenadas cartesianas (X,Y) en el sistema ETRS-89 para los modelos digitales descargados desde el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y en ED-50 para los MDE distribuidos por el Principado de Asturias.
- Crear un modelo digital de elevación continuo del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria, a partir de las hojas del MTN50 que son proporcionadas por el CNIG.
- Evaluar los errores del atributo por regiones y, comparar los resultados obtenidos de cada una de las regiones, a saber:
 - ✓ Principado de Asturias occidental en el Huso 29
 - ✓ Principado de Asturias oriental en el Huso 30
 - ✓ Lugo y León en el Huso 29
 - ✓ Cantabria y León en el Huso 30



- Evaluar separadamente los modelos según el sistema cartográfico de referencia ETRS-89 y ED-50. El primero procederá del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y el segundo del Principado de Asturias.

- Evaluar la influencia del tamaño de pixel para definir el rango de escala en el cual es factible trabajar con la información. Se pretende evaluar los modelos con los siguientes tamaños de pixel:
 - ✓ 5 metros
 - ✓ 10 metros
 - ✓ 20 metros
 - ✓ 30 metros
 - ✓ 50 metros
 - ✓ 100 metros
 - ✓ 1000 metros

- Establecer las relaciones entre pendientes y residuos (errores), para observar si con pendientes altas los residuos son mayores, tal y como se demostró en trabajos previos.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende un conjunto de cuencas vertientes al cantábrico, se sitúa en el norte de España, en las provincias de la Comunidad Autónoma de Asturias, Lugo (Galicia), León (Castilla y León) y Cantabria, con una superficie total de 13.407,32 Km².

La zona de estudio tiene una orografía muy abrupta y una altitud máxima de 2643 m sobre el nivel del mar, con una distancia a la costa relativamente pequeña, de unos 40 Km, lo que implica grandes extensiones con fuertes pendientes.

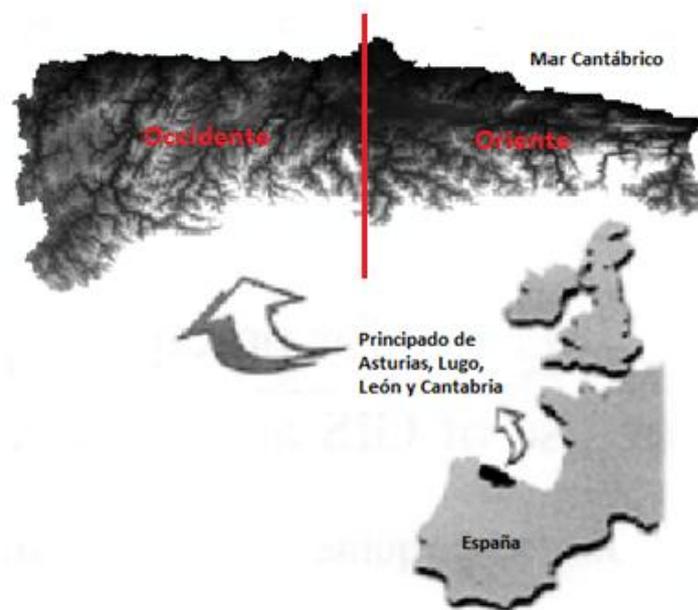


Figura 4.1-Ubicación del área de estudio

En este trabajo se usan dos tipos de MDE, diferenciables por su procedencia. El primer tipo procede del modelo digital del terreno MDT05 del Instituto Geográfico Nacional, mientras que el segundo ha sido elaborado en el INDUROT (1990) en el marco de proyectos específicos de cartografía. Cabe señalar que los modelos utilizados cubren superficies del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria pero que esta circunstancia de limitación geográfica no invalida, obviamente, la utilidad de los algoritmos que se presentan, que son de validez general.

Una herramienta clásica y fundamental son los Modelos Digitales de Elevaciones (M.D.E.), los cuales tienen nombres diferentes en virtud de la técnica utilizada para su generación, o de la variable a representar.



Las técnicas utilizadas varían desde la utilización de modelos de triangulación (comunes en geodesia) a la realización de matrices cuadrangulares aportando un valor de Z a cada celda.

Una de las ventajas de estos modelos es la posibilidad de obtener perfiles o cortes, así como efectuar análisis de visibilidad, como en estudios de impacto ambiental), de insolación (planificación agronómica...), etc. Sin embargo, no hay que olvidar que primero, la variable Z no tiene que ser necesariamente la altura (son comunes las representaciones de población, accesibilidad, caudales, contaminación...) y, segundo, que la representación obtenida no deja de ser un modelo interpolado a partir de datos reales y que por tanto los datos obtenidos deben responder a criterios y parámetros de calidad.

Se subdividen las regiones para conocer las superficies de cada una de ellas:

- Principado de Asturias, de 10.603,570 km².
- Lugo y León en la zona occidental, de 1932,464 km².
- Cantabria y León en la zona oriental, de 871,286 km².

Desde el punto de vista cartográfico el área de estudio tiene una peculiaridad, a saber, existe cambio de huso en la proyección UTM. La zona occidental se encuentra en el huso 29 y la oriental en el 30. Por esta razón se realizarán estudios relativos a la influencia del cambio de huso en los errores dado que para ciertas aplicaciones se requiere que todo el territorio esté representado en el mismo huso, que en tal caso será el 30.



5. METODOLOGÍA

5.1. PROCEDIMIENTO GENERAL

Para la realización de este trabajo es necesario disponer de una serie de datos de partida que permitan determinar la calidad de los MDE correspondientes al Principado de Asturias y comunidades limítrofes de Lugo, León y Cantabria, con el objeto de incluir cuencas hidrográficas completas. Los MDE han sido obtenidos del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), siendo de acceso público y del servicio de cartografía del Gobierno del Principado de Asturias. Para determinar la calidad de dichos MDE los datos empleados para la verificación han sido por las diferentes redes de Vértices Geodésicos existentes. La resolución de todos los modelos digitales del terreno de las hojas MTN50 es de 5 metros.

La metodología empleada ha consistido en determinar las diferencias de cotas existentes entre los MDE y los datos geodésicos disponibles, siendo representadas dichas diferencias en varios mapas. Además se ha valorado la relación entre las pendientes y el error absoluto. Para ello se han construido Modelos Digitales de pendientes con el comando *slope* de ArcGIS.

5.1.1. OBTENCIÓN DE PUNTOS DE CONTROL

Los puntos de control son vértices geodésicos tanto Regentes como ROI de primer, segundo y tercer grado.

Dentro de ArcMap tenemos la opción de cargar puntos en base a una tabla de Excel o de base de datos. Lo único que necesitamos es que el archivo Excel mantenga un formato adecuado y luego adicionarlos dentro de un documento de mapa (ArcMap) con el comando Add XY Data.

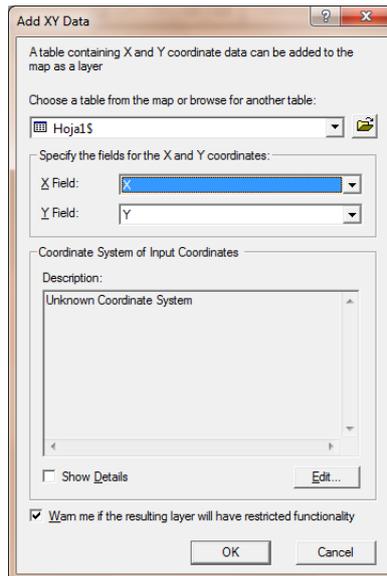


Figura 5.1.1.1-Ventana de Add XY Data

En el caso de un Excel, los encabezados de las columnas van a ser los nombres de los atributos, mientras que los datos van a ser los atributos de las celdas que vienen debajo como vemos la siguiente figura.

	A	B	C	D	E	F	G
1	NOMBRE	CONCEJO	X	Y	COTA	HUSO	TIPO
2	PEÑA PRIETA	VEGA DE LLÉBANA	359150,160	4765120,420	2538,762	30	ROI
3	PICO JANO	VEGA DE LLÉBANA	361813,720	4775459,860	1446,020	30	REGENTE
4	MEDIAJO	VEGA DE LLÉBANA	369578,110	4776103,990	997,818	30	ROI
5	PEÑA PORRERA	PESAGUERO	375697,130	4772553,060	1264,884	30	ROI
6	PEÑA LABRA	HERMANIDAD DE CAMPOO DE SUSO	383460,760	4767076,710	2028,270	30	ROI
7	NIAJO	OSEJA DE SAJAMBRE	331013,820	4777723,610	1743,153	30	ROI
8	GILDAR	POSADA DE VALDEÓN	341350,130	4773737,410	2078,019	30	ROI
9	PEÑA SANTA	POSADA DE VALDEÓN	340696,070	4785315,420	2596,031	30	ROI
10	LLAMBRIÓN	POSADA DE VALDEÓN	349170,990	4781935,530	2646,709	30	ROI
11	CORTÉS	CAMALEÑO	358420,610	4782975,130	2370,955	30	ROI
12	SAN CARLOS	CILLORIGO DE LLÉBANA	362020,910	4784451,000	2211,072	30	ROI
13	CUETO DE LA JONTAN	CILLORIGO DE LLÉBANA	369233,130	4787772,000	1351,313	30	ROI
14	GAMONAL	PEÑARRUBIA	373858,850	4792060,770	1227,345	30	ROI

Figura 5.1.1.2-Tabla de las coordenadas cartesianas en las provincias de Cantabria y León en el Huso 30 del ED-50

Ahora abrimos ArcMap y elegimos la opción “Add XY Data” del menú “Tools”. Dentro de la ventana hacemos clic en “Browse” para buscar el archivo Excel.

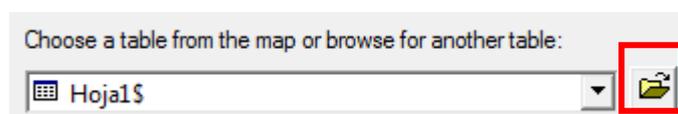


Figura 5.1.1.3- Buscar la tabla de las coordenadas cartesianas para cargar



Como podemos ver dentro de la versión 9.3.1 se aceptan los ficheros de Excel en extensión “.xlsx”, buscamos en la ruta donde se encuentra un fichero de Excel.

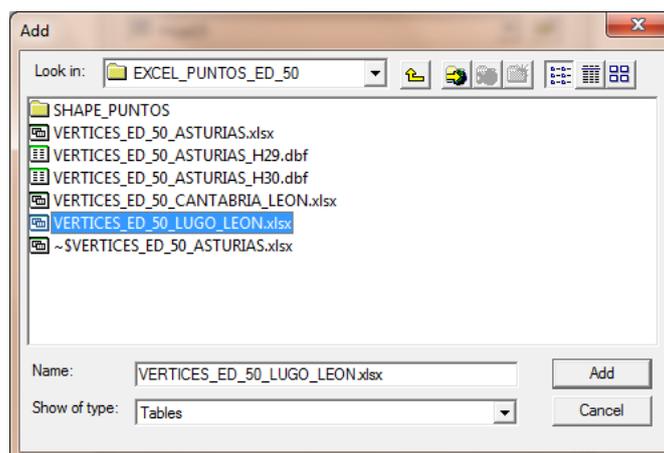


Figura 5.1.1.4-Buscar el fichero de Excel

Elegimos la Hoja1\$ porque en esa hoja esta la información.

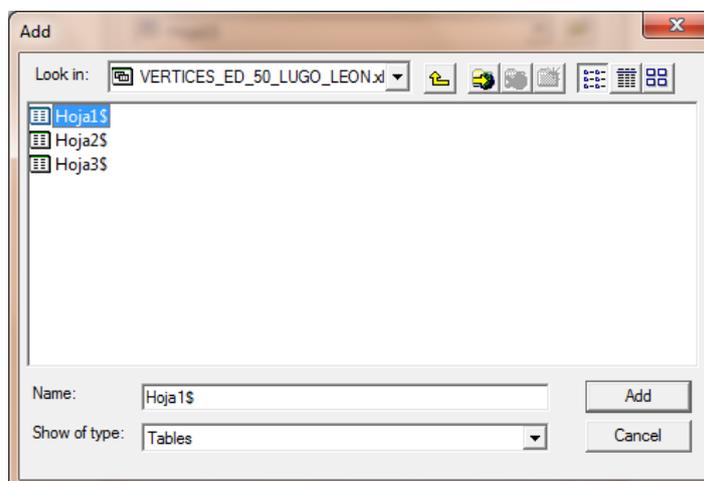


Figura 5.1.1.5-Elegiendo el fichero en extensión “.xlsx”

Dentro de la ventana vamos a configurar los siguientes valores, además de dar clic en “Edit” para definir el sistema de coordenadas.

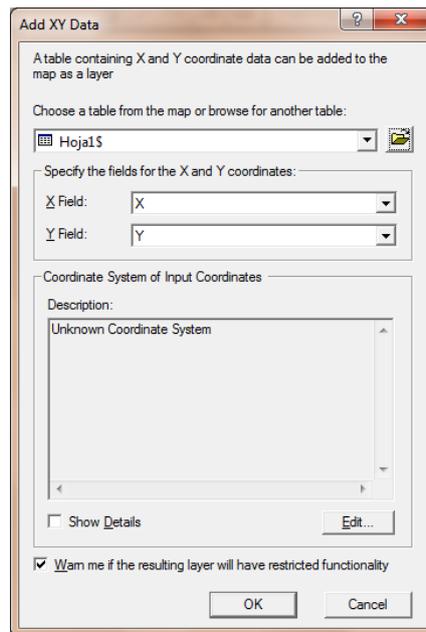


Figura 5.1.1.6-Ventana de Add XY Data

Tenemos que elegir el sistema de referencia proyectando “ED_1950_UTM_Zone_30N”

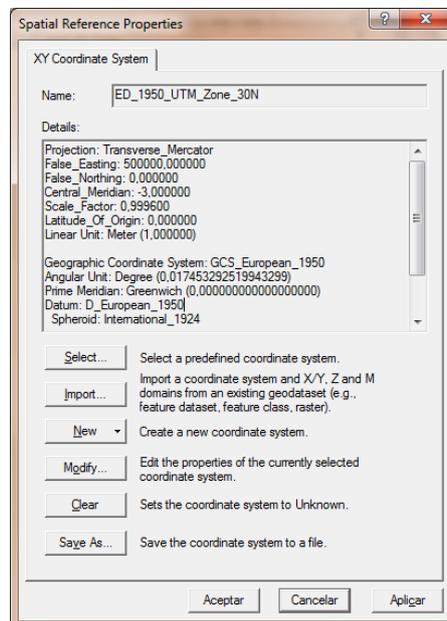


Figura 5.1.1.7-Ventana de Sistema cartográfico de referencia

Pulsa “Aceptar” y después tendré una imagen muy parecida a esta.

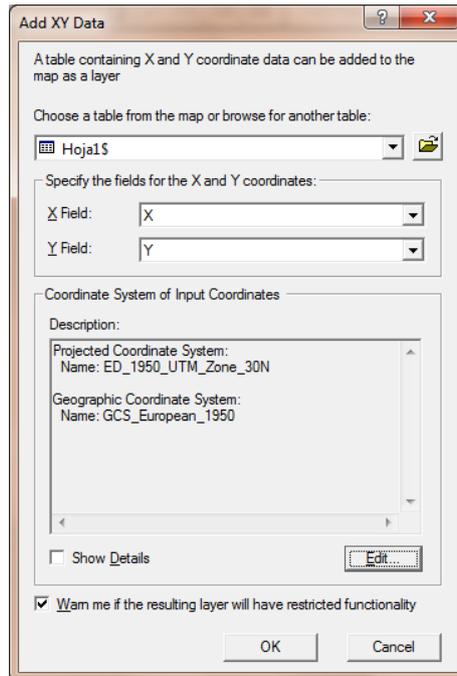


Figura 5.1.1.8-Ventana de Add XY Data

Ahora presiono "OK" y me sale un mensaje de advertencia donde dice que la tabla no tiene un Objectid, no hay problema solo hay que presionar "Aceptar".

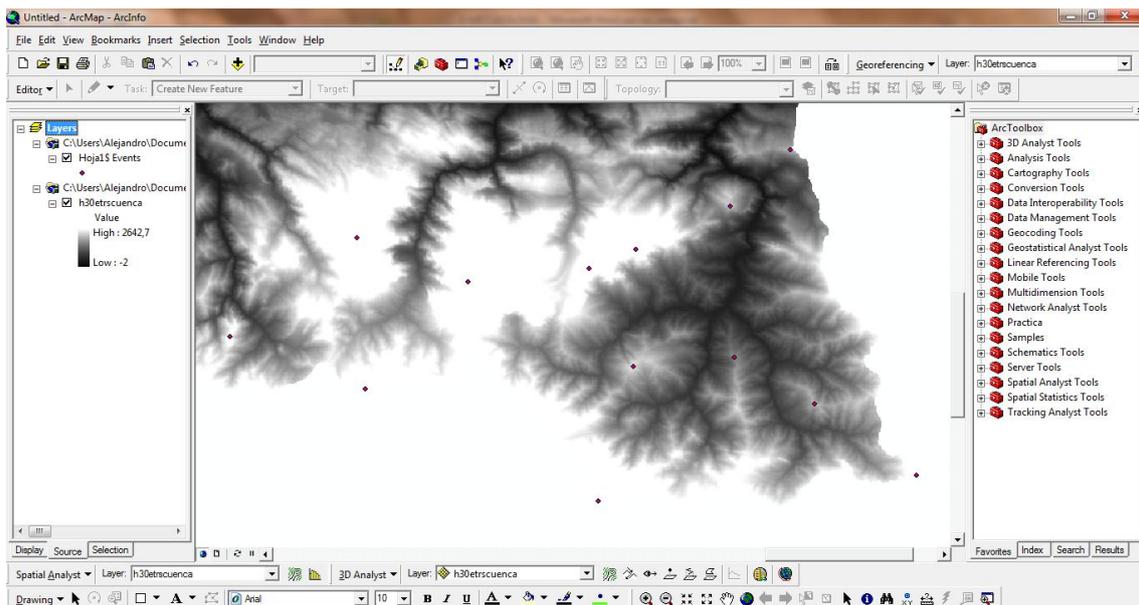


Figura 5.1.1.9-Visualización del mapa de los vértices geodésicos obtenidos de las provincias de Cantabria y León

Con ello tenemos los puntos cargados en el mapa. Pero estos puntos aún no forman parte de una geodatabase, de hecho esos puntos aún no están guardados. Para poder guardar esos puntos tenemos que hacer clic derecho sobre la capa y luego dar clic en “Data” luego clic en “Export Data”. Aparece más o menos una ventana parecida a esta:

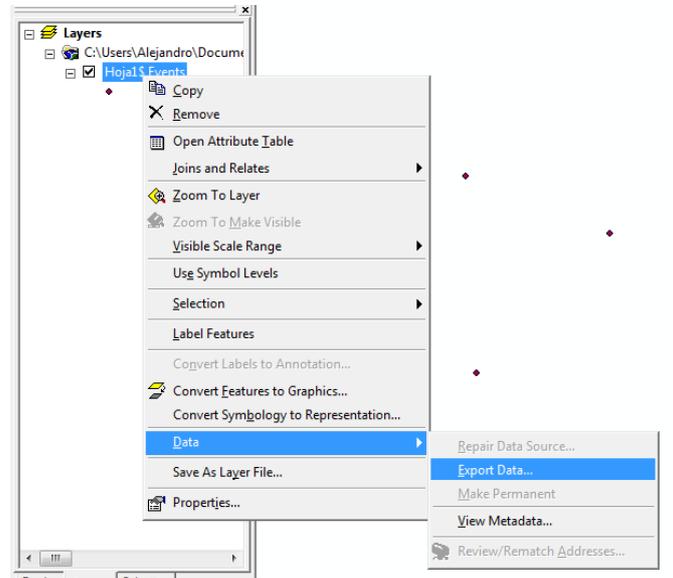


Figura 5.1.1.10-Exportar los datos

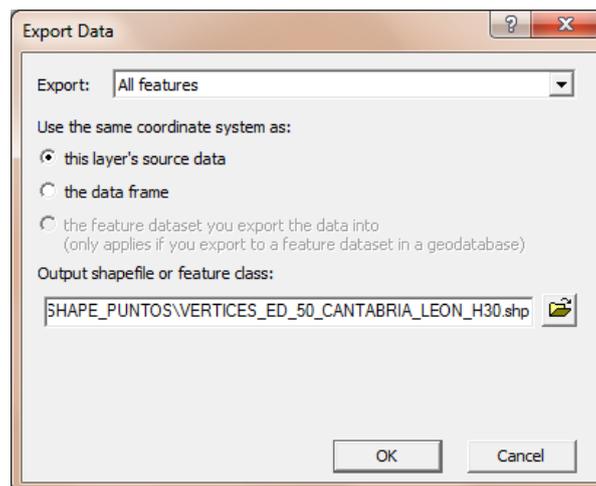


Figura 5.1.1.11-Ventana de “Export Data”

Si damos clic en “OK” empezará a guardar la información en un shapefile (también se puede guardar en un geodatabase), nos saldrá un mensaje preguntándonos si queremos que la capa se cargue en nuestro actual documento, damos clic en “SI”. Con ello ya tenemos guardada nuestra información en nuestro equipo lista para ser usada en diversos mapas. Ahora podemos borrar “Hoja1\$ Events” ya que ha sido guardada.

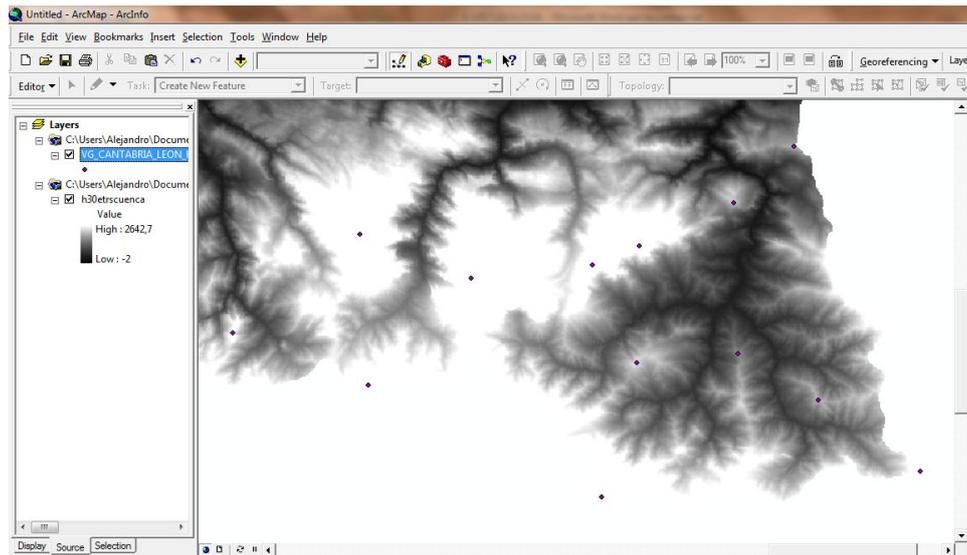


Figura 5.1.1.12-Visualización de los vértices geodésicos de las provincias de Cantabria y León guardados

Para el resto de los vértices geodésicos, realizamos los mismos pasos y luego transformamos el sistema de referencia, del ED-50 al ETRS-89 y proyectamos el Huso 29 al 30 en la zona occidental pero la oriental no porque ya está en el Huso 30. Finalmente, los vértices geodésicos de la zona occidental en el Huso 30 del ED-50 van a unirse a los de la zona oriental para los modelos aportados del Principado de Asturias y los de la zona occidental en el Huso 30 del ETRS-89 también se van a unir a los de la zona oriental para los descargados desde el Centro Nacional de Información Geográfica, del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria.

5.1.2. OBTENCIÓN DE LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

Descargar los modelos digitales del terreno de las hojas del MTN50 en la página web desde el Centro Nacional de Información Geográfica (<http://centrodedescargas.cnig.es>). El uso no comercial de los datos geográficos digitales distintos a los comprendidos en el Equipamiento Geográfico de Referencia Nacional y de los servicios de información geográfica prestados a través de Internet incluidos en la Orden FOM/956/2008, tiene carácter gratuito, pero será necesario aceptar una licencia en el momento de su descarga. Los modelos digitales del terreno del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria, tienen paso de malla de 5 m, con la misma distribución de hojas que el MTN50. El formato de archivo es ASCII matriz ESRI (asc). El sistema geodésico de referencia es ETRS89 y la proyección cartográfica es Universal Transversal de Mercator (UTM) en el huso correspondiente a cada hoja y también en el huso 30 extendido.



Figura 5.1.2.1-Página web del Centro de Descargas

5.1.3. PROYECCIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL SOBRE UN MODELO DIGITAL

Se proyectan los puntos sobre el modelo digital del terreno y se miden los valores de superficie para cada punto de una clase característica, utilizando las herramientas GIS. Los valores calculados se añaden a los atributos de la clase de entrada de las características.

Aplicamos la herramienta “Spot Surface” para obtener las altitudes de los puntos sobre un modelo digital del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria. En este caso de no tener una nivelación de precisión, estas cotas se pueden extraer a partir de un MDE a través de la herramienta 3D Analyst. La forma de proceder es la siguiente:

En primer lugar debemos contar con un modelo digital de elevaciones (MDE) y una entidad de los puntos de control como se muestra en la siguiente figura.

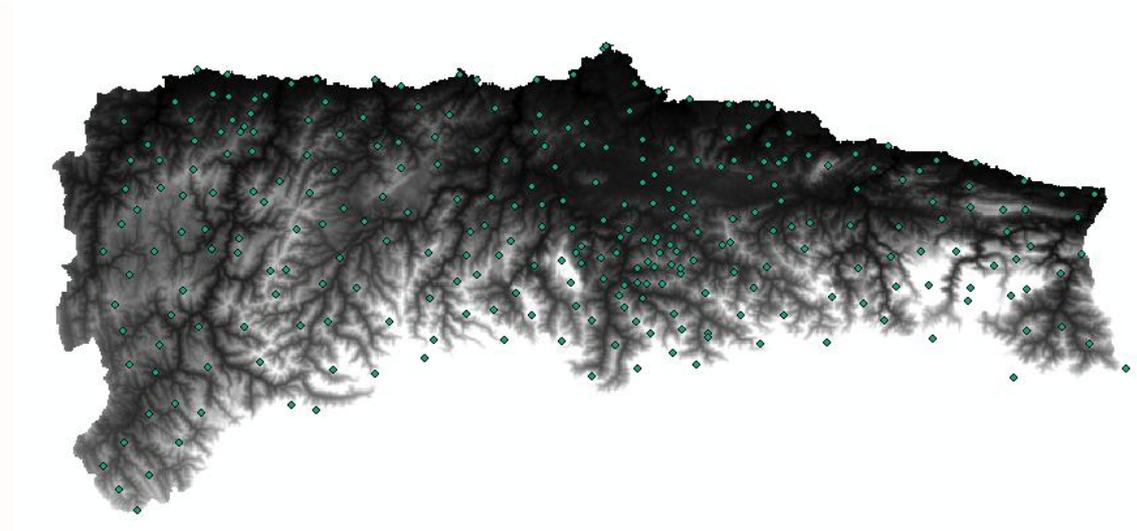


Figura 5.1.3.1-Visualización del mapa general de la vertiente cantábrica

Nos vamos a ArcToolbox, seleccionamos 3D Analyst Tools seguido de Funtional Surface y finalmente Surface Spot.

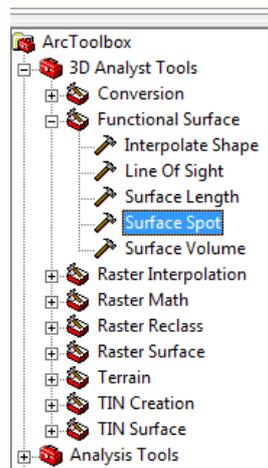


Figura 5.1.3.2-Herramienta "ArcToolBox"

En la ventana que aparece, introducimos la siguiente información:

- **Input Surface.** Introducimos el modelo digital de elevaciones (MDE) desde el que queremos extraer las cotas.
- **Input Feature Class.** La entidad de los puntos de control al que contiene nuestros puntos XY y al cual deseamos agregar las cotas extraídas del modelo digital de elevaciones señalado anteriormente.
- **Spot Field (optional).** Es el nombre del campo donde se agregarán las cotas.

Los demás campos los demos como aparecen.

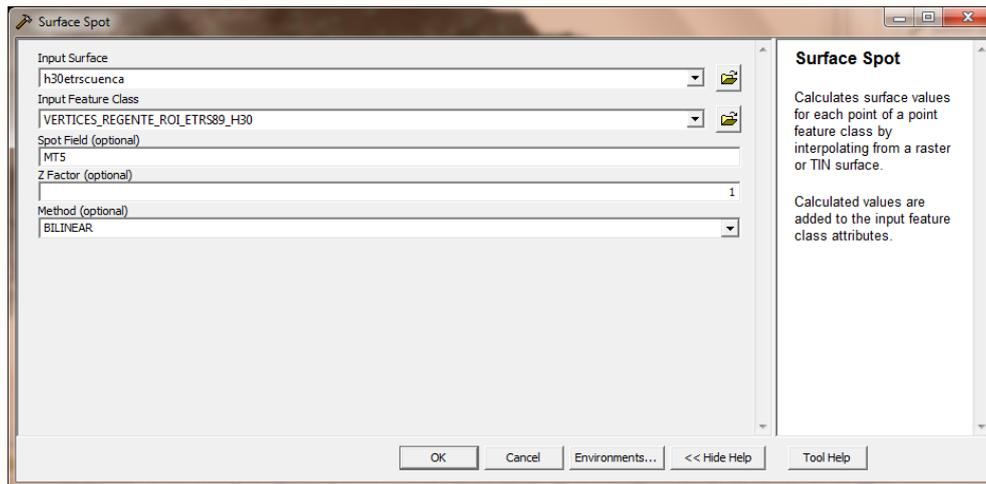


Figura 5.1.3.3-Formulario de “Surface Spot”

Tras el procesamiento de ejecución, damos clic derecho sobre la entidad de los puntos de control y seleccionamos la opción Open Attribute Table.

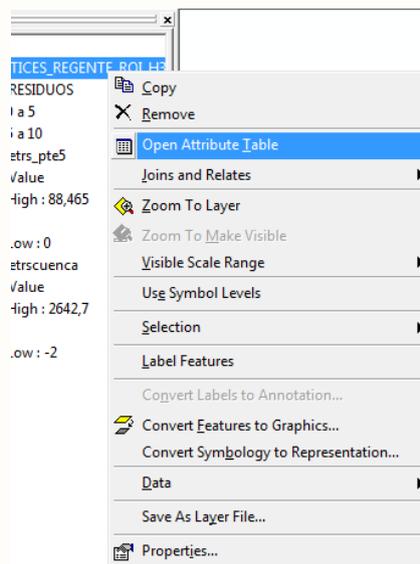


Figura 5.1.3.4-Seleccionar la opción “Open Attribute Table”

Finalmente, el resultado es el siguiente:



FID	Shape *	NOMBRE	CONCEJO	X	Y	COTA	HUSO	TIPO	ELEVACION
135	Point	PEÑA SANTA	POSADA DE VALDEÓN	340588,064	4785110,262	2596,031	30	ROI	2507,663069
136	Point	LLAMBRIÓN	POSADA DE VALDEÓN	349063,206	4781730,247	2646,709	30	ROI	2563,681681
219	Point	LA REVOLTONA	MIERES	286555,296	4787506,76	1086,495	30	ROI	1052,065242
171	Point	TORRECERREDO	CABRALES	349459,376	4784442,577	2649,227	30	ROI	2617,192632
204	Point	CUETO RAMÓN	LENA	274307,642	4785026,792	693,054	30	ROI	675,050315
262	Point	CIMA	SIERO	290205,039	4812336,792	736,36	30	ROI	727,011016
208	Point	SANTO FIRME	LLANERA	270121,199	4815096,418	438,189	30	ROI	429,333348
1	Point	OUVIANA	A FONSAGRADA	648239,189	4785734,767	897,724	29	ROI	889,53754
232	Point	BASE SUR	NORÉÑA	280774,356	4809195,329	229,88	30	ROI	221,922484
21	Point	A ÁREA	PEDRAFITA DO CEBREIRO	659720,962	4729674,514	1394,269	29	ROI	1386,331718
106	Point	BRANUGAS	TINEO	708062,929	4802034,328	1015,996	29	ROI	1008,125894
17	Point	TESÓN	NAVIA DA SUARNA	671909,367	4752115,099	1379,235	29	ROI	1371,483422
249	Point	GAMONITEIRO	QUIRÓS	262476,212	4785772,147	1790,794	30	ROI	1783,118179
31	Point	REBOLLIN	SALAS	719456,566	4809723,923	814,525	29	REGENT	807,608648
229	Point	MONSACRO	MORCÍN	264982,918	4793747,394	1054,056	30	ROI	1047,285792
86	Point	CUETO MAR	PROAZA	742004,51	4789350,762	1193,127	29	ROI	1186,554943
266	Point	LLOSONA	SIERO	289340,586	4803210,282	598,075	30	ROI	591,618077
260	Point	CASTIELLO	SIERO	287327,402	4805139,775	461,067	30	ROI	454,997425
88	Point	AGUIÓN	SALAS	718252,277	4815700,916	926,554	29	ROI	920,783166
275	Point	PELAPOTROS	VILLAVICIOSA	301112,035	4819672,322	410,398	30	ROI	405

Figura 5.1.3.5-Tabla de los atributos de los puntos de control de la vertiente cantábrica

Como se ve hemos obtenido las cotas a partir del modelo digital de elevación (MDE) del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria.

5.1.4. CÁLCULO DE LOS RESIDUOS

Se crea un campo para calcular los residuos después de proyectar todos los puntos de control de la vertiente cantábrica sobre el modelo digital de elevación, que son las diferencias entre las altitudes de los puntos de control y las altitudes de los modelos digitales del terreno. Después se calcula la diferencia entre la altitud real y la del MDE. Se define como la diferencia entre ambos datos:

$$\bar{Z}_i - Z_i$$

Finalmente, el resultado es el siguiente:

FID	Shape *	NOMBRE	CONCEJO	X	Y	COTA	HUSO	TIPO	ELEVACION	RESIDUOS
135	Point	PEÑA SANTA	POSADA DE VALDEÓN	340588,064	4785110,262	2596,031	30	ROI	2507,663069	88,367931
136	Point	LLAMBRIÓN	POSADA DE VALDEÓN	349063,206	4781730,247	2646,709	30	ROI	2563,681681	83,027319
219	Point	LA REVOLTONA	MIERES	286555,296	4787506,76	1086,495	30	ROI	1052,065242	34,429758
171	Point	TORRECERREDO	CABRALES	349459,376	4784442,577	2649,227	30	ROI	2617,192632	32,034368
204	Point	CUETO RAMÓN	LENA	274307,642	4785026,792	693,054	30	ROI	675,050315	18,003685
262	Point	CIMA	SIERO	290205,039	4812336,792	736,36	30	ROI	727,011016	9,348984
208	Point	SANTO FIRME	LLANERA	270121,199	4815096,418	438,189	30	ROI	429,333348	8,855652
1	Point	OUVIANA	A FONSAGRADA	648239,189	4785734,767	897,724	29	ROI	889,53754	8,18646
232	Point	BASE SUR	NORÉÑA	280774,356	4809195,329	229,88	30	ROI	221,922484	7,957516
21	Point	A ÁREA	PEDRAFITA DO CEBREIRO	659720,962	4729674,514	1394,269	29	ROI	1386,331718	7,937282
106	Point	BRANUGAS	TINEO	708062,929	4802034,328	1015,996	29	ROI	1008,125894	7,870106
17	Point	TESÓN	NAVIA DA SUARNA	671909,367	4752115,099	1379,235	29	ROI	1371,483422	7,751578
249	Point	GAMONITEIRO	QUIRÓS	262476,212	4785772,147	1790,794	30	ROI	1783,118179	7,675821
31	Point	REBOLLIN	SALAS	719456,566	4809723,923	814,525	29	REGENT	807,608648	6,916352
229	Point	MONSACRO	MORCÍN	264982,918	4793747,394	1054,056	30	ROI	1047,285792	6,770208
86	Point	CUETO MAR	PROAZA	742004,51	4789350,762	1193,127	29	ROI	1186,554943	6,572057
266	Point	LLOSONA	SIERO	289340,586	4803210,282	598,075	30	ROI	591,618077	6,456923
260	Point	CASTIELLO	SIERO	287327,402	4805139,775	461,067	30	ROI	454,997425	6,069575
88	Point	AGUIÓN	SALAS	718252,277	4815700,916	926,554	29	ROI	920,783166	5,770834
275	Point	PELAPOTROS	VILLAVICIOSA	301112,035	4819672,322	410,398	30	ROI	405	5,398

Figura 5.1.4.1-Tabla de los atributos de los puntos de control de la vertiente cantábrica



Se observan los máximos y mínimos.

5.1.5. ANÁLISIS LOS RESIDUOS MUY ALTOS

Obtenemos los residuos muy altos, que son mayores de 10 metros porque los vértices geodésicos están encima de edificaciones ó debido a las pendientes y que no están reflejadas en el MDE. Si alguno de los valores obtenidos es muy alto se identifica el punto y se excluye de los cálculos. Todos estos residuos muy altos han sido descartados por diversas razones para analizar el error final.

5.1.6. CÁLCULO DE LOS ERRORES ESTADÍSTICOS EN MDE

Se determina el error medio cuadrático y el error medio absoluto con el programa Excel. Mediante la fórmula del error medio absoluto:

$$EMA = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |\delta_{z_i}|$$

Donde n es el número de puntos que se comparan y el error de altitud en un punto i (δ_{z_i}) que se define como la diferencia entre ambos datos:

$$\bar{Z}_i - Z_i$$

Donde el primer dato es la altitud del punto i en el modelo, y el segundo es la altitud "real" o de referencia, extraída de una fuente de datos precisa.

Y la del error medio cuadrático:

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_{z_i}^2}$$

Siendo n el número de puntos que se comparan y el error de altitud en un punto i (δ_{z_i}). Finalmente se generan los histogramas y se elabora un mapa de símbolos proporcionales, tomando como referencia el error absoluto.



5.1.7. OBTENCIÓN DE LOS MODELOS DE PENDIENTES

Después de obtener los modelos digitales de elevación aportados del Principado de Asturias en el ED-50 y los del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria en el ETRS-89, descargados desde el Centro Nacional de Información Geográfica, ahora vamos a aplicar la herramienta “Slope”. Esta herramienta nos permite realizar un mapa de la variación de la pendiente del terreno. Para ello damos clic en la herramienta 3D Analyst Tools seguido de Raster Surface y finalmente Slope.

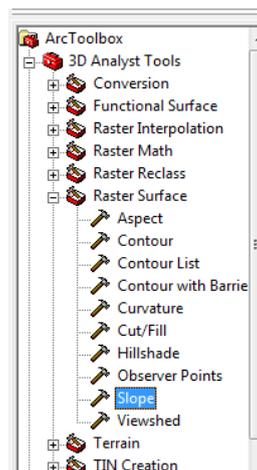


Figura 5.1.7.1-Herramienta “ArcToolBox”

Aparece una ventana, donde se debe rellenar la siguiente información.

- **Input surface:** seleccionamos el Raster al que se le va hacer el mapa de pendientes.
- **Output raster:** seleccionamos la ruta y el nombre con que se quiere guardar el shape creado.
- **Output measurement:** las unidades de medida de la pendiente (grados o porcentaje). Elegimos grados.
- **Z factor:** El factor de exageración del la altura, en este caso dejaremos 1.

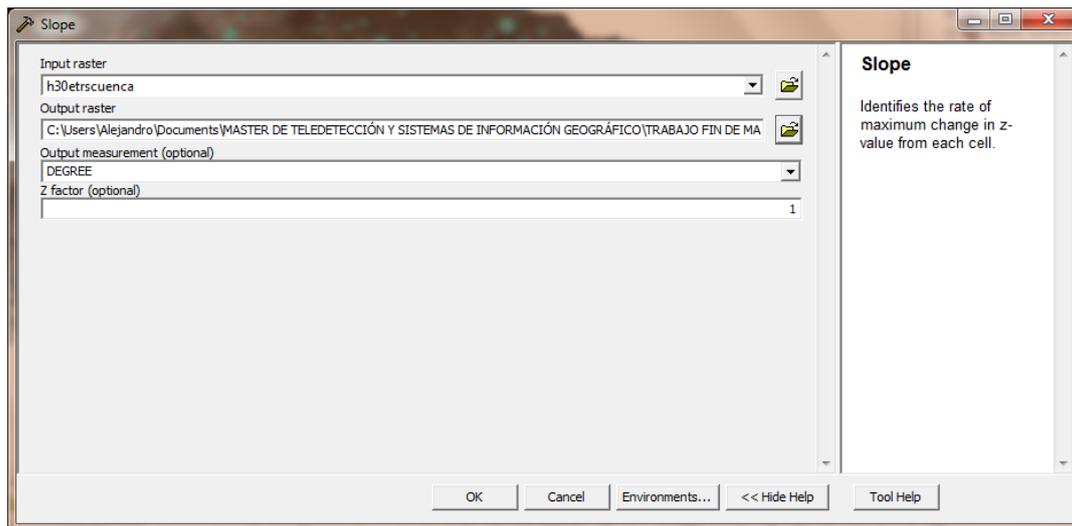


Figura 5.1.7.2-Formulario de Slope

Después de ejecutar el procesamiento, obtenemos el resultado final:

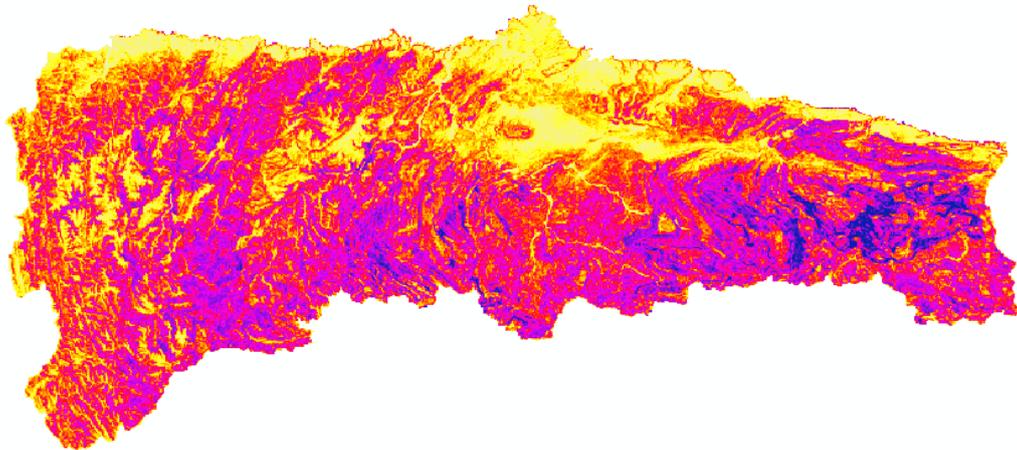


Figura 5.1.7.3-Visualización del modelo de pendiente del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria en el ETRS-89



5.1.8. CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE PEARSON

El coeficiente de correlación de Pearson es un índice que mide la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. A diferencia de la covarianza, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables.

Podemos definir el coeficiente de correlación de Pearson como un índice que puede utilizarse para medir el grado de relación de dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas.

En el caso de que se esté estudiando dos variables aleatorias x e y sobre una población estadística; el coeficiente de correlación de Pearson se simboliza con la letra $\rho_{X,Y}$, siendo la expresión que nos permite calcularlo:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y} = \frac{E. [(X - \mu_X) \cdot (Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Donde:

- σ_{XY} es la covarianza de (X, Y)
- σ_X es la desviación típica de la variable X
- σ_Y es la desviación típica de la variable Y

De manera análoga podemos calcular este coeficiente sobre un estadístico muestral, denotado como r_{xy} a:

$$r_{xy} = \frac{\sum x_i \cdot y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{n \cdot s_x \cdot s_y} = \frac{n \cdot \sum x_i \cdot y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{\sqrt{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

El valor del índice de correlación varía en el intervalo $[-1, 1]$:

- Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada *relación directa*: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
- Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva.
- Si $r = 0$, no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.
- Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.

- Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada *relación inversa*: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

5.1.9. CAMBIO DEL TAMAÑO DE PIXEL

Después de obtener los modelos digitales de elevación aportados del Principado de Asturias en el ED-50 y los del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria en el ETRS-89, descargados desde el Centro Nacional de Información Geográfica, el tamaño de pixel es de 5 metros para ellos. Ahora vamos a aplicar la herramienta “Resample”. Esta herramienta nos permite realizar un cambio de tamaño de pixel del modelo digital del terreno. Para ello damos clic en la herramienta Data Management Tools seguido de Raster Processing y finalmente Resample.

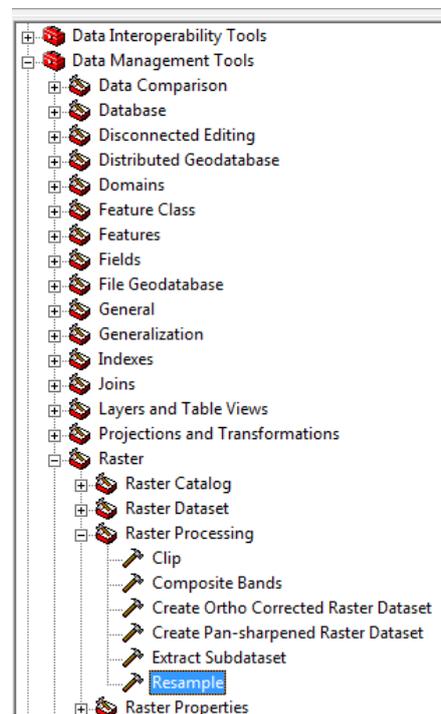


Figura 5.1.9.1-Herramienta “ArcToolBox”

Aparece una ventana, donde se debe rellenar la siguiente información.

- **Input Raster:** seleccionamos el Raster al que se le va hacer el mapa de pendientes.
- **Output Raster Dataset:** seleccionamos la ruta y el nombre con que se quiere guardar el shape creado.
- **Output Cell Size:** El tamaño de celda para el nuevo dataset ráster.

- **Resampling Technique (optional):** El algoritmo de remuestreo que se va a utilizar. El valor predeterminado es CUBIC (Covolución cúbica).

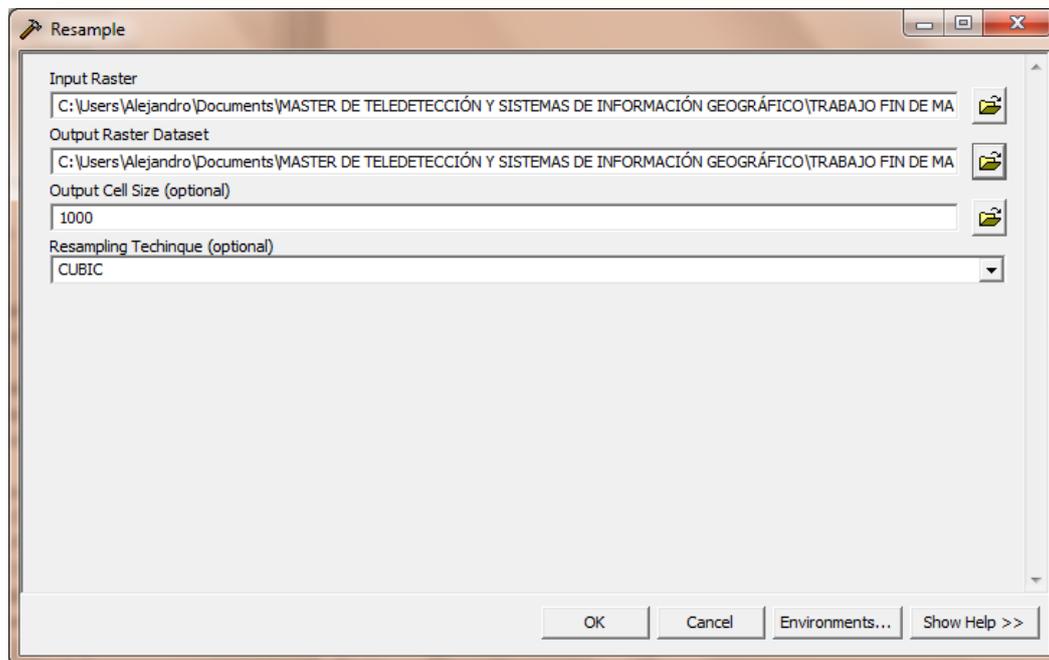


Figura 5.1.9.2-Formulario de Resample

Después de ejecutar el procesamiento, obtenemos el resultado final, en esta imagen ya se puede observar el pixelado

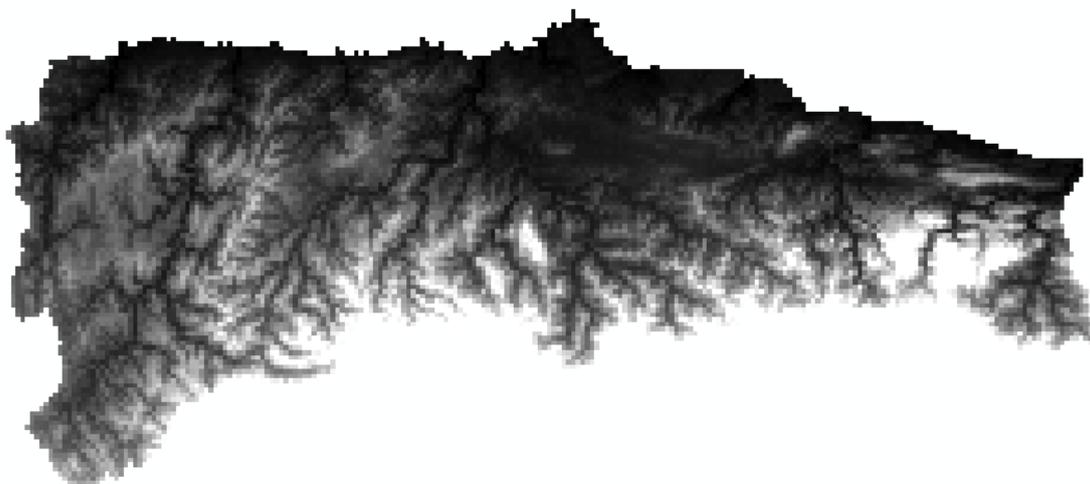


Figura 5.1.9.3-Visualización del modelo del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria en el ETRS-89 para el tamaño de pixel de 1000 metros

5.2. MODELOS ANALIZADOS

Se han estudiado 29 modelos que se citan a continuación:

✓ **Modelos digitales distribuidos del Principado de Asturias:**

- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 ED-50 (hojas_29).
- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 ED-50 (hojas_30).
- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 ETRS-89 (h29to30etrs).
- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 ED-50 (h29to30_ed50).
- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 ETRS-89 (h29_etrs).
- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 ETRS-89 (h30_etrs).
- Modelo digital del Principado de Asturias en el Huso 30 ED-50 para el tamaño de pixel de 5 metros (h30ed50_final).
- Mapa del Principado de Asturias en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 10 metros (h30ed_10m).
- Mapa del Principado de Asturias en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 20 metros (h30ed_20m).
- Mapa del Principado de Asturias en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 30 metros (h30ed_30m).
- Mapa del Principado de Asturias en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 50 metros (h30ed_50m).
- Mapa del Principado de Asturias en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 100 metros (h30ed_100m).
- Mapa del Principado de Asturias en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 1000 metros (h30ed_1000m).

✓ **Modelos digitales descargados desde el Centro Información de Nacional Geográfica:**

- Modelo digital de la zona occidental en el Huso 29 ETRS-89 (h29etrs_def).
- Modelo digital de la zona de las provincias de Lugo y León en el huso 29 ETRS-89 (h29etrs_noast).



- Modelo de la zona occidental del Norte en el Huso 29 del ETRS-89 (h29etrs_nor).
- Modelo de la zona occidental del Sur en el Huso 29 del ETRS-89 (h29etrs_sur).
- Modelo digital de la zona occidental en el Huso 30 ETRS-89 (h29to30etrs).
- Modelo digital de la zona oriental en el Huso 30 ETRS-89 (h30etrs_def).
- Modelo digital de la zona de las provincias de Cantabria y León en el huso 30 ETRS-89 (h30etrs_noast).
- Modelo de la zona oriental del Norte en el Huso 30 del ETRS-89 (h30etrs_nor)
- Modelo de la zona oriental del Sur en el Huso 30 del ETRS-89 (h30etrs_sur).
- Modelo digital de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89 para el tamaño de pixel de 5 metros (h30etrscuenca).
- Modelo digital de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89 para el tamaño de pixel de 10 metros (h30etrs_10m).
- Modelo digital de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89 para el tamaño de pixel de 20 metros (h30etrs_20m).
- Modelo digital de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89 para el tamaño de pixel de 30 metros (h30etrs_30m).
- Modelo digital de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89 para el tamaño de pixel de 50 metros (h30etrs_50m).
- Modelo digital de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89 para el tamaño de pixel de 100 metros (h30etrs_100).
- Modelo digital de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89 para el tamaño de pixel de 1000 metros (h30etrs_1000m).

5.3. DATOS DE PARTIDA

5.3.1. PROCEDENCIA

5.3.1.1. VÉRTICES GEODÉSICOS

La Red Geodésica Nacional está formada por un conjunto de señales, construidas en hormigón armado, consistentes en una base cúbica rematada en su parte superior por un cilindro de 1,20 metros de altura y 30 centímetros de diámetro.

La red estaba organizada en dos partes, Red de Primer Orden (RPO) y la Red de Orden Inferior (ROI). En 1994, la decisión de implementar en España el European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89), llevó a plantear la necesidad de su materialización física mediante un marco de vértices geodésicos con la densidad suficiente y precisión garantizada mejor que 5 cm. La densidad media quedó fijada en una estación por Hoja del Mapa Topográfico Nacional (MTN) escala 1:50.000 lo que dio origen a la red REGENTE (Red Geodésica por Técnicas Espaciales).

En Asturias, hay 251 vértices geodésicos: 27 vértices pertenecientes a la red REGENTE y los 224 restantes pertenecen a la red ROI.



Figura 5.3.1.1-Vértice geodésico de REGENTE de Paisano, Oviedo (Principado de Asturias)

En la zona Oriental de Asturias, lindando con Cantabria y León, hay 13 vértices geodésicos. Hay un vértice REGENTE y el resto son ROI.

En la zona de Occidente, en los límites con Lugo y León, hay 24 vértices geodésicos. Perteneciendo 3 de ellos a la red REGENTE y 21 a la ROI.



En total resultan 288 vértices geodésicos en el entorno de la vertiente Cantábrica. Estos datos están a disposición pública en la página web del Instituto Geográfico Nacional, en el Apéndice se recoge esta información. Para observar la información del REGENTE de Paisano en Oviedo.

		Servicio de Programas Geodésicos Subdirección General de Geodesia y Cartografía																			
Reseña Vértice Geodésico		10-mar-2012																			
<p>Número.....: 2893 Nombre.....: Paisano Municipio...: Oviedo Provincia...: Asturias Fecha de Construcción.....: 07 de junio de 1984 Pilar con centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro. Último cuerpo.....: 2,00 m de alto, 1,00 m de ancho. Total cuerpos.....: 1 de 2,00 m de alto.</p>																					
<p>Coordenadas Geográficas:</p> <table border="1"> <tr> <td>Sistema de Ref.:</td> <td>ED 50</td> <td>ETRS89</td> </tr> <tr> <td>Longitud.....:</td> <td>- 5° 51' 43,9797"</td> <td>- 5° 51' 49,11650"</td> </tr> <tr> <td>Latitud.....:</td> <td>43° 23' 09,2848"</td> <td>43° 23' 05,34575"</td> </tr> <tr> <td>Altitud.....:</td> <td></td> <td>691,321 m (CF)</td> </tr> <tr> <td>Compensación.:</td> <td>01 de febrero de 1988</td> <td>28 de noviembre de 2004</td> </tr> </table>				Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89	Longitud.....:	- 5° 51' 43,9797"	- 5° 51' 49,11650"	Latitud.....:	43° 23' 09,2848"	43° 23' 05,34575"	Altitud.....:		691,321 m (CF)	Compensación.:	01 de febrero de 1988	28 de noviembre de 2004			
Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89																			
Longitud.....:	- 5° 51' 43,9797"	- 5° 51' 49,11650"																			
Latitud.....:	43° 23' 09,2848"	43° 23' 05,34575"																			
Altitud.....:		691,321 m (CF)																			
Compensación.:	01 de febrero de 1988	28 de noviembre de 2004																			
<p>Coordenadas UTM. Huso 30 :</p> <table border="1"> <tr> <td>Sistema de Ref.:</td> <td>ED 50</td> <td>ETRS89</td> </tr> <tr> <td>X.....:</td> <td>268154,54 m</td> <td>268045,461 m</td> </tr> <tr> <td>Y.....:</td> <td>4807737,79 m</td> <td>4807532,986 m</td> </tr> <tr> <td>Factor escala....:</td> <td>1,000261202</td> <td>1,000261875</td> </tr> <tr> <td>Convergencia....:</td> <td>- 1° 58' 01"</td> <td>- 1° 58' 04"</td> </tr> <tr> <td>Altitud sobre el nivel medio del mar:</td> <td></td> <td>636,297 m. (BP)</td> </tr> </table>				Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89	X.....:	268154,54 m	268045,461 m	Y.....:	4807737,79 m	4807532,986 m	Factor escala....:	1,000261202	1,000261875	Convergencia....:	- 1° 58' 01"	- 1° 58' 04"	Altitud sobre el nivel medio del mar:		636,297 m. (BP)
Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89																			
X.....:	268154,54 m	268045,461 m																			
Y.....:	4807737,79 m	4807532,986 m																			
Factor escala....:	1,000261202	1,000261875																			
Convergencia....:	- 1° 58' 01"	- 1° 58' 04"																			
Altitud sobre el nivel medio del mar:		636,297 m. (BP)																			
<p>Situación:</p> <p>Situado en lo más alto de la sierra del Naranco, al N. de Oviedo, y junto a la escalinata de acceso al Monumento al Sagrado Corazón de Jesús.</p>																					
<p>Acceso:</p> <p>Desde Oviedo, saliendo por la calle de Francisco Gambó y la Av. de los Monumentos, recorreremos 2,0 km. y tomamos a la derecha, pasando por el restaurante Vista Alegre y dos Ermitas a los 3 Km. tomando a la derecha hasta unas antenas de TV y un aparcamiento, bajamos hacia un parque, y sin dejar la carretera llegamos al monumento a los 7.2 Km. recorriendo otros 200m por un camino hasta la señal. Accesible con turismo en cualquier época.</p>																					
<p>Horizonte GPS:</p> <p>Despejado</p>																					
<p>Observaciones:</p> <p>REGENTE. Colocado el centrado en la campaña de Regente del 2000 Vértice observado con GPS.</p> <p>Estado: 29 de agosto de 2011 Pilar: Bueno Base: Bueno Informe del estado del Vértice: http://ftp.geodesia.ign.es/utilidades/InfoRG.pdf</p>																					
		<p style="text-align: right;">Paisano (ago-07)</p>																			

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL



Servicio de Programas Geodésicos
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

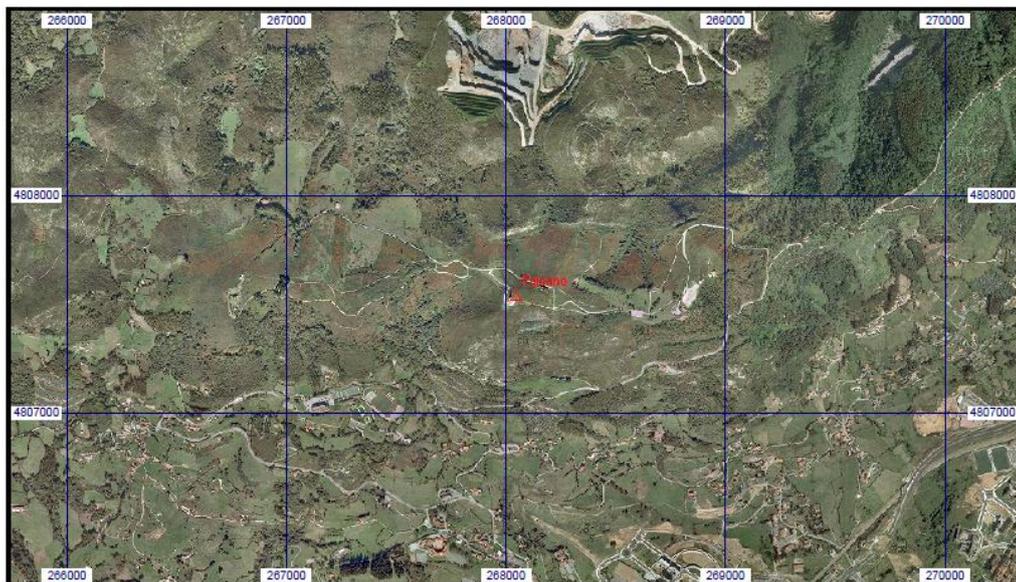
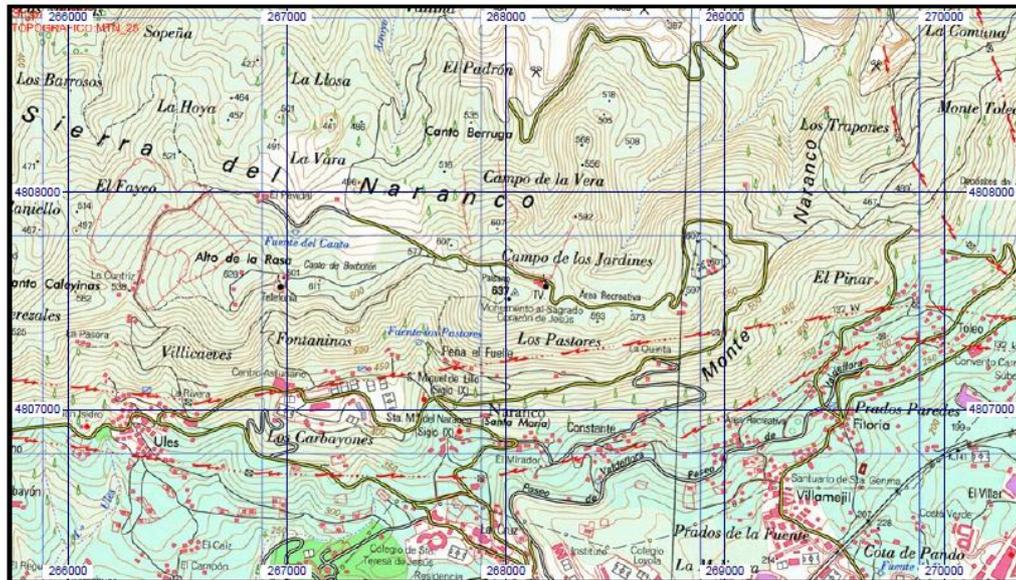
Cartografía de situación

10-mar-2012

Escala 1:25.000

02893 Paisano

Coordenadas ETRS89. Huso 30



Para observar otra información del vértice geodésico de Red Orden Interno (ROI) de Providencia en Gijón.



Servicio de Programas Geodésicos
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña Vértice Geodésico

10-mar-2012

Número.....: **1473**
 Nombre.....: **Providencia**
 Municipio...: Gijón
 Provincia...: Asturias
 Fecha de Construcción.....: 24 de agosto de 1983
 Pilar sin centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
 Último cuerpo.....: 1,50 m de alto, 1,00 m de ancho.
 Total cuerpos.....: 1 de 1,50 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 5° 36' 59,7203"	- 5° 37' 04,83958" ±0.172 m
Latitud.....:	43° 33' 18,5900"	43° 33' 14,69355" ±0.111 m
Altitud.....:		142,352 m ±0.146 (BP)
Compensación..:	01 de febrero de 1988	01 de noviembre de 2009 Elipse de error al 95% de confianza.

Coordenadas UTM. Huso 30 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	288642,75 m	288533,842 m
Y.....:	4825882,11 m	4825677,716 m
Factor escala....:	1,000149473	1,000150082
Convergencia....:	- 1° 48' 13"	- 1° 48' 16"
Altitud sobre el nivel medio del mar:		89,565 m. (BP)

Situación:

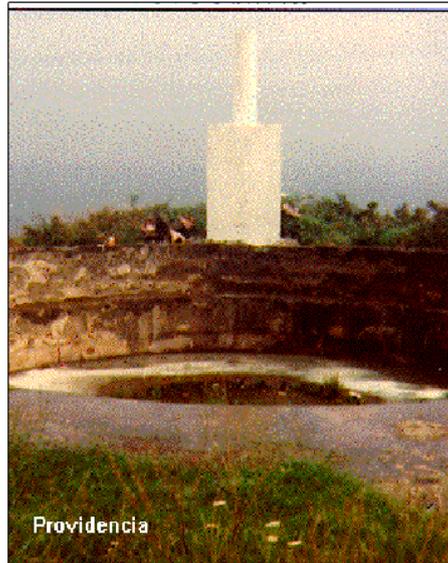
Situado en el Cabo de San Lorenzo, a 200 m. al O. de la ermita de La Providencia, en terreno de monte bajo, dentro de zona militar y junto a la base de hormigón de un cañón de costa.

Acceso:

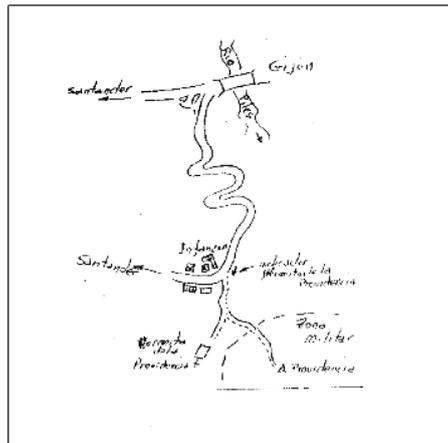
Desde Gijón, por la carretera de la costa en dirección a Santander, una vez cruzado el río Piles la carretera se bifurca, siguiendo por la izquierda, que es la de la costa. Recorridos 3.500 m., cuando la carretera llega a la zona más alta, se entra a la izquierda por una pista que indica "Ermita de la Providencia". Se sigue por esta pista, que sale antes de las primeras casas de Infanzón y 200 m. antes de llegar a la ermita se tuerce a la izquierda por otra pista, que en su inicio tiene una barrera con candando que da paso a la zona militar y lleva hasta la señal.

Horizonte GPS:

Despejado



Providencia



Observaciones:

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.

Informe del estado del Vértice: <http://ftp.geodesia.ign.es/utilidades/InfoRG.pdf>

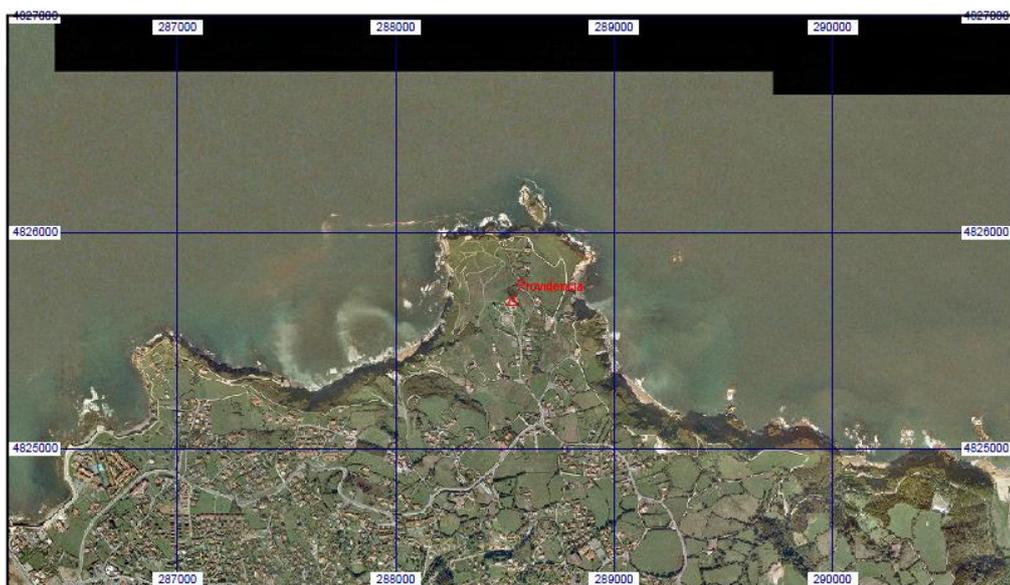
Cartografía de situación

10-mar-2012

Escala 1:25.000

01473 Providencia

Coordenadas ETRS89, Huso 30



De toda esta información se ha introducido en las tablas la cota ortométrica y las coordenadas planimétricas de cada vértice, tipo de vértice, concejo en el que se ubica, nombre.



Durante la realización del trabajo se han observado una serie de vértices que por su posición anómala, presentan unos residuos muy elevados, como es el caso de Depósito (Colunga, ver la figura 5.3.1.2), Tabladas (Gozón), Miranda (Avilés), etc, todos ellos se encuentran situados encima de edificaciones, que no están reflejadas como tal en el MDE, con la consiguiente diferencia de altitudes, que se registra como un error alto. Todos ellos han sido descartados en los cálculos realizados.

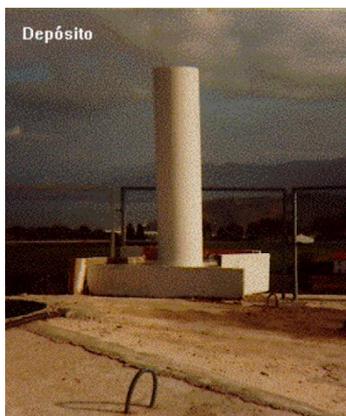


Figura 5.3.1.2-Vértice geodésico de ROI de Depósito, de Colunga (Principado de Asturias)

5.3.1.2. MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

Existen a disposición pública, en los servidores web del Instituto Geográfico Nacional, diferentes Modelos Digitales del Terreno (Figura 5.3.1.3), organizados según las hojas del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:5.000 (MTN50).

Hay disponibles 28 hojas en el Huso 29 correspondientes a la zona occidental (Principado de Asturias y las provincias de Lugo y León) y 18 hojas en el Huso 30 correspondientes a la zona oriental (Principado de Asturias y las provincias de Cantabria y León).

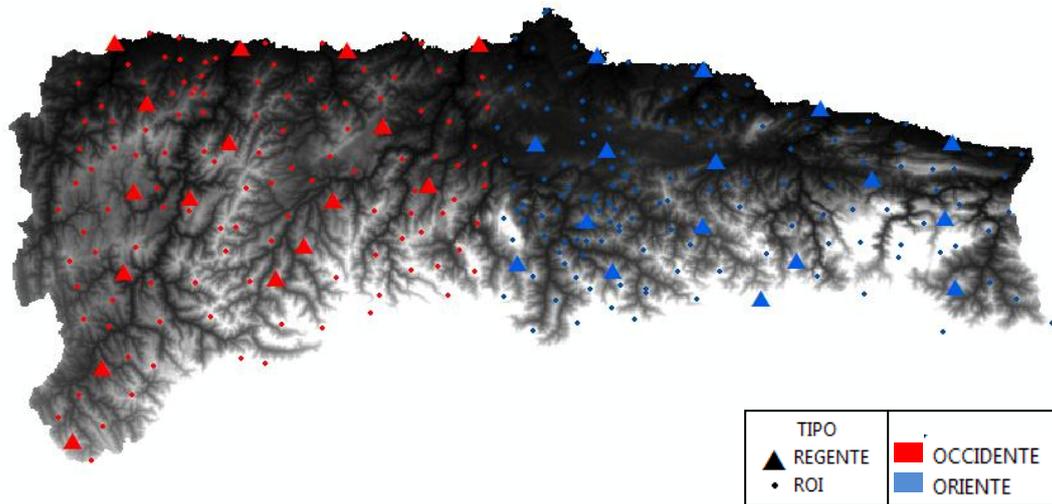


Figura 5.3.1.3-Modelo digital del Terreno y los vértices geodésicos

Los MDE utilizados en este trabajo se generan a partir del método fotogramétrico de correlación cruzada: La técnica de correlación cruzada de imágenes se fundamenta en la comparación de imágenes digitales a partir de pares estereoscópicos de fotografías aéreas digitalizadas. En este método se extraen sub-imágenes homólogas digitales de ambas fotografías, izquierda y derecha, que subsecuentemente se correlacionan por medio de su información radiométrica (los valores de la escala de grises), para así determinar áreas homólogas. Los modelos generados por este método pueden ser del tipo superficie y del terreno con una resolución de 25 a 50cm/píxel, revisada e interpolada con líneas de ruptura donde fueran viables. Precisiones 2m (RMSZ) y 4m (95%) teóricas mediante a la escala cartográfica 1:50.000.

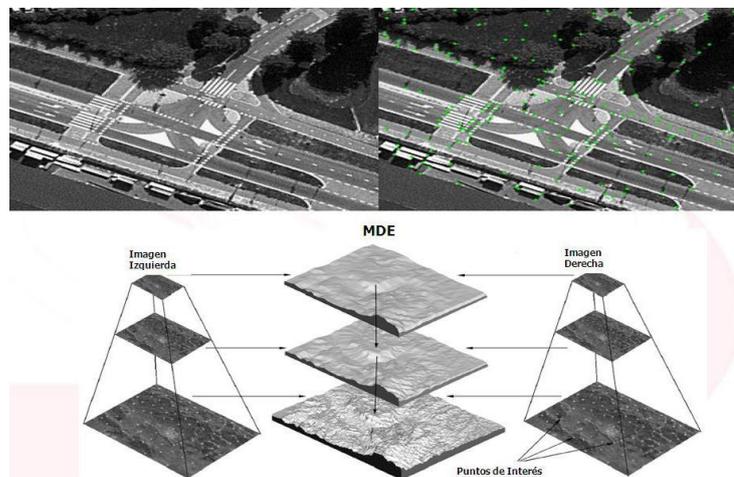


Figura 5.3.1.4-Metodo fotogramétrico de correlación cruzada

Datos obtenidos del Principado de Asturias, proyección original en el ED-50:

- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 ED-50 (hojas_29).
- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 ED-50 (hojas_30).

Datos obtenidos en la página web de Centro Nacional de Información Geográfico (CNIG), proyección original en el ETRS-89:

- Modelos digitales de las hojas del MTN50 correspondientes al área de estudio (Figura 5.3.1.5).



Figura 5.3.1.5-Gráfico de distribución de hojas del MTN50

5.3.2. MANIPULACIÓN

5.3.2.1. DATOS OBTENIDOS DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS, PROYECCIÓN ORIGINAL EN EL ED-50:

✓ Transformaciones y Proyecciones:

Para transformar los modelos digitales del ED-50 al ETRS-89 debemos emplear el método de covolución cúbica porque es más adecuada para los datos continuos. No se aconseja que este método empleado se utilice con los datos categóricos porque se pueden alterar los valores de celda.

El método de transformación usado entre dos datums o sistemas geográficos. La transformación geográfica es opcional cuando los sistemas de coordenadas de entrada y salida tienen el mismo datum. Si el datum de entrada y de salida es diferente, se

debe especificar una transformación geográfica. Obtenemos un fichero de rejilla Península (PENR2009.gsb) desde el Instituto Geográfico Nacional para constituir la herramienta oficial para la transformación de datum entre ED-50 y ETRS-89 en España. Fue avalada por el Grupo de Trabajo para la transición a ETRS-89 compuesto por todas las Comunidades Autónomas y los Ministerios de Fomento (IGN) y Defensa. La rejilla de Península esta en formato NTV2 y contiene los incrementos en longitud y latitud entre estos dos datums. Esta transformación no destruye alguna topología, es eficiente y continua con un grado de acuerdo de algunos centímetros sobre todo el territorio.

Modelos obtenidos:

- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 ETRS-89, después de transformar del ED-50 y proyectar del Huso 29 (h29to30etrs).
- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 ED-50, tras proyectar del huso 29 pero sin transformar (h29to30_ed50).
- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 ETRS-89, tras transformar del ED-50 pero sin proyectar (h29_etrs).
- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 ETRS-89, después de proyectar del Huso 29 (h30_etrs).
- Modelo digital del Principado de Asturias en el Huso 30 ED-50 (h30 ed50_final).

5.3.2.2. DATOS OBTENIDOS DE LA PÁGINA WEB DE CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (CNIG), PROYECCIÓN ORIGINAL EN EL ETRS-89:**✓ Fusión de varias hojas:**

Para crear un modelo digital del terreno de varias hojas del MTN50 en un modelo nuevo. Debemos emplear un tipo de dato de 32 bits que admite decimales (32 bits float) para que no aparezca ningún agujero blanco. El sistema de referencia de un modelo digital nuevo es el ETRS-89.

- Las hojas 11, 12, 13, 26, 27 y 28 del MTN50 en el Huso 29 ETRS-89 (h29etrs_nor1)
- Las hojas 50, 51, 52, 76 y 77 del MTN50 en el Huso 29 ETRS-89 (h29etrs_med1).
- Las hojas 101 y 102 del MTN50 en el Huso 29 ETRS-89 (h29etrs_sur1).



- Las hojas 9, 10, 24 y 25 del MTN50 en el Huso 29 ETRS-89 (h29etrs_noas1).
- Las hojas 48, 49, 73, 74 y 75 del MTN50 en el Huso 29 ETRS-89 (h29etrs_noas2).
- Las hojas 98, 99, 100, 124, 125 y 126 en el Huso 29 ETRS-89 (h29etrs_noas3).
- Modelo digital de las hojas unidas del Norte (h29etrs_nor1) y el Intermedio (h29etrs_med1) del Principado de Asturias en el Huso 29 ETRS-89 (h29etrs_nm).
- Modelo digital de las hojas unidas del Norte e Intermedio (h29etrs_nm) y el Sur (h29etrs_sur1) del Principado de Asturias en el Huso 29 ETRS-89 (h29etrs_ns).
- Modelo digital de las hojas unidas del Principado de Asturias de la zona occidental (h29etrs_ns) y el Norte de Lugo (h29etrs_noas1) en el Huso 29 ETRS-89 (h29etrs_asga1).
- Modelo digital de las hojas unidas del Principado de Asturias de la zona occidental y el Norte de la zona lucense (h29etrs_asga1) y el intermedio de Lugo (h29etrs_noas2) en el Huso 29 ETRS-89 (h29etrs_asga2).
- Modelo digital, definitivamente, de la zona occidental en el Huso 29 ETRS-89 (h29etrs_def).
- Modelo digital de las hojas 14, 15, 29, 30, 31 y 32 del MTN50 en el Huso 30 ETRS-89 (h30etrs_astu1).
- Modelo digital de las hojas 53, 54, 78, 79 y 103 del MTN50 en el Huso 30 ETRS-89 (h30etrs_astu2).
- Modelo digital de la zona de las provincias de Cantabria y León en el huso 30 ETRS-89 tras unir las hojas 55, 56, 57, 80, 81 y 82 del MTN50 (h30etrs_noast).
- Modelo digital de las hojas unidas del sur del Principado de Asturias de la zona oriental (h30etrs_astu2) y la zona de las provincias de Cantabria y León (h30etrs_noast) en el Huso 30 ETRS-89 (h30etrs_sur).
- Modelo digital de las hojas unidas del Norte (h30etrs_astu1) y el Sur (h30etrs_sur) en el Huso 30 ETRS-89 (h30etrs_ns).
- Modelo digital, definitivamente, de la zona oriental en el Huso 30 ETRS-89 (h30etrs_def).
- Modelo digital, generalmente, de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89 tras unir las zonas de Occidente y Oriente (h30etrs_final).

- Modelo digital de la zona de las provincias de Lugo y León en el huso 29 ETRS-89 (h29etrs_noast).
- Modelo digital recortado de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89 (h30etrscuenca).

En el esquema se observa el procedimiento seguido para la fusión de varias hojas en una sola:

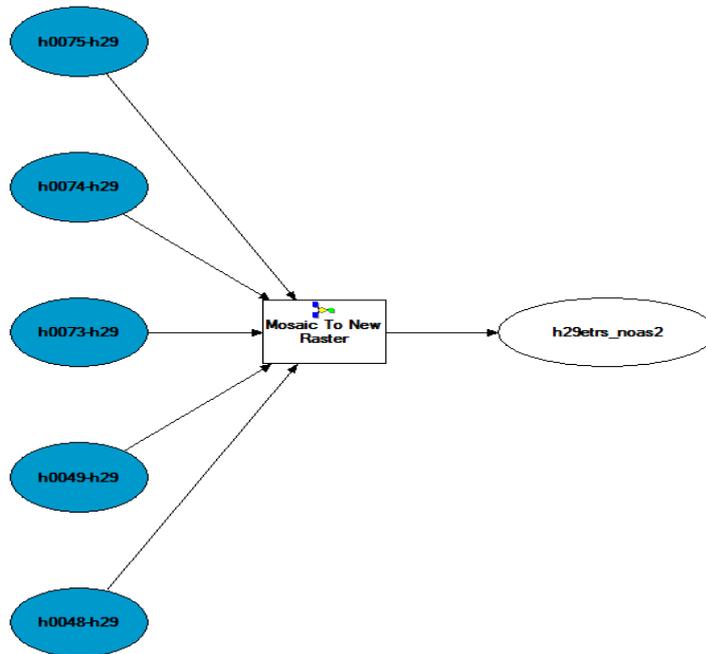


Figura 5.3.2.1-Esquema de la unión de las mascararas, “h29etrs_noas2”

✓ **Transformaciones y Proyecciones:**

- Modelo digital de la zona occidental en el Huso 30 ETRS-89 tras proyectar del Huso 29 (h29toh30etrs).



5.3.2.3. CREACIÓN DE LOS CAMPOS DE LAS BASES DE DATOS

Crear los campos de los vértices geodésicos en la hoja de Excel para importar al programa empleado ArcMap. Se crean los puntos empleados que utilizan las coordenadas cartesianas (X,Y) del ETRS-89 para los modelos digitales descargados desde el Centro Nacional de Información Geográfica y del ED-50 para los aportados del Principado de Asturias. Se clasifican en los campos:

- **Nombre:** Nombre de cada uno de los vértices geodésicos en el Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria.
- **Concejo:** Nombre de cada uno de los concejos del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria.
- **X:** Eje X de las coordenadas cartesianas para cada uno de los vértices geodésicos del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria.
- **Y:** Eje Y de las coordenadas cartesianas para cada uno de los vértices geodésicos del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria.
- **Cota:** Altitud sobre el nivel medio del mar Alicante para cada uno de los vértices geodésicos del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria.
- **Huso:** Hay dos husos separados, uno es el Huso 29 para los vértices geodésicos de la zona occidental y otro es el Huso 30 para los de la zona oriental.
- **Tipo:** Hay dos tipos de red diferentes que son REGENTE y ROI para todos los vértices geodésicos del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria.

5.3.2.4. CREACIÓN DE UN MAPA CON LOS PUNTOS DE CONTROL

Crear las entidades de los puntos de control después de exportar los puntos de las coordenadas cartesianas (X,Y) y las cotas desde el programa ArcMap. Para ello, se crean varias entidades de los puntos de control para los modelos digitales aportados del Principado de Asturias en el Huso 29 del ED-50 en la zona occidental, los del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 en la zona oriental, los descargados desde el CNIG en el huso 29 del ETRS-89 en la zona occidental y el Huso 30 del ETRS-89 en la zona oriental para la representación sobre



los modelos digitales del terreno. Las entidades de los puntos de control en el Huso 29 en la zona occidental se deben proyectar al Huso 30; para unir las entidades de los puntos en el Huso 30 en la zona occidental con los de la zona oriental aplicamos la herramienta “Merge” del ArcCatalog.



5.4. MODELOS DE PENDIENTES

Obtenemos los modelos derivados de pendientes tras aplicar el método de Slope en el ArcCatalog, la pendiente se expresa en grados. Los modelos obtenidos pueden realizar el análisis global de pendientes para representar gráficos como la dispersión que es la relación entre los residuos y la pendiente, y calcular las correlaciones.

5.4.1. DATOS OBTENIDOS DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS, PROYECCIÓN ORIGINAL EN EL ED-50:

Después de manipular los modelos digitales transformados y proyectados

✓ **Modelos obtenidos de pendientes:**

- Modelo de pendientes del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 ED-50. (hojas_29_pte).
- Modelo de pendientes del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 ED-50 (hojas_30_pte).
- Modelo de pendientes del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 ETRS-89 (h29_etr_s_pte).
- Modelo de pendientes del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 ETRS-89 (h29a30etr_s_pte).
- Modelo de pendientes del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 ED-50 (h29to30ed_pte).
- Modelo de pendientes del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 ETRS-89 (h30_etr_s_pte).
- Modelo de pendientes del Principado de Asturias en el Huso 30 ED-50 (h30ed50_pte).

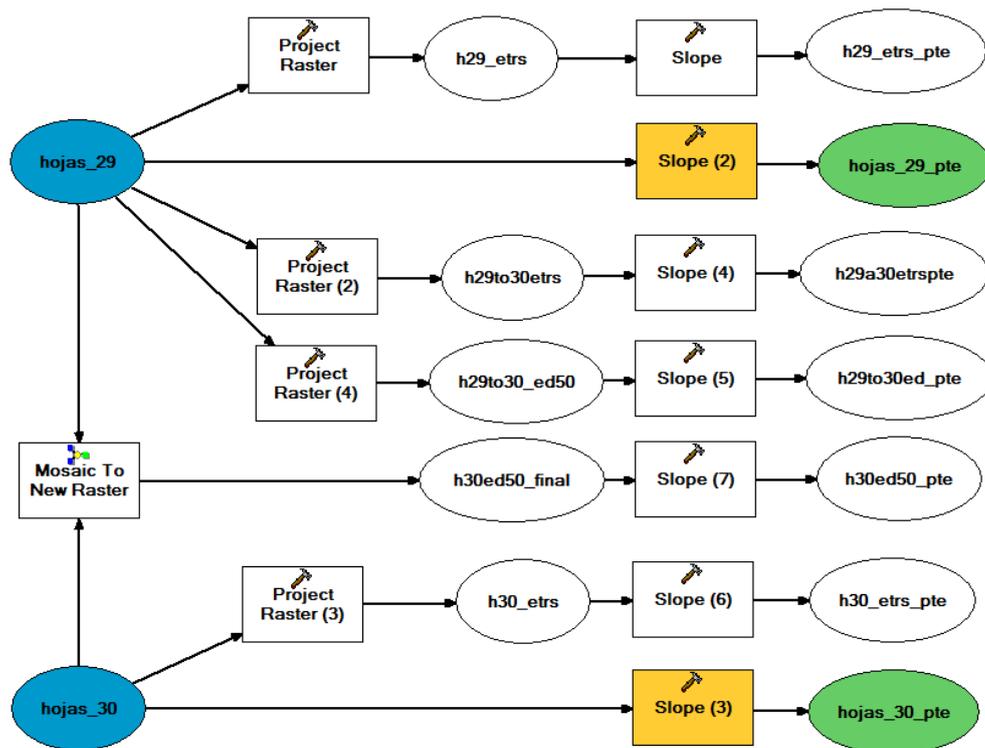


Figura 5.4.1-Eschema final de los datos obtenidos del Principado de Asturias

Para la repetición de los pasos necesarios para proyecciones, transformaciones y obtención de modelos derivados se construye un esquema de trabajos con el model builder de ArcGIS (Figura 5.4.2). En Este esquema, se observa que los modelos de partida se han de transformar de ED-50 a ETRS-89 y se proyectan todos ellos en el Huso 30. Una vez realizadas las transformaciones anteriores se calculan los mapas de pendiente para conocer la pendiente máxima, y finalmente se realizan los cálculos de los errores altimétricos.

5.4.2. DATOS OBTENIDOS DE LA PÁGINA WEB DE CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (CNIG), PROYECCIÓN ORIGINAL EN EL ETRS-89

✓ Modelos obtenidos de pendientes:

- Modelo de pendientes de la zona occidental en el Huso 29 ETRS-89 (h29etr_pte).
- Modelo de pendientes de la zona de las provincias de Lugo y León en el Huso 29 ETRS-89 (noast29_pte).
- Modelo de pendientes de la zona occidental del Norte en el Huso 29 ETRS-89 (h29etr_npte).



- Modelo de pendientes de la zona occidental del Sur en el Huso 29 ETRS-89 (h29etrs_spte).
- Modelo de pendientes de la zona occidental en el Huso 30 ETRS-89 (29to30_pte).
- Modelo de pendientes de la zona oriental en el Huso 30 ETRS-89 (h30etrs_pte).
- Modelo de pendientes de la zona de las provincias de Cantabria y Lugo en el Huso 30 ETRS-89 (noast30_pte).
- Modelo de pendientes de la zona oriental del Norte en el Huso 30 ETRS-89 (h30etrs_npte).
- Modelo de pendientes de la zona oriental del Sur en el Huso 30 ETRS-89 (h30etrs_spte).
- Modelo de pendientes de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89 (h30etrscuepte).

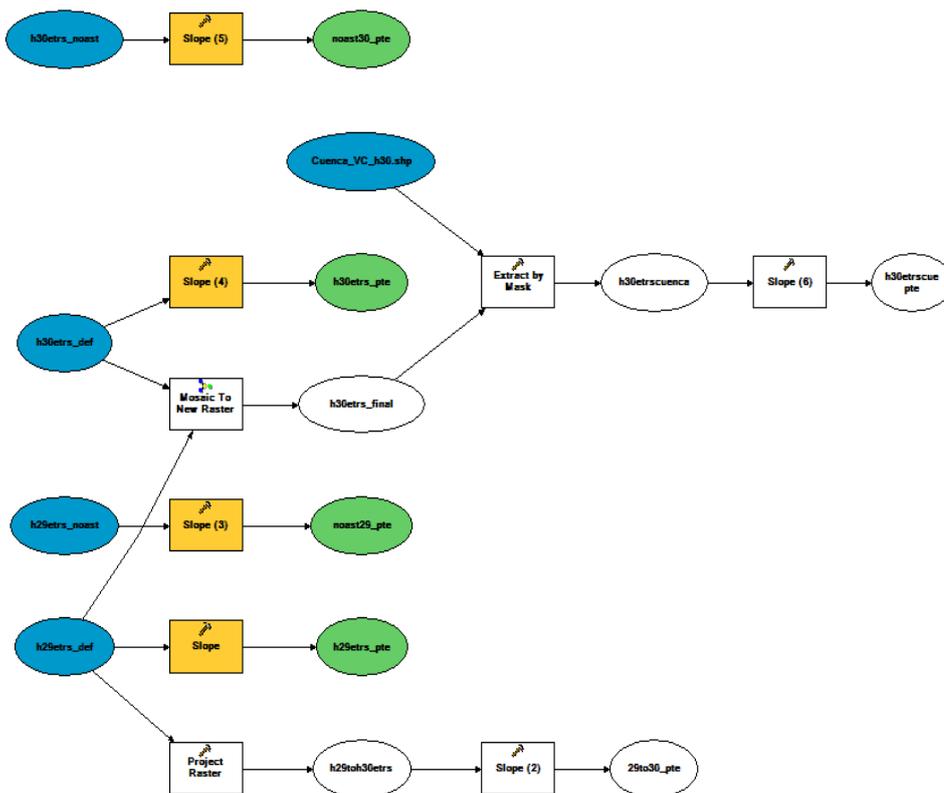


Figura 5.4.2-Esquema final de los datos obtenidos de página web de CNIG



Este último esquema, se observa que los modelos de partida se han de unir todas las hojas diferentes, después transformar de ED-50 a ETRS-89 y se proyectan todos ellos en el Huso 30. Una vez realizadas las transformaciones anteriores se calculan los mapas de pendiente para conocer la pendiente máxima, y finalmente se realizan los cálculos de los errores altimétricos.



5.5. PROGRAMAS EMPLEADOS

5.5.1. MICROSOFT EXCEL

Excel, es un programa que permite la manipulación de libros y hojas de cálculo. En Excel, un libro es el archivo en que se trabaja y donde se almacenan los datos. Como cada libro puede contener varias hojas, pueden organizarse varios tipos de información relacionada en un único archivo.

Las hojas de cálculo se utilizan para mostrar y analizar datos. Pueden introducirse y modificarse los datos simultáneamente en varias hojas de cálculo y pueden ejecutarse los cálculos basándose en los datos de varias hojas de cálculo. Si se crea un gráfico, éste puede colocarse en la hoja de cálculo con sus datos correspondientes o en una hoja de gráfico.

El programa Excel está desarrollado por la compañía Microsoft que continua trabajando para mejorarlo en todo momento.

5.5.2. ARCGIS

ArcGIS es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Producido y comercializado por ESRI.

Bajo el nombre genérico ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica.

Estas aplicaciones se engloban en familias temáticas como ArcGIS Server, para la publicación y gestión web, o ArcGIS Móvil para la captura y gestión de información en campo.

ArcGIS Desktop, es la familia de aplicaciones SIG de escritorio, es una de las más utilizadas, incluyendo en sus últimas ediciones las herramientas **ArcReader**, **ArcMap**, **ArcCatalog**, **ArcToolbox**, **ArcScene** y **ArcGlobe**, además de diversas extensiones.

ArcGIS Desktop se distribuye comercialmente bajo tres niveles de licencias que son: **ArcView**, **ArcEditor** y **ArcInfo**.

ArcReader es una aplicación que permite a los usuarios visualizar, explorar e imprimir mapas interactivos de alta calidad creados con alguno de los productos ArcGIS Desktop y publicados con la extensión ArcGIS Publisher.

ArcMap es el principal componente de ArcGIS, se utiliza para ver, editar, crear y analizar datos geoespaciales. Permite visualizar asociaciones en la información geográfica y modelos a diferentes escalas. También permite la creación de mapas de análisis geográficos.



ArcMap se puede utilizar para entender las relaciones existentes en información espacial geográfica. Los mapas creados y guardados dentro de ArcMap crearán un archivo en el disco duro con una extensión. MXD. Cuando se abre un archivo Mxd en ArcMap, el usuario puede mostrar una gran variedad de información, siempre y cuando exista esa información en el conjunto de datos. De esta forma el usuario va a crear un mapa de salida totalmente nuevo y utilizar las funciones de personalización y diseño para crear un producto único. Una vez finalizado el mapa, ArcMap puede guardar, imprimir y exportar archivos a PDF. La información geográfica que se carga en ArcMap se puede ver de dos formas: vista de datos y vista de Diseño. En vista de datos, el usuario puede interactuar con la información geográfica presentada, y los elementos del mapa se ocultan de la vista. En vista de diseño, el usuario puede incorporar un número de características útiles, tales como barras de escala y flechas hacia el norte. Estos elementos son cruciales para la realización de mapas y proporcionar a los clientes la información de referencia apropiada.

ArcCatalog organiza y maneja toda la información del GIS como mapas, globos, conjuntos de datos, modelos, metadatos, y servicios. Ayuda a organizar y administrar todos los datos SIG. Incluye herramientas para explorar y encontrar información geográfica, para grabar y visualizar los metadatos, para una rápida visión de cualquier conjunto de datos y para definir la estructura del diseño de los layers con datos geográficos.

ArcToolbox es una aplicación sencilla que contiene muchas herramientas SIG para usar en el geoprocesamiento de datos.

ArcScene es un visualizador 3D que permite ver los datos SIG en tres dimensiones. Adecuado para generar escenas con perspectiva que permite navegar e interactuar con la entidad 3D y los datos de ráster. Basado en OpenGL, ArcScene admite simbología de línea 3D compleja y representación cartográfica de texturas, así como también la creación de superficies y la visualización de TIN. ArcScene permite superponer muchas capas de datos en un entorno 3D. Todos los datos se cargan en la memoria disponible y si es necesario utiliza archivos de paginación. Esta es una de las razones de por qué ArcScene se optimiza para áreas de estudio más pequeñas con menos cantidades de datos. Permite funcionalidades de navegación, desplazamiento panorámico y zoom relativamente rápidas.

ArcScene proyecta todos los datos en un documento de ArcScene según la primera capa agregada al documento. Por lo general, con una proyección plana.

ArcScene permite la visualización estéreo. La visualización estéreo es la mejor manera de mejorar la experiencia de visualización 3D.



ArcGlobe, es una aplicación de visualización 3D que permite visualizar grandes cantidades de datos SIG sobre una superficie del globo.

ArcGIS 9. ESRI lanzó en mayo de 2004 el ArcGIS 9, que incluía ArcGIS Server y ArcGIS Engine para los desarrolladores.

ArcGIS 9 incluye un entorno de programación visual, similar a ERDAS IMAGINE 's Modelo Maker. La versión ESRI se llama ModelBuilder y al igual que la versión ERDAS IMAGINE permite al usuario vincular gráficamente las herramientas de geoprocésamiento en nuevos instrumentos llamados modelos. Estos modelos pueden ser ejecutados directamente o ser exportados a lenguajes de script que puede ejecutar en modo batch (lanzado desde una línea de comandos), o pueden someterse a la edición. El 26 de junio de 2008, se lanzó ArcGIS 9.3.

La nueva versión de ArcGIS Desktop tiene nuevas herramientas de modelización y funciones geoestadísticas de seguimiento de errores, mientras que ArcGIS Server ha mejorado el desempeño y apoyo a la seguridad basada en roles. También hay nuevas API de JavaScript que se pueden utilizar para crear mashups, ya sea con Google Maps o Microsoft Virtual Earth.

En el 2008 en la Cumbre de ESRI sobre desarrolladores, había poco énfasis en ArcIMS, lo que indica un cambio en el enfoque de ESRI con ArcGIS 9.3 para el mapeo de aplicaciones basadas en web.

En mayo de 2009, aparece el ArcGIS 9.3.1, lo que mejoró el rendimiento de la publicación de mapas dinámicos e introdujo una mejor distribución de la información geográfica.





6. RESULTADOS

6.1. ANÁLISIS DE LOS ERRORES EN LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO APORTADOS POR EL PRINCIPADO DE ASTURIAS

6.1.1. Modelo de Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 del ED-50 sin transformar

En este caso, hay 98 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno del Principado de Asturias de la zona occidental sin transformar ni proyectar, estos resultados están muy adecuados porque casi todos los residuos son muy bajos ya que solo hay 2 puntos que están entre 5 y 10 metros y un punto que es mayor de 10 metros. El error máximo se localiza en el concejo de San Martín de Oscos, debido a la pendiente de la zona donde se ubica, de unos 40°. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m).

Tabla 6.1.1-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias occidental en el Huso 29 del ED-50.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
1,037	1,561	2,484	12,124

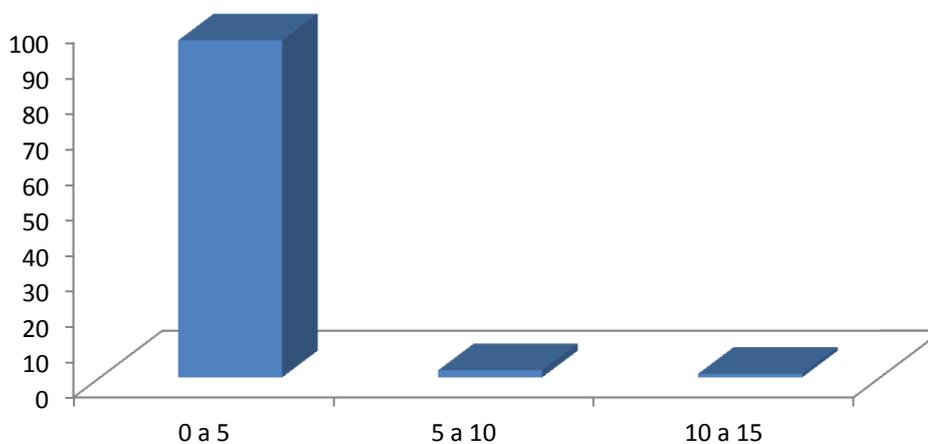


Gráfico 6.1.1-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 del ED-50.

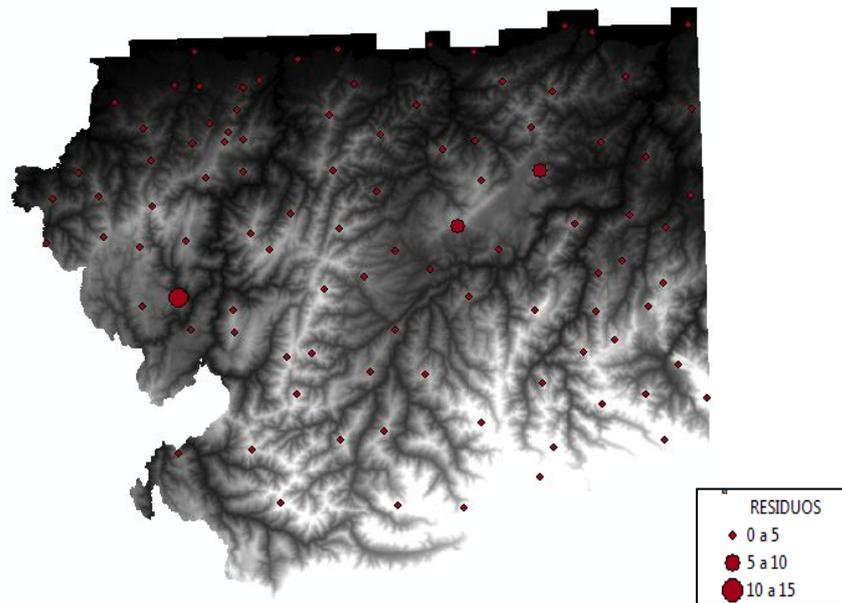


Figura 6.1.1.1- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 ED-50

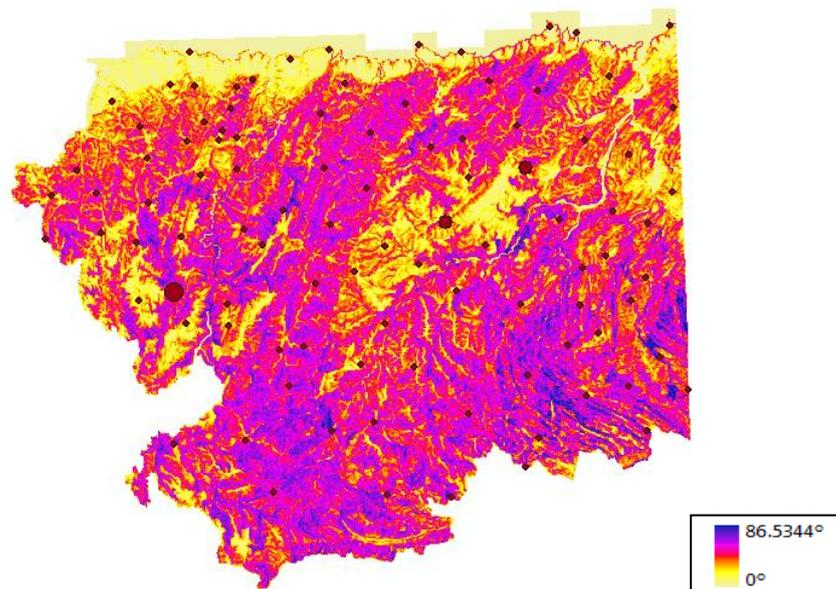


Figura 6.1.1.2-Modelo de pendiente del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 ED-50



6.1.2. Modelo del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 del ED-50 tras transformar al ETRS-89

En este caso, hay 98 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 después de transformar del ED-50 al ETRS-89, estos resultados también están muy adecuados porque casi todos los residuos son muy bajos ya que solo hay 2 puntos que están entre 5 y 10 metros y un punto que es mayor de 10 metros. El error máximo se localiza en el concejo de San Martín de Oscos, debido a la pendiente de la zona donde se ubica, de unos 40°. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m), pero aumentan ligeramente (3cm) cuando se transforma del ED-50 al ETRS-89.

Tabla 6.1.2-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 del ETRS-89.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
1,110	1,618	2,518	12,192

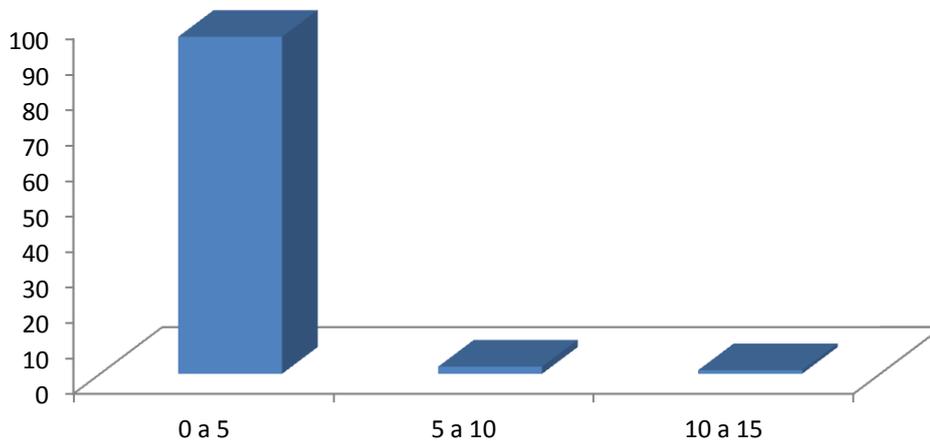


Gráfico 6.1.2-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 del ED-50.

6.1.3. Modelo del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 del ED-50 tras proyectar al Huso 30 y transformar al ETRS-89

En este caso, hay 98 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 después de proyectar del Huso 29 y transformar del ED-50 al ETRS-89, estos resultados también están muy adecuados porque casi todos los residuos son muy bajos ya que solo hay 2 puntos que están entre 5 y 10 metros y un punto que está encima de 10 metros. El error máximo se localiza en el concejo de San Martín de Oscos, debido a la pendiente de la zona donde se ubica, de unos 41°. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m), pero elevan mucho cuando se transforma del ED-50 al ETRS-89 y se proyecta al Huso 30.

Tabla 6.1.3- Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 del ETRS-89.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
1,138	1,641	2,514	12,024

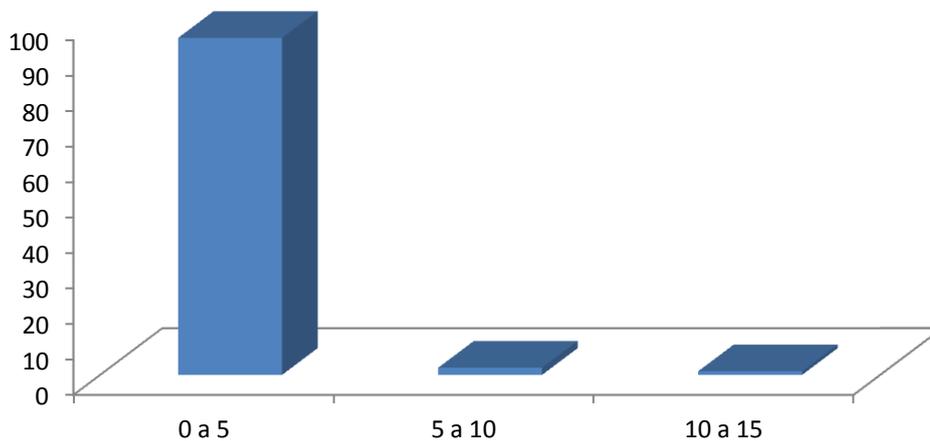


Gráfico 6.1.3- Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 del ETRS-89.

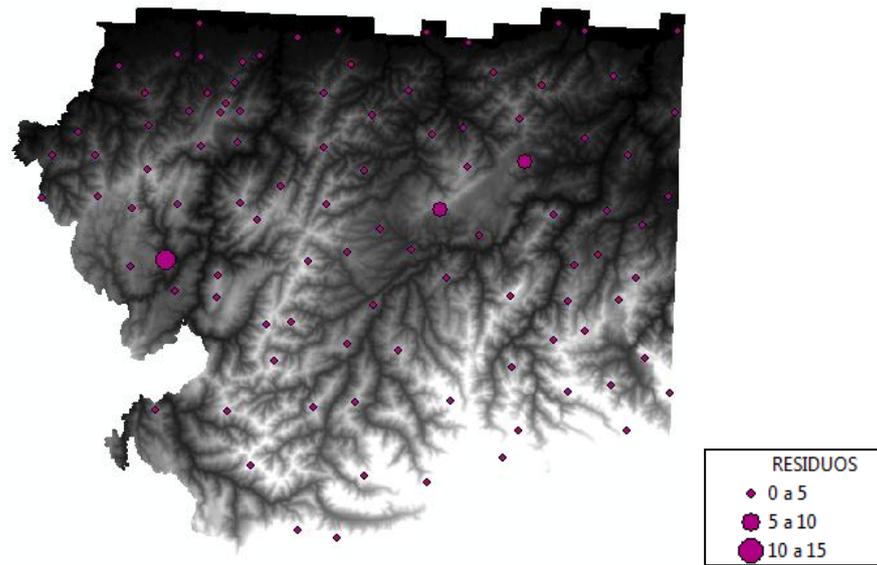


Figura 6.1.3.1- Modelo digital del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 ETRS-89

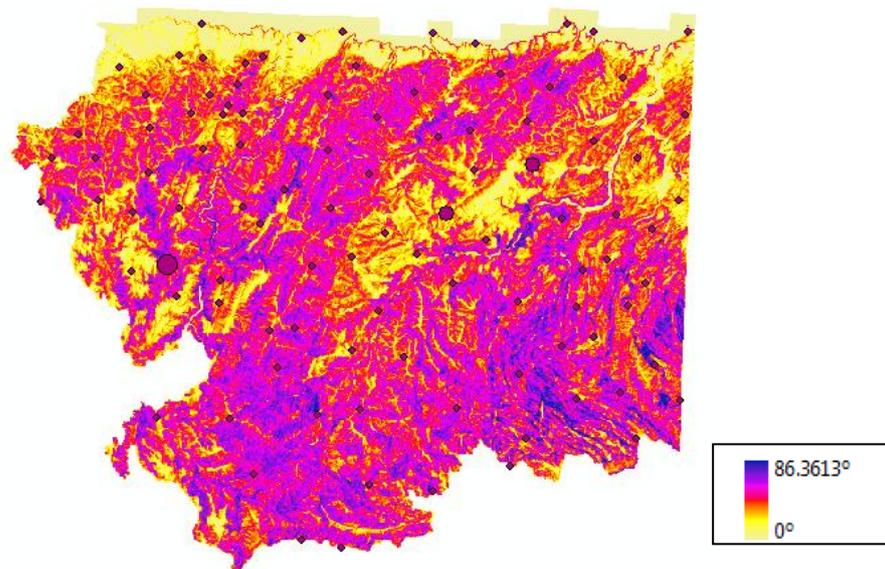


Figura 6.1.3.2-Modelo de pendiente del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 ETRS-89

6.1.4. Modelo del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 del ED-50 tras proyectar del Huso 29

En este caso, hay 98 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 después de proyectar del Huso 29 pero sin transformar, estos resultados también están muy adecuados porque casi todos los residuos son muy bajos ya que solo hay 2 puntos que están entre 5 y 10 metros y un punto que está encima de 10 metros. El error máximo se localiza en el concejo de San Martín de Oscos, debido a la pendiente de la zona donde se ubica, de unos 41°. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m), pero aumentan poco cuando se proyecta al Huso 30.

Tabla 6.1.4-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 del ED-50.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
1,090	1,594	2,501	11,939

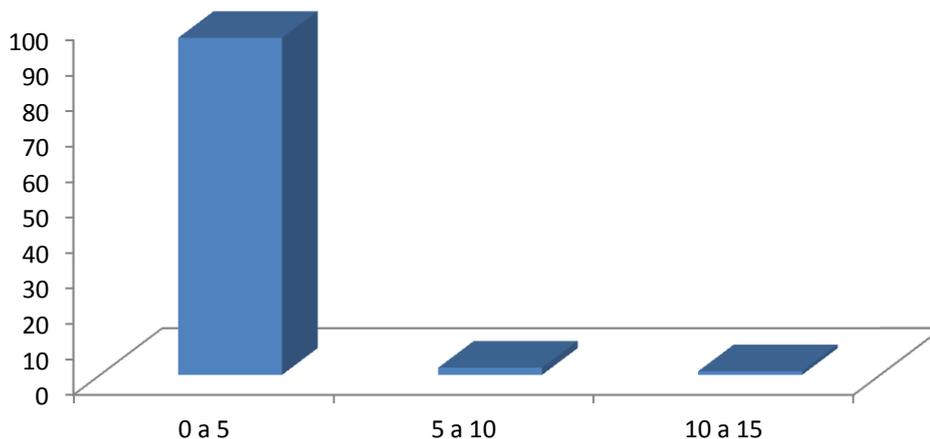


Gráfico 6.1.4-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 del ED-50.



6.1.5. Modelo del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 del ED-50 sin proyectar ni transformar

En este caso, hay 143 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 sin transformar ni proyectar, estos resultados también están muy adecuados, no obstante, son mayores que el de Asturias occidental porque todos los residuos son muy bajos excepto 7 puntos que son mayores de 5 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Aller, debido a la pendiente de la zona donde se ubica, de unos 41º. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajo, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m). Previamente se ha eliminado algunos puntos por estar situado sobre un edificio que no se registra en los MDE.

Tabla 6.1.5-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 del ED-50.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
1,840	2,002	2,659	9,605

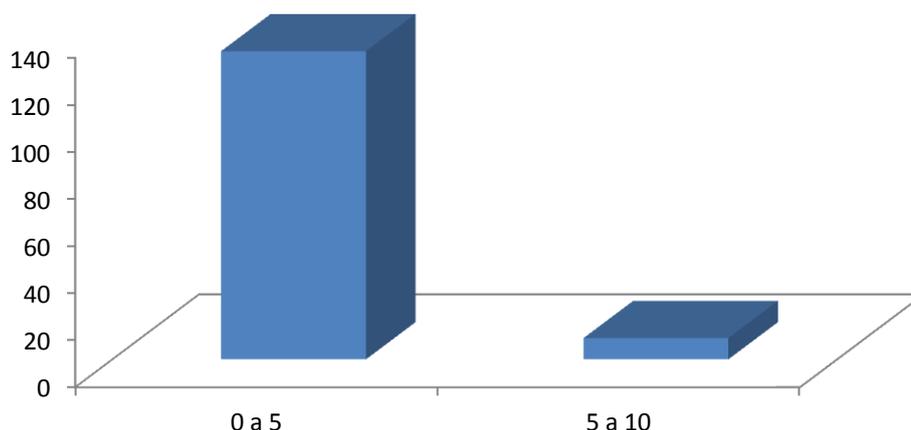


Gráfico 6.1.5-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 del ED-50.

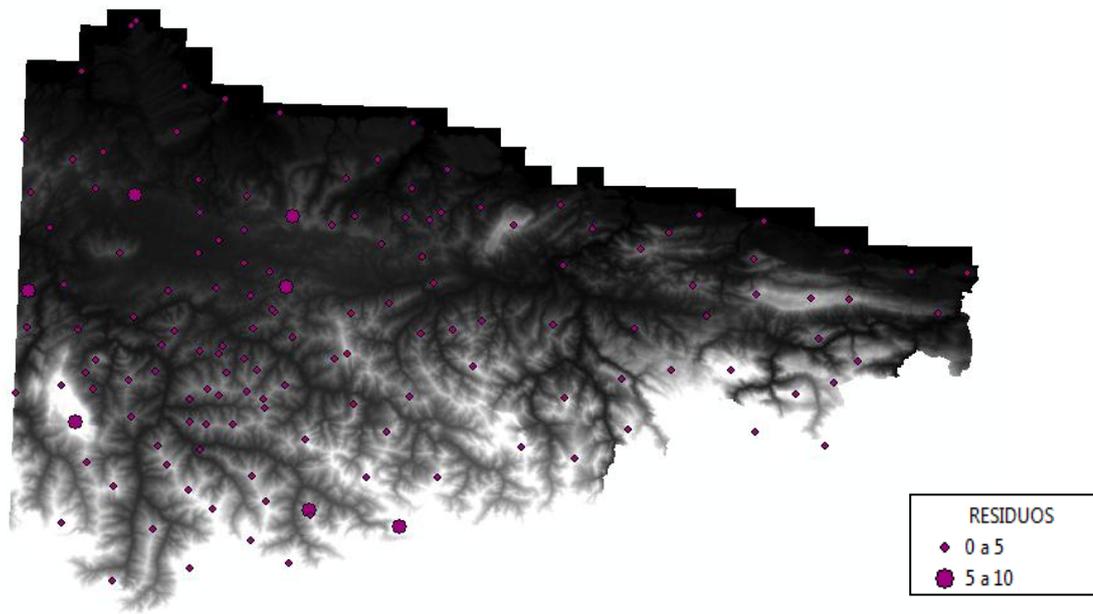


Figura 6.1.5.1-Modelo digital del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 ED-50

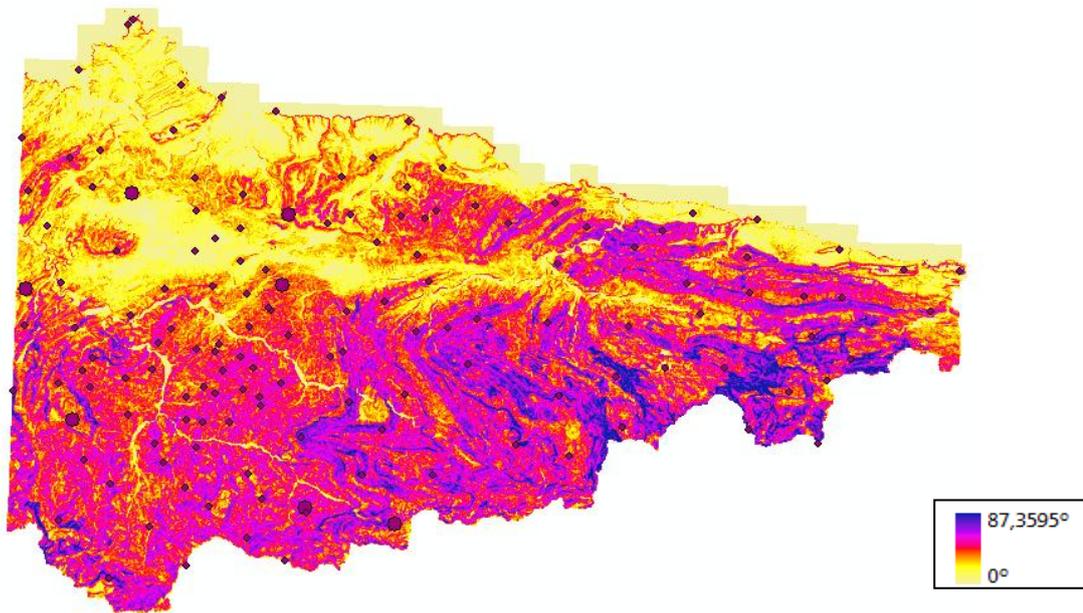


Figura 6.1.5.2-Modelo de pendiente del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 ED-50



6.1.6. Modelo del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 del ETRS-89 tras transformar del ED-50

En este caso, hay 143 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 después de transformar del ED-50 al ETRS-89 pero sin proyectar, estos resultados también están muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos excepto los 11 puntos son mayores de 5 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Aller, debido a la pendiente de la zona donde se ubica, de unos 39°. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m), pero aumentan ligeramente (3cm).

Tabla 6.1.6-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 del ETRS-89.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
1,886	2,035	2,678	8,772

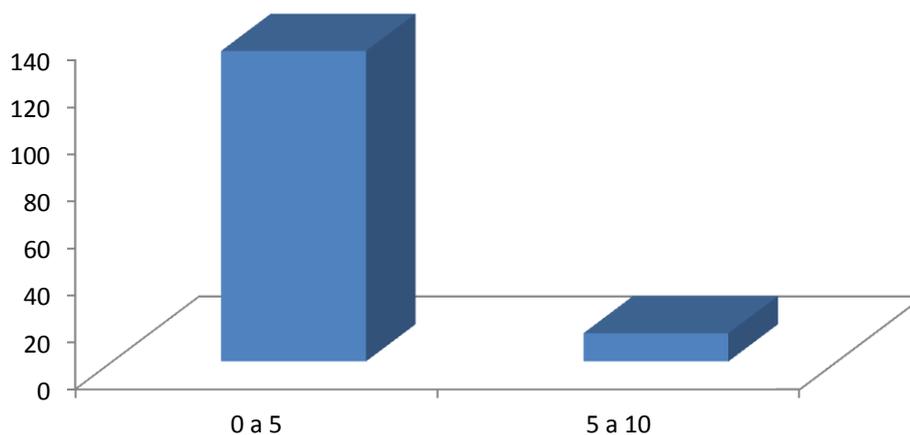


Gráfico 6.1.6-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 del ETRS-89.

6.1.7. Modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50

En este caso, hay 241 puntos calculados en total sobre un modelo digital del terreno del Principado de Asturias en el Huso 30, estos resultados también están muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos excepto los 9 puntos que están entre 5 y 10 metros y un punto que está encima de 10 metros. El error máximo se localiza en el concejo de San Martín de Oscos, debido a la pendiente de la zona donde se ubica, de unos 41°. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m).

Tabla 6.1.7-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
1,541	1,777	2,599	11,937

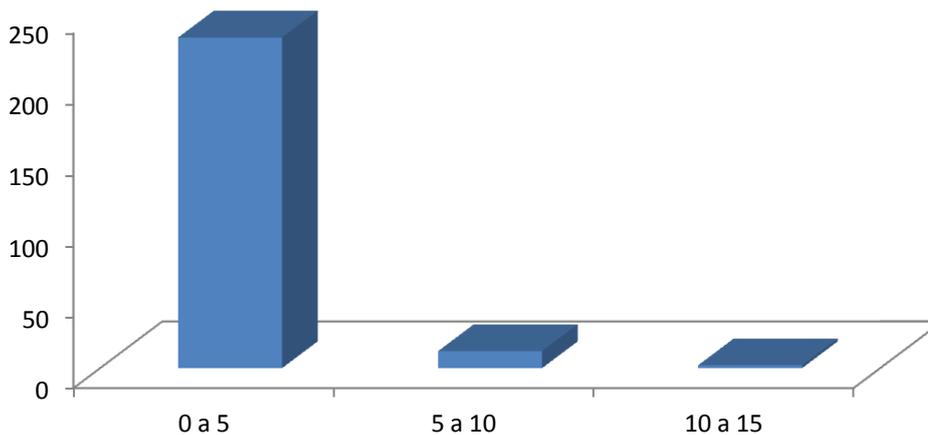


Gráfico 6.1.7-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50.

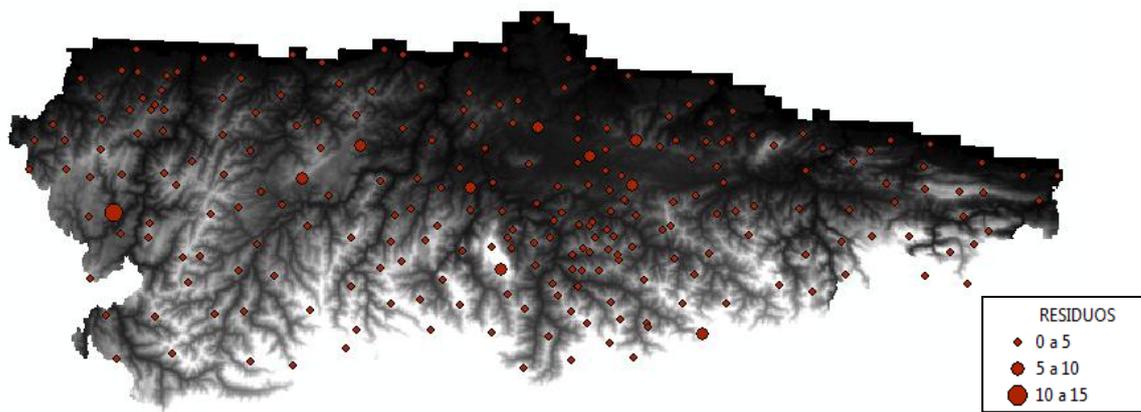


Figura 6.1.7.1- Modelo digital del Principado de Asturias en el Huso 30 ED-50

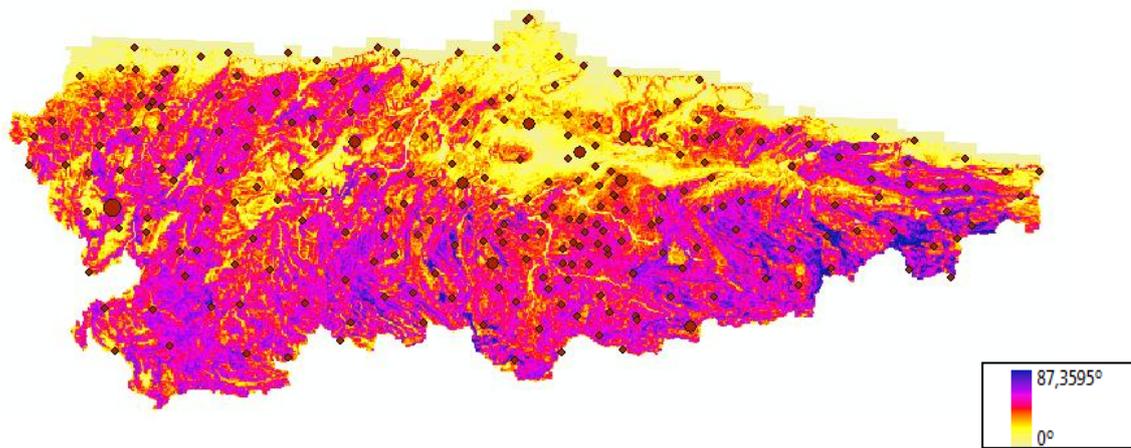


Figura 6.1.7.2-Modelo de pendiente del Principado de Asturias en el Huso 30 ED-50

6.1.8-Resumen de los resultados obtenidos del modelo digital del Principado de Asturias en el Huso 30 ED-50

A continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos, considerando en primer lugar todo el territorio objeto de estudio y posteriormente se divide en tres partes, Occidente Centro y Oriente tal y como se observa en la figura siguiente:

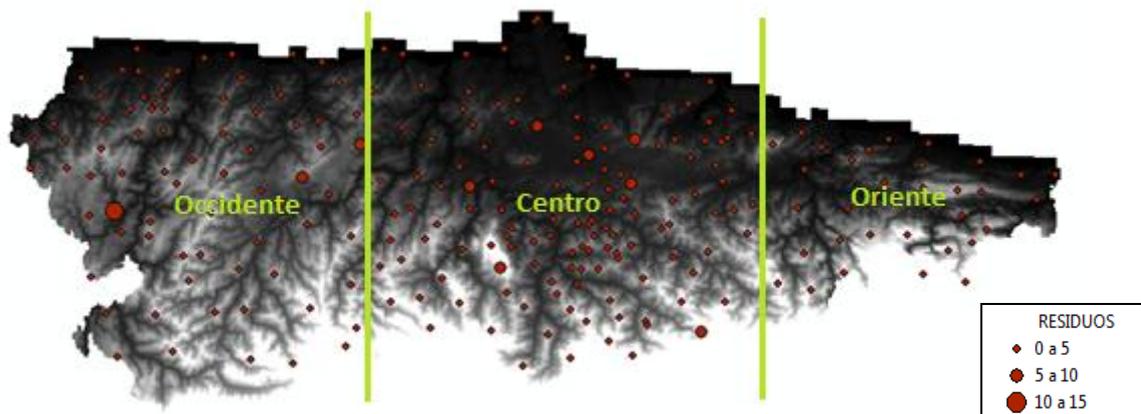


Figura 6.1.8- Modelo digital del Principado de Asturias en el Huso 30 ED-50 y división en zonas

En el estudio de conjunto de Asturias y provincias colindantes se dispone de 241 puntos calculados en total sobre un modelo digital del terreno en el Huso 30, estos resultados también están muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos excepto los 9 puntos que son mayores de 5 metros y un punto que está encima de 10 metros.

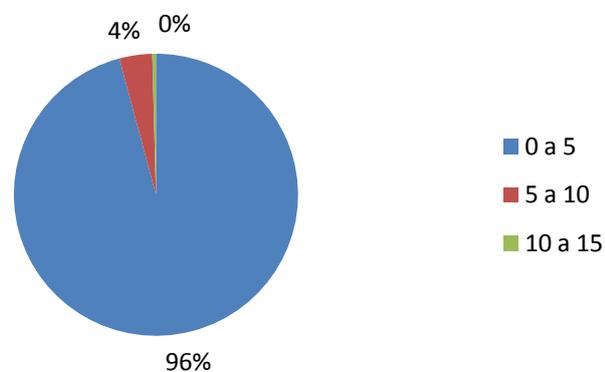


Gráfico 6.1.8.1-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50.



En la zona occidental, hay 76 vértices geodésicos, estando el valor de los residuos por debajo de 5 metros en 73 puntos, 2 puntos cuyo valor se sitúa entre 5 y 10 metros y 1 punto en el que el residuo supera los 10 metros.

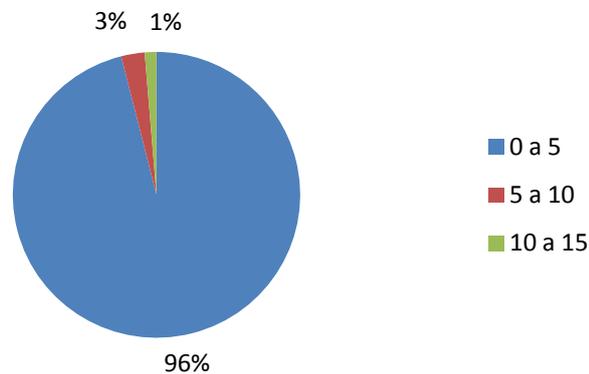


Gráfico 6.1.8.2-Residuos en los vértices geodésicos de la zona occidental del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50.

En la zona central, hay 104 vértices geodésicos, todos los residuos están debajo de 5 metros salvo en 6 puntos que se encuentran en el intervalo de 5 a 10 metros.

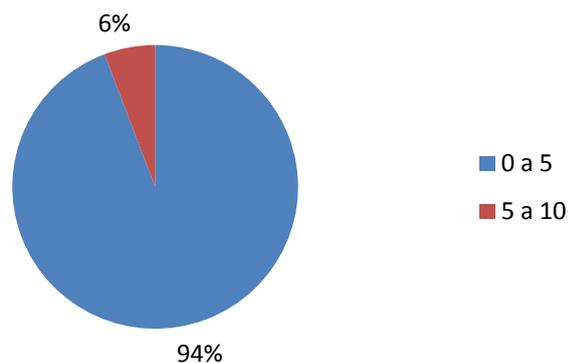


Gráfico 6.1.8.3-Residuos en los vértices geodésicos de la zona central del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50.

En la zona oriental, hay 61 vértices geodésicos, todos los residuos están debajo de 5 metros a excepción de un punto, en el que se superan los 5 metros.

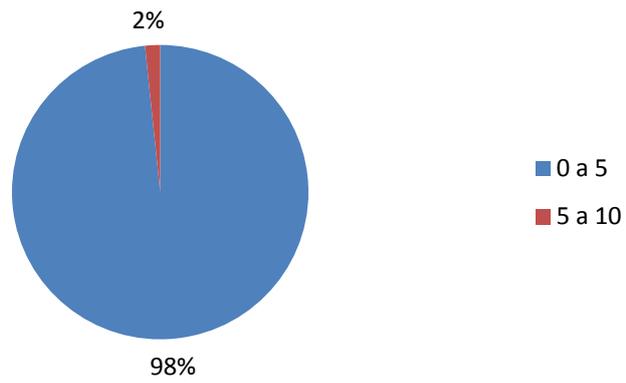


Gráfico 6.1.8.4-Residuos en los vértices geodésicos de la zona oriental del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50.



6.2. ANALISIS DE LOS ERRORES EN LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO DESCARGADOS DE LAS PÁGINAS WEB DE CNIG

6.2.1-Modelo de la zona occidental en el Huso 29 del ETRS-89 sin transformar ni proyectar

En este caso, hay 129 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la zona occidental en el Huso 29 sin transformar ni proyectar, estos resultados también están muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos salvo en 7 puntos que son mayores de 5 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Pedrafita do Cebreiro. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m).

Tabla 6.2.1-Estadísticos de los errores del modelo de la zona occidental en el Huso 29 del ETRS-89.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
2,116	2,202	2,820	8,043

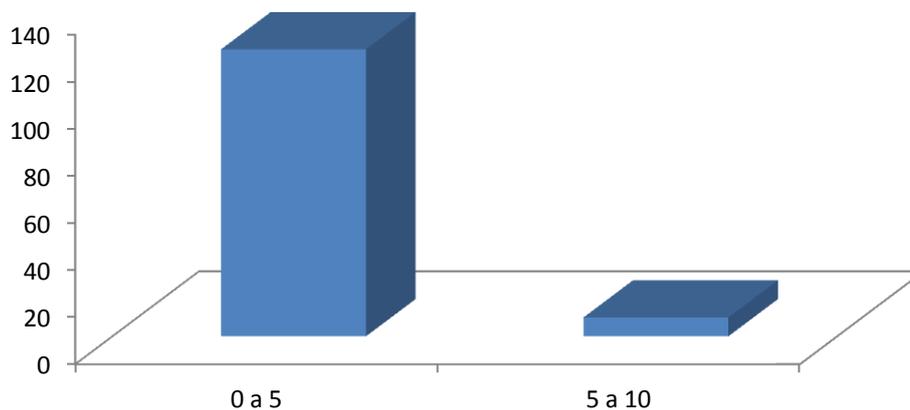


Gráfico 6.2.1-Residuos en los vértices geodésicos de la zona occidental en el Huso 29 del ETRS-89.

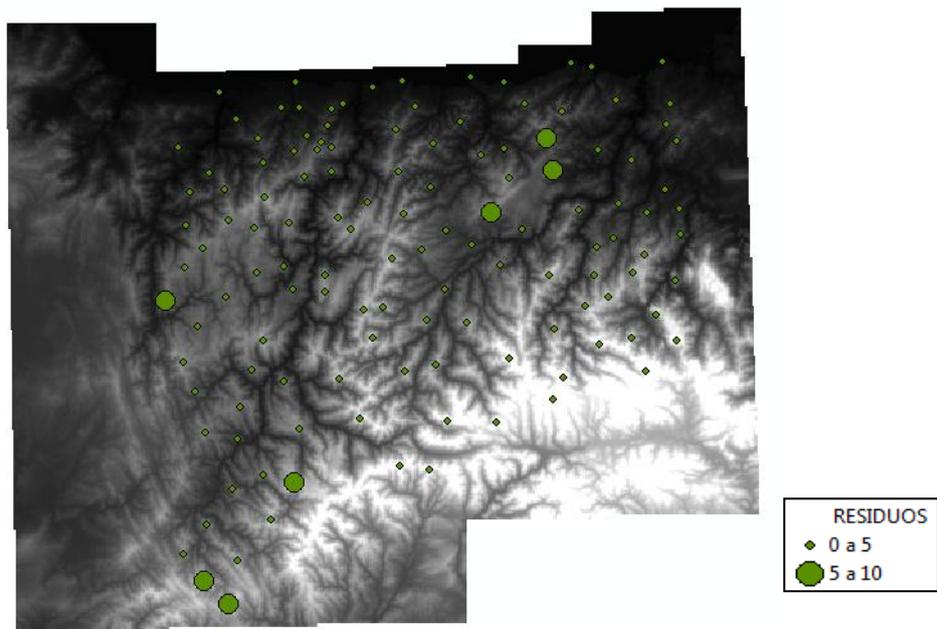


Figura 6.2.1.1-Modelo digital de la zona occidental en el Huso 29 ETRS-89

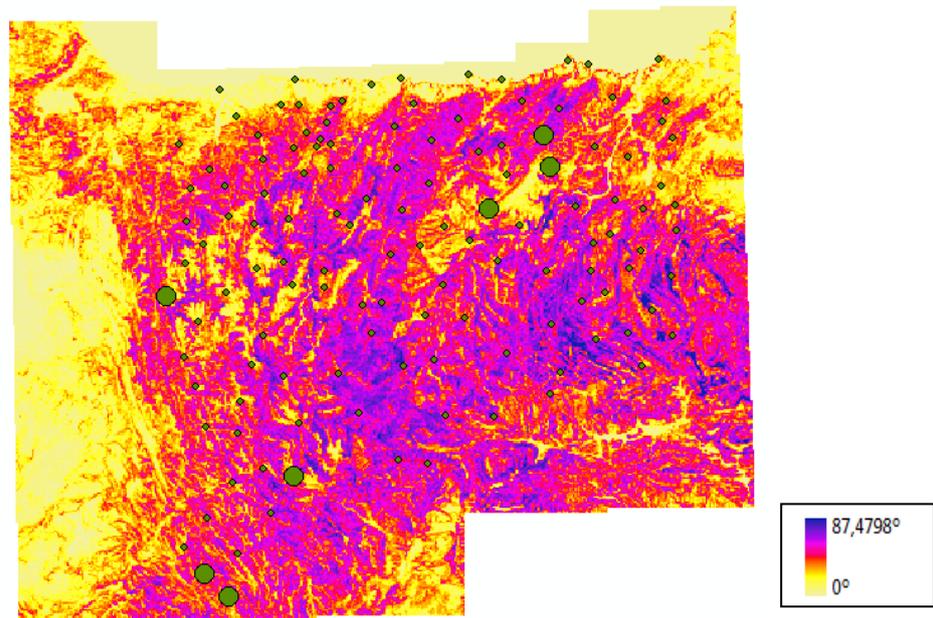


Figura 6.2.1.2-Modelo de pendiente de la zona occidental en el Huso 29 ETRS-89



6.2.2-Modelo de la zona de Lugo y León en el Huso 29 del ETRS-89 sin transformar ni proyectar

En este caso, hay 23 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la zona de las provincias Lugo y León en el Huso 29 sin transformar ni proyectar, estos resultados también están muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos excepto los 4 puntos que son mayores de 5 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Tapia de Casariago. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m).

Tabla 6.2.2-Estadísticos de los errores del modelo de la zona de Lugo y León en el Huso 29 del ETRS-89.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
2,736	2,775	3,623	8,043

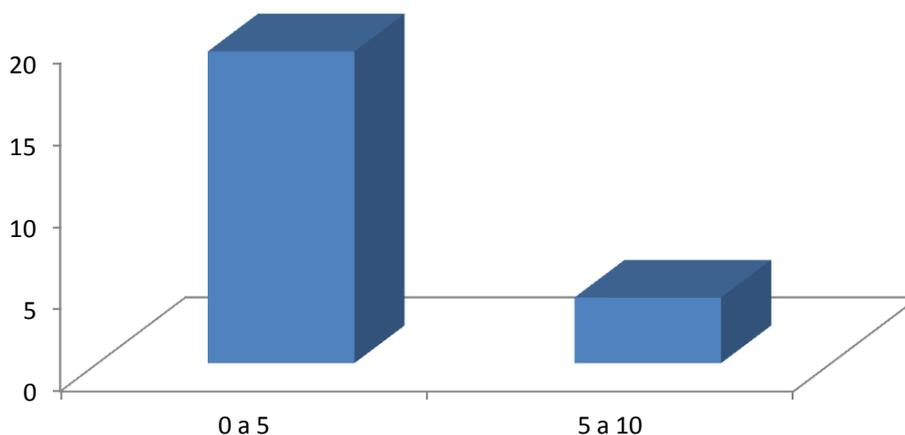


Gráfico 6.2.2-Residuos en los vértices geodésicos de la zona de las provincias Lugo y León en el Huso 29 del ETRS-89.

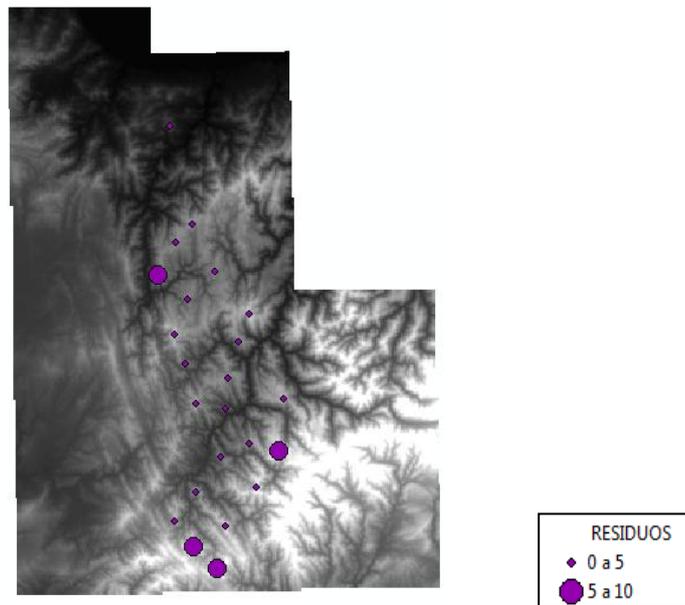


Figura 6.2.2.1-Modelo digital de la zona de las provincias Lugo y León en el Huso 29 ETRS-89

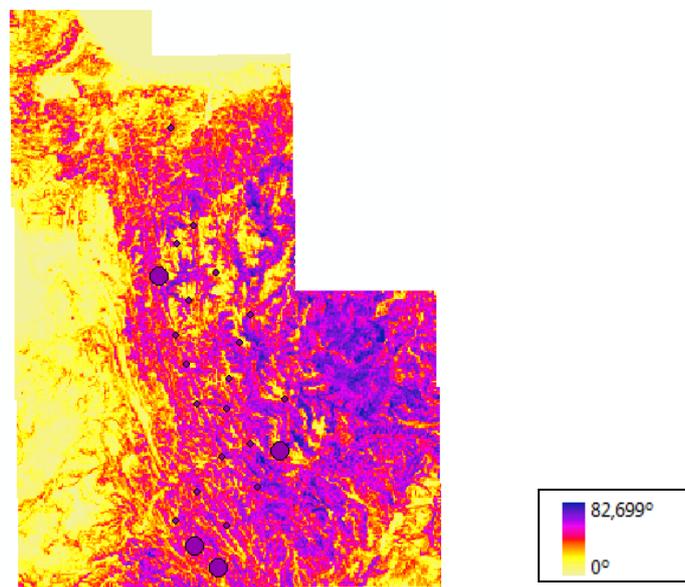


Figura 6.2.2.2-Modelo de pendiente de la zona de las provincias Lugo y León en el Huso 29 ETRS-89



6.2.3-Modelo de la zona occidental del Norte en el Huso 29 del ETRS-89 sin transformar ni proyectar

En este caso, hay 90 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la zona occidental del Norte en el Huso 29 sin transformar ni proyectar, estos resultados también están muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos excepto los 4 puntos que son mayores de 5 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Tineo. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m).

Tabla 6.2.3-Estadísticos de los errores del modelo de la zona occidental del Norte en el Huso 29 del ETRS-89.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
2,194	2,247	2,838	7,623

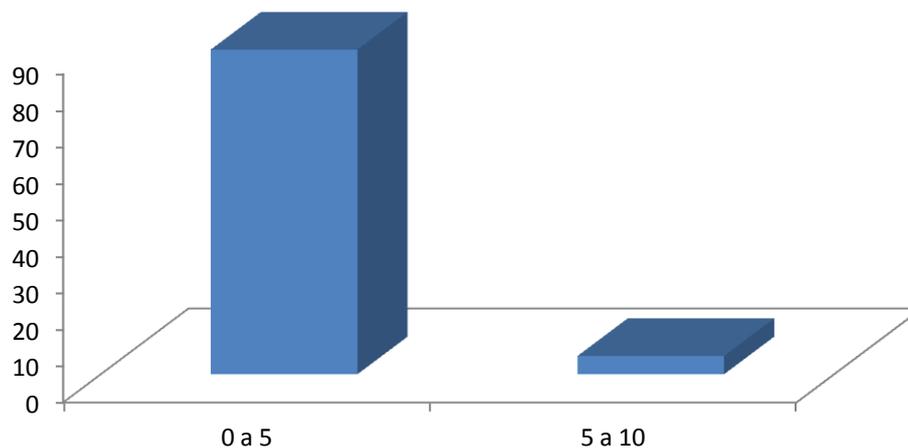


Gráfico 6.2.3-Residuos en los vértices geodésicos de la zona occidental del Norte en el Huso 29 del ETRS-89.

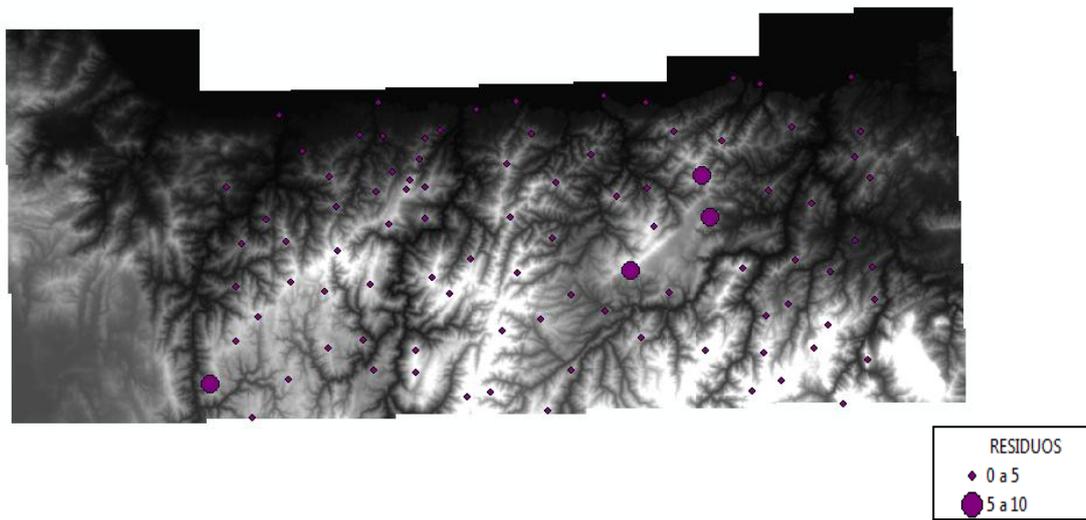


Figura 6.2.3.1-Modelo digital de la zona occidental del Norte en el Huso 29 ETRS-89

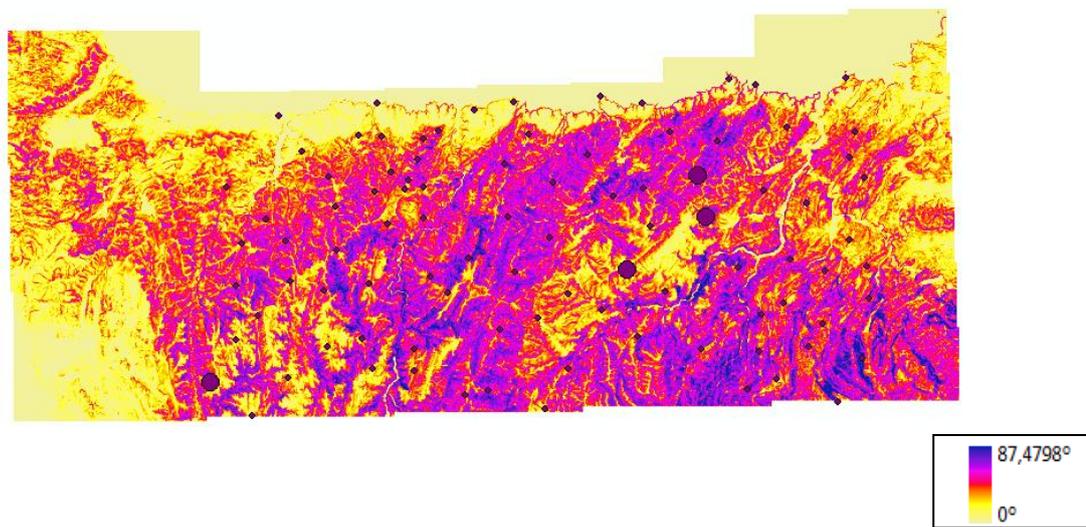


Figura 6.2.3.2-Modelo de pendiente de la zona occidental del Norte en el Huso 29 ETRS-89



6.2.4-Modelo de la zona occidental del Sur en el Huso 29 del ETRS-89 sin transformar ni proyectar

En este caso, hay 39 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la zona occidental del Sur en el Huso 29 sin transformar ni proyectar, estos resultados también están muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos excepto los 3 puntos que son mayores de 5 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Pedrafita do Cebreiro. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m).

Tabla 6.2.4-Estadísticos de los errores del modelo de la zona occidental del Sur en el Huso 29 del ETRS-89.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
1,900	2,077	2,756	8,043

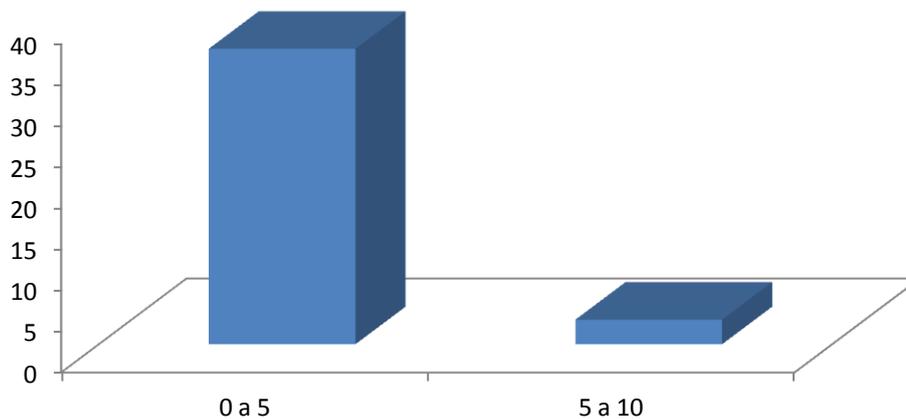


Gráfico 6.2.4-Residuos en los vértices geodésicos de la zona occidental del Norte en el Huso 29 del ETRS-89.

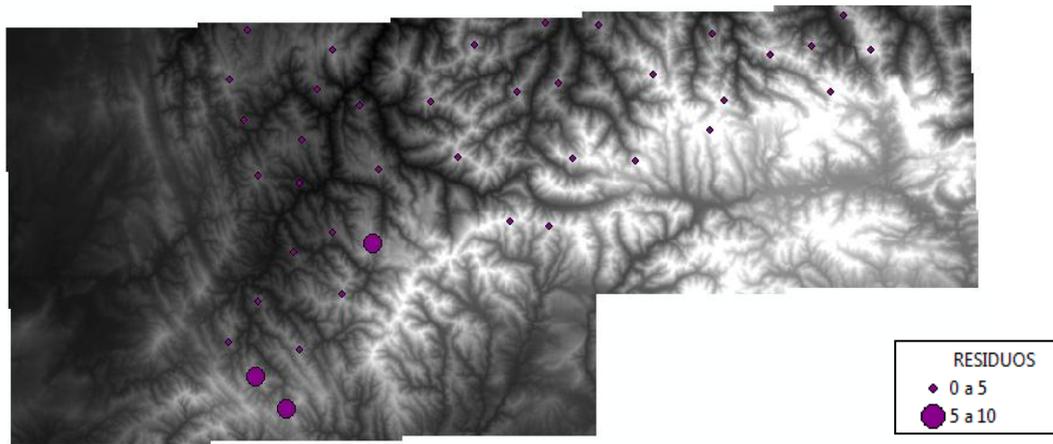


Figura 6.2.4.1-Modelo digital de la zona occidental del Sur en el Huso 29 ETRS-89

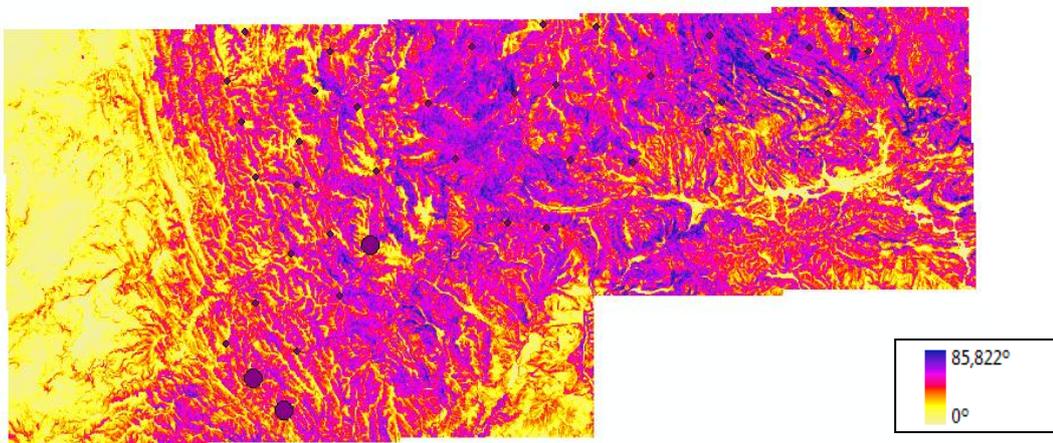


Figura 6.2.4.2-Modelo de pendiente de la zona occidental del Sur en el Huso 29 ETRS-89



6.2.5-Modelo de la zona occidental en el Huso 29 del ETRS-89 tras proyectar al Huso 30

En este caso, hay 129 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la zona occidental en el Huso 30 después de proyectar del Huso 29 pero sin transformar, estos resultados también están muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos salvo en los 8 puntos que son mayores de 5 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Pedrafita do Cebreiro. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos pero son mayores que el mapa de la zona occidental en el Huso 29, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m).

Tabla 6.2.5-Estadísticos de los errores del modelo de la zona occidental en el Huso 30 del ETRS-89.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
2,217	2,288	2,876	8,015

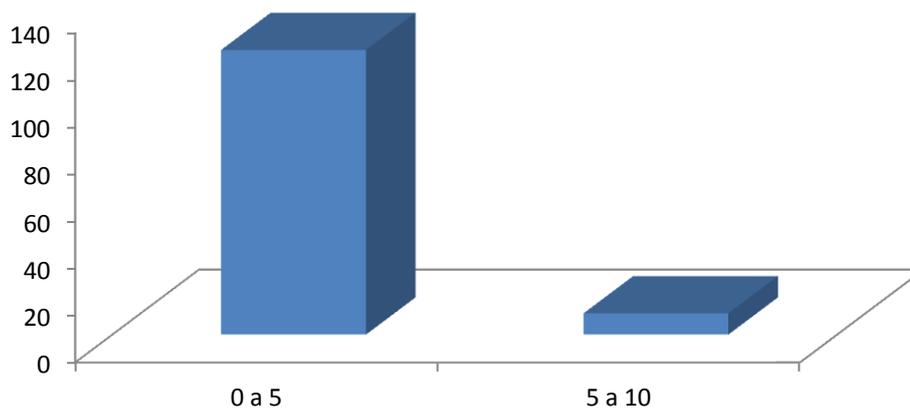


Gráfico 6.2.5-Residuos en los vértices geodésicos de la zona occidental en el Huso 30 del ETRS-89.

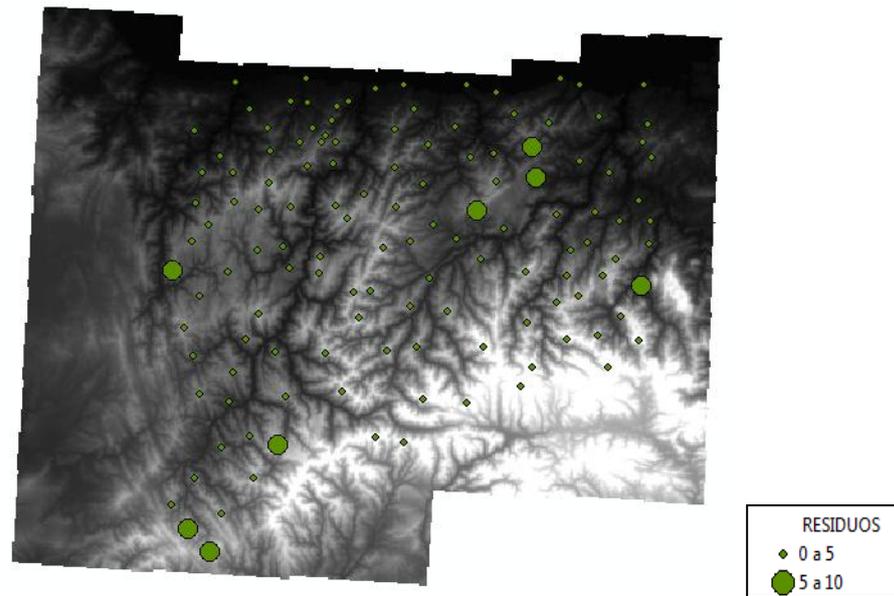


Figura 6.2.5.1-Modelo digital de la zona occidental en el Huso 30 ETRS-89

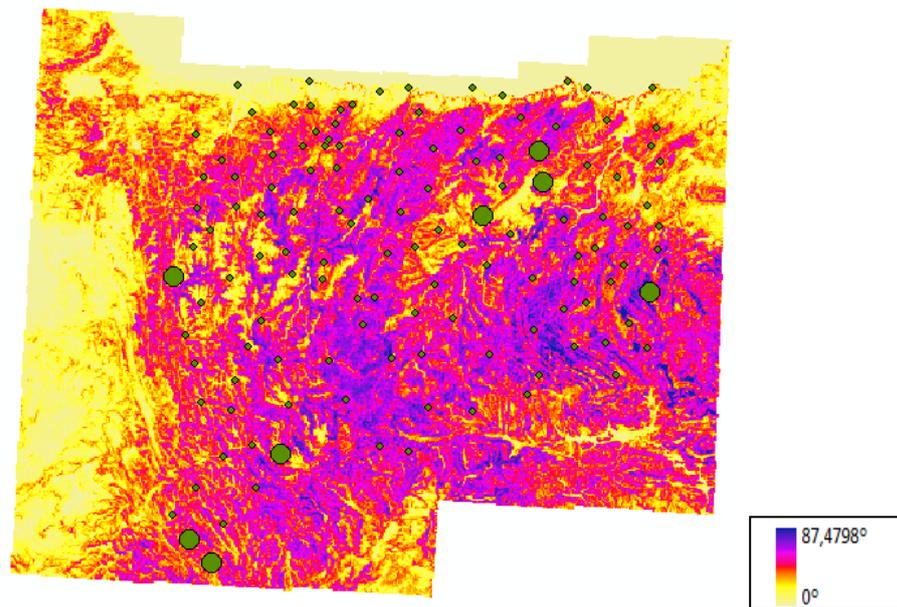


Figura 6.2.5.2-Modelo de pendiente de la zona occidental en el Huso 30 ETRS-89



6.2.6-Modelo de la zona oriental en el Huso 30 del ETRS-89 sin transformar ni proyectar.

En este caso, hay 131 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la zona oriental en el Huso 30 sin transformar ni proyectar, estos resultados también están muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos salvo en los 5 puntos que son mayores de 5 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Siero. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m).

Tabla 6.2.6-Estadísticos de los errores del modelo de la zona oriental en el Huso 30 del ETRS-89.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
1,915	2,086	2,701	9,261

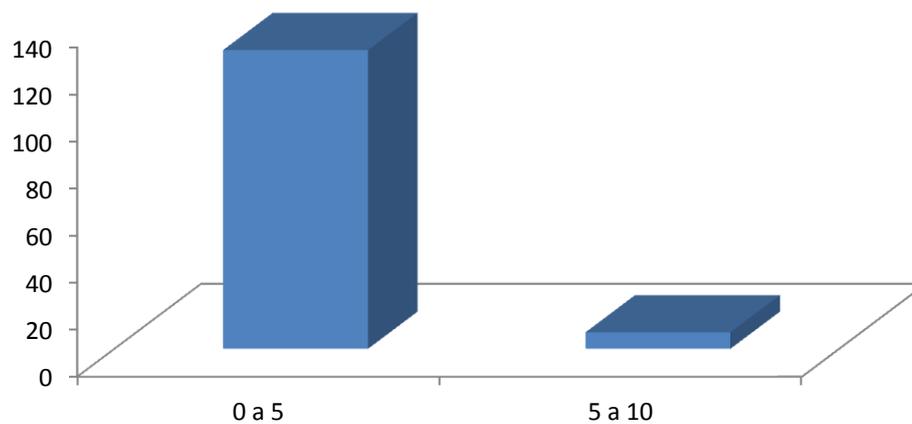


Gráfico 6.2.6-Residuos en los vértices geodésicos de la zona oriental en el Huso 30 del ETRS-89.

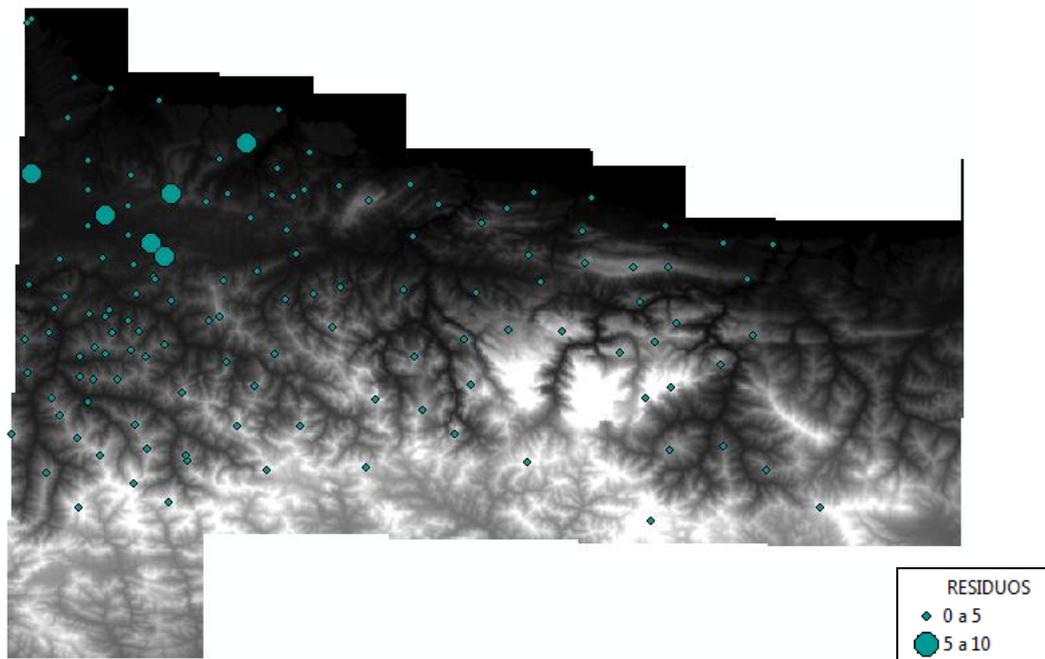


Figura 6.2.6.1-Modelo digital de la zona oriental en el Huso 30 ETRS-89

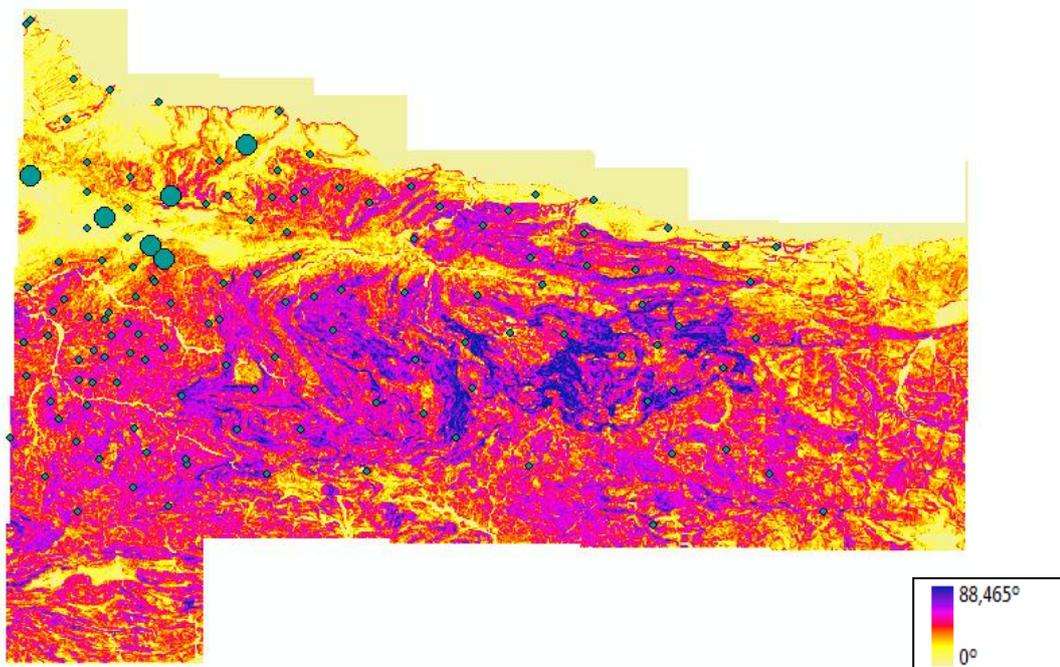


Figura 6.2.6.2-Modelo de pendiente de la zona oriental en el Huso 30 ETRS-89



6.2.7-Modelo de la zona de Cantabria y León en el Huso 30 del ETRS-89 sin transformar ni proyectar.

En este caso, hay 11 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la zona de las provincias Cantabria y León en el Huso 30 sin transformar ni proyectar, estos resultados también están muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos ya que no hay ningún punto de mayor de 5 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Posada de Valdeón. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m).

Tabla 6.2.7-Estadísticos de los errores del modelo de la zona de las provincias Cantabria y León en el Huso 30 del ETRS-89.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
1,536	1,760	2,227	4,671

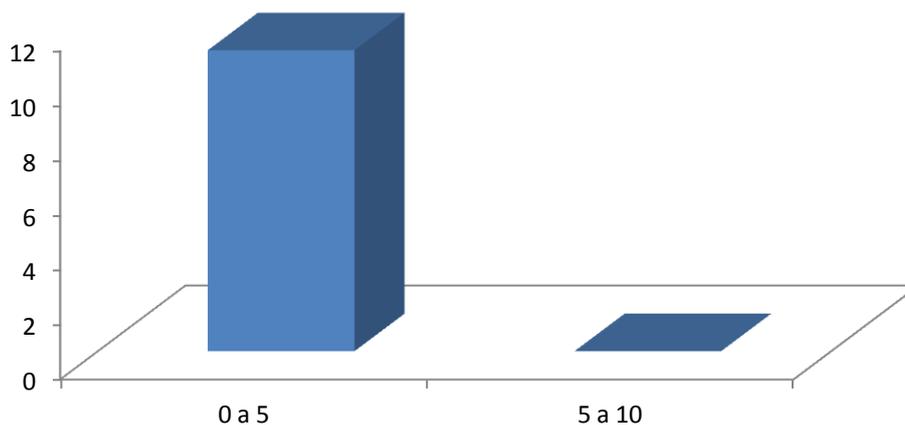


Gráfico 6.2.7-Residuos en los vértices geodésicos de la zona de las provincias Cantabria y León en el Huso 30 del ETRS-89.

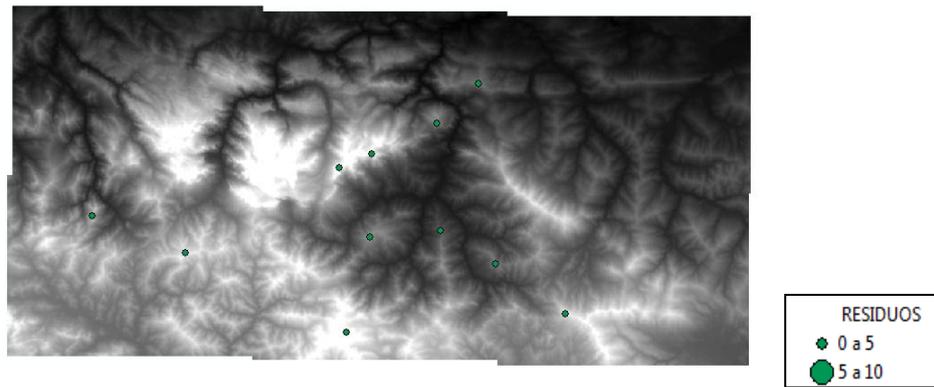


Figura 6.2.7.1-Modelo digital de la zona de las provincias Cantabria y León en el Huso 30 ETRS-89

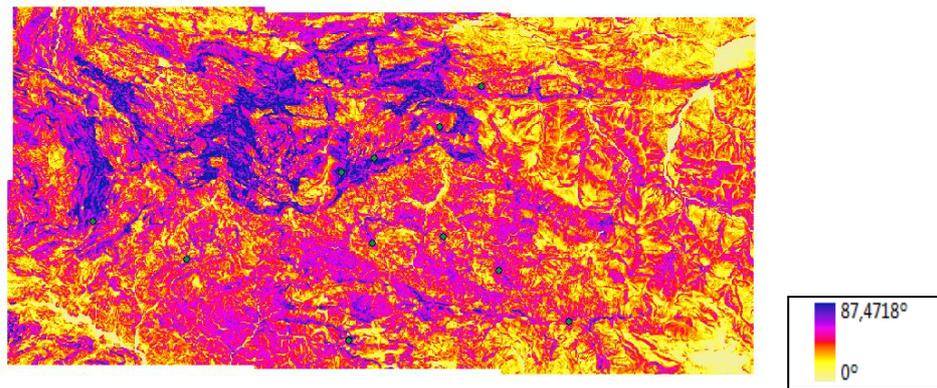


Figura 6.2.7.2-Modelo de pendiente de la zona de las provincias Cantabria y León en el Huso 30 ETRS-89



6.2.8-Modelo de la zona oriental del Norte en el Huso 30 del ETRS-89 sin transformar ni proyectar

En este caso, hay 51 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la zona oriental del Norte en el Huso 30 sin transformar ni proyectar, estos resultados también están muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos excepto los 6 puntos que son mayores de 5 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Siero. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m).

Tabla 6.2.8-Estadísticos de los errores del modelo de la zona oriental del Norte en el Huso 30 del ETRS-89.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
2,860	2,916	3,563	9,261

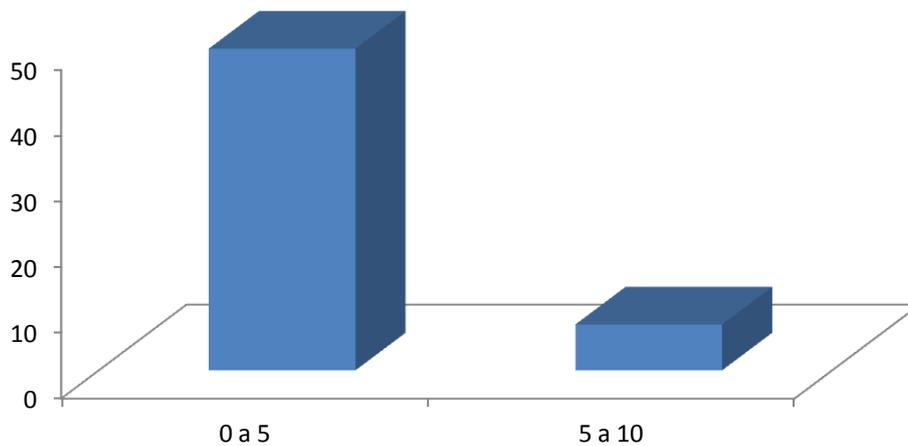


Gráfico 6.2.8-Residuos en los vértices geodésicos de la zona oriental del Norte en el Huso 30 del ETRS-89.

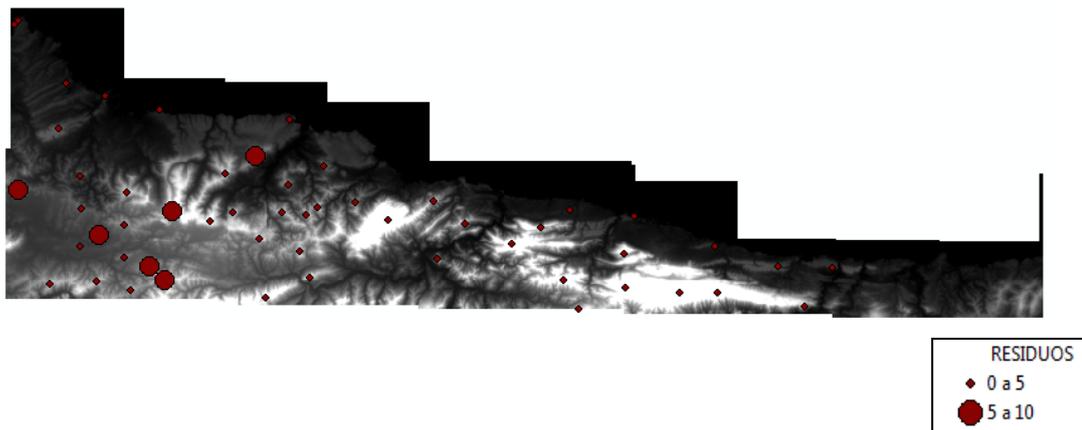


Figura 6.2.8.1-Modelo digital de la zona oriental del Norte en el Huso 30 ETRS-89

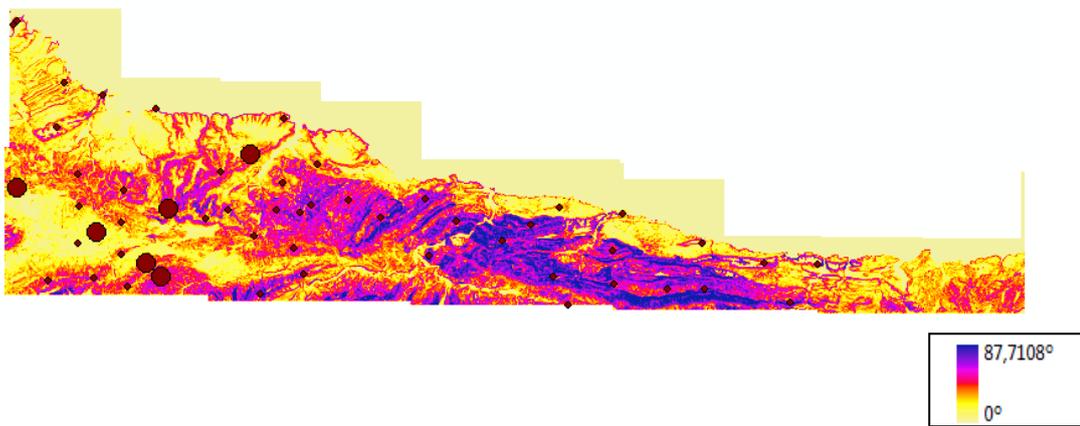


Figura 6.2.8.2-Modelo de pendiente de la zona oriental del Norte en el Huso 30 ETRS-89



6.2.9-Modelo de la zona oriental del Sur en el Huso 30 del ETRS-89 sin transformar ni proyectar

En este caso, hay 80 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la zona oriental del Sur en el Huso 30 sin transformar ni proyectar, estos resultados también están muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos ya que no hay ningún punto de mayor de 5 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Peñamellera Alta. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m).

Tabla 6.2.9-Estadísticos de los errores del modelo de la zona oriental del Sur en el Huso 30 del ETRS-89.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
1,234	1,486	1,848	4,729

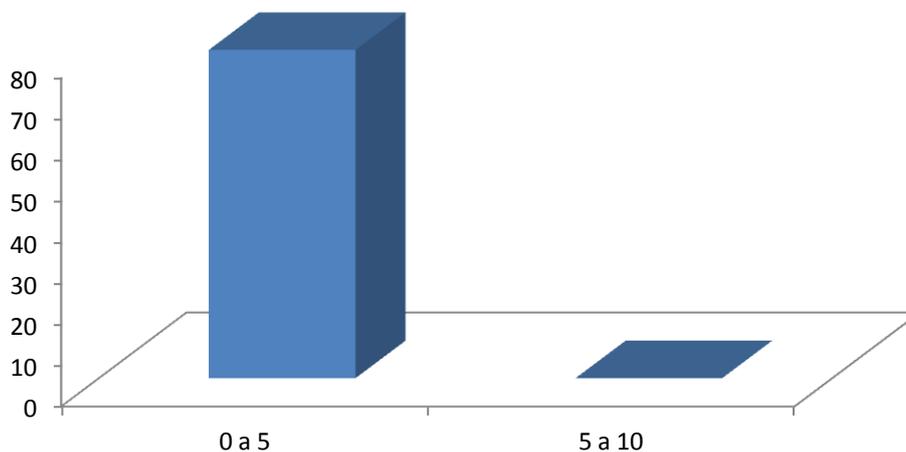


Gráfico 6.2.9-Residuos en los vértices geodésicos de la zona oriental del Sur en el Huso 30 del ETRS-89.

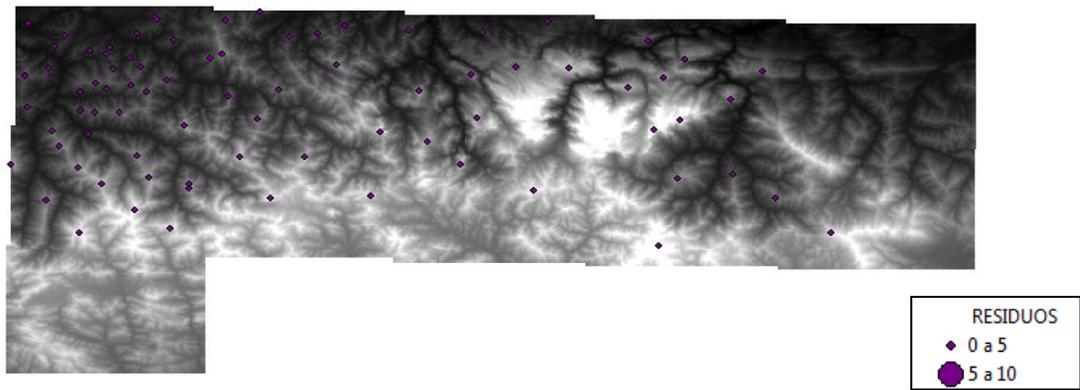


Figura 6.2.9.1-Modelo digital de la zona oriental del Sur en el Huso 30 ETRS-89

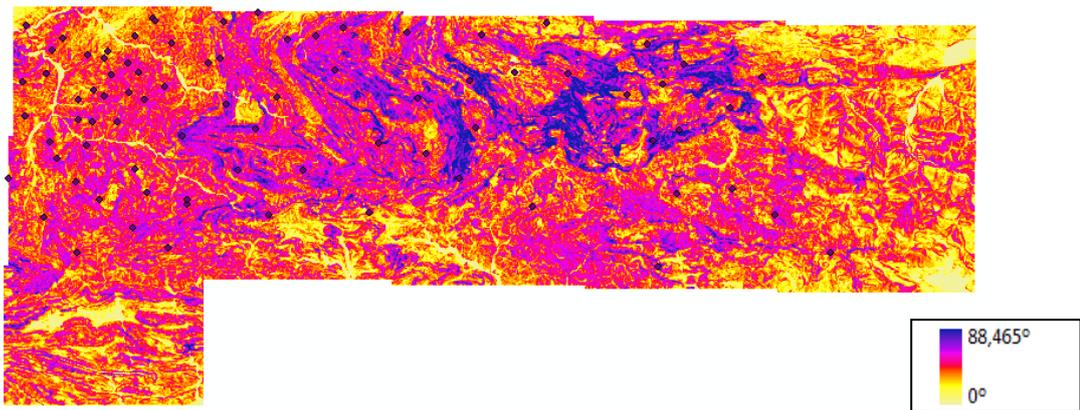


Figura 6.2.9.2-Modelo de pendiente de la zona oriental del Sur en el Huso 30 ETRS-89



6.3.10-Modelo de la vertiente cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89

En este caso, hay 274 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la vertiente cantábrica en el Huso 30 sin transformar ni proyectar, estos resultados también están muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos salvo en los 17 puntos que son mayores de 5 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Siero. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (5m).

Tabla 6.2.10-Estadísticos de los errores del modelo de la zona oriental del Sur en el Huso 30 del ETRS-89.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
2,157	2,274	2,919	9,349

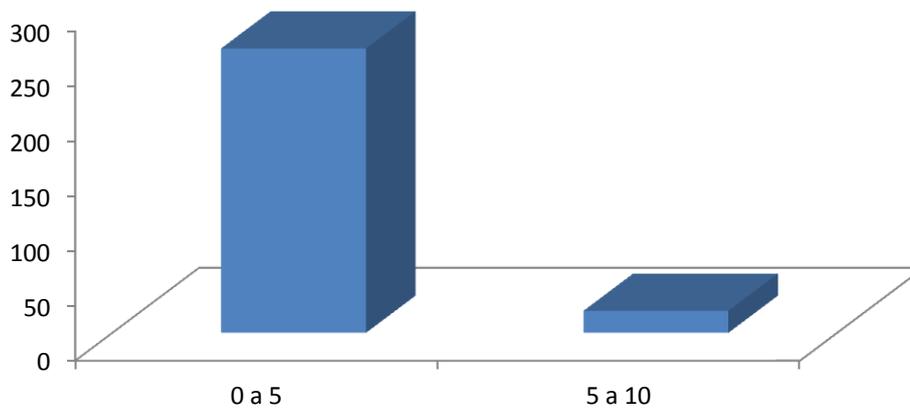


Gráfico 6.2.10-Residuos en los vértices geodésicos de la zona oriental del Sur en el Huso 30 del ETRS-89.

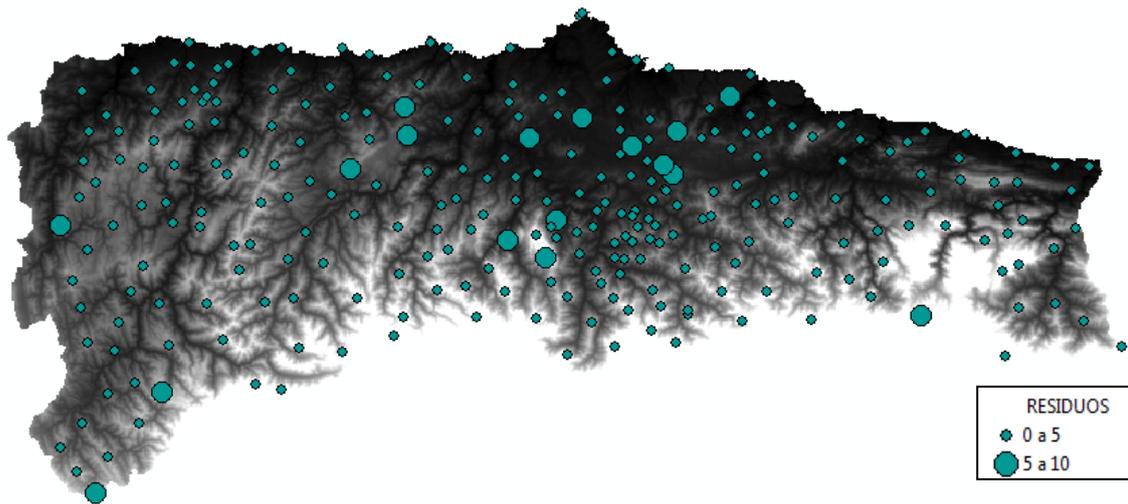


Figura 6.2.10.1-Modelo digital de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89

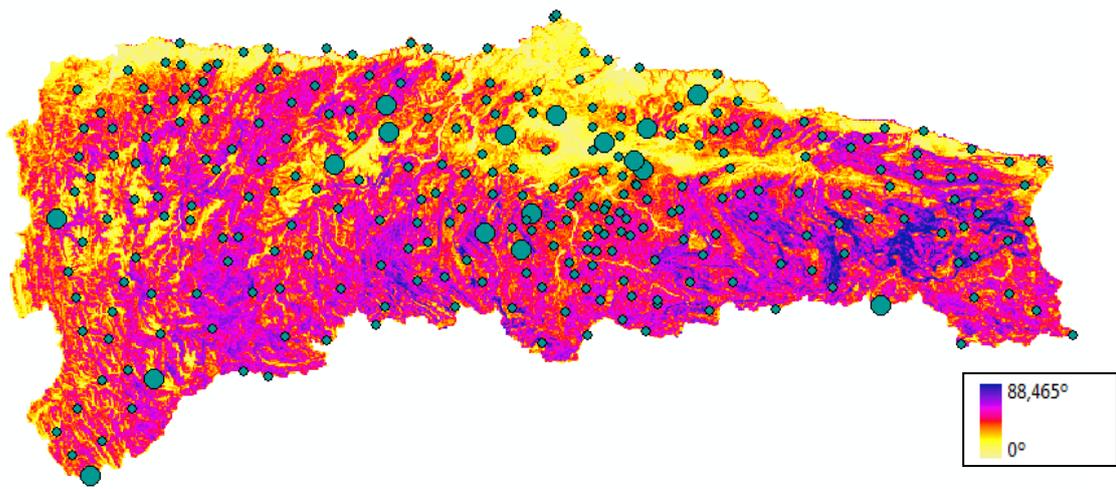


Figura 6.2.10.2-Modelo de pendiente de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89

6.2.11-Resumen de los resultados obtenidos del modelo digital de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 ETRS-89

A continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos, considerando para ello las zonas de estudio propuestas en la figura siguiente:

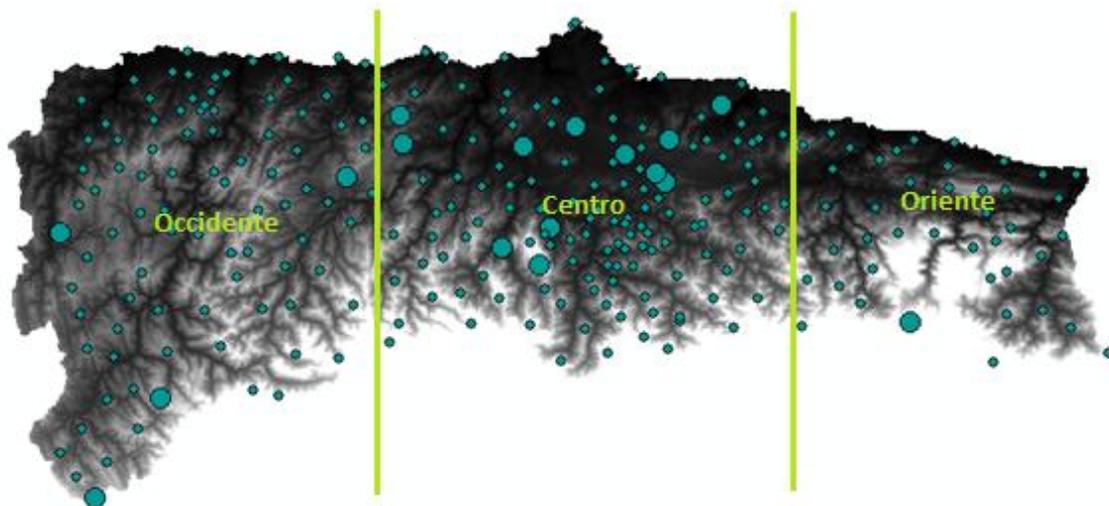


Figura 6.2.11- Modelo digital de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 ETRS-89

Existen 274 puntos sobre un modelo digital del terreno de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89, todos los residuos están debajo de 5 metros salvo en 17 puntos que se supera este valor.

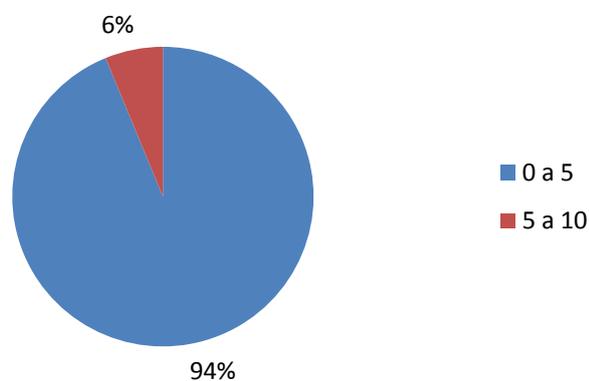


Gráfico 6.2.11.1-Residuos en los vértices geodésicos de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89.

En la zona occidental, hay 92 vértices geodésicos, todos los residuos están por debajo de 5 metros salvo en los 4 puntos que superan este valor.

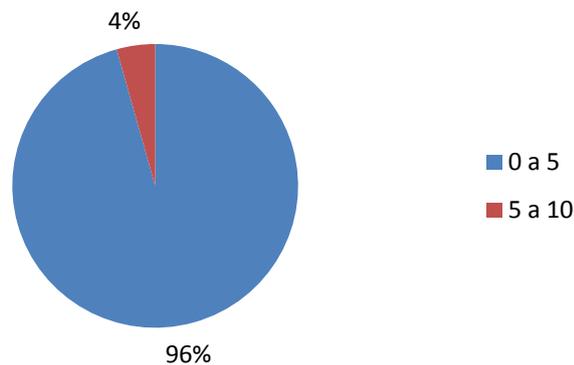


Gráfico 6.2.11.2-Residuos en los vértices geodésicos de la zona occidental de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89.

En la zona central, hay 139 vértices geodésicos, todos los residuos calculados están por debajo de 5 metros salvo en 12 puntos.

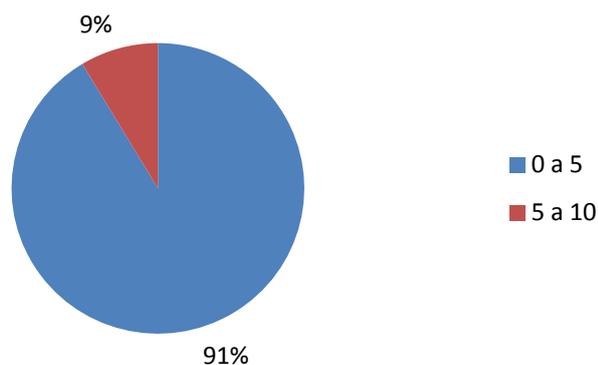


Gráfico 6.2.11.3-Residuos en los vértices geodésicos de la zona central de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89.

En la zona oriental, hay 43 vértices geodésicos, todos los residuos están debajo de 5 metros menos un punto que supera dicho valor.

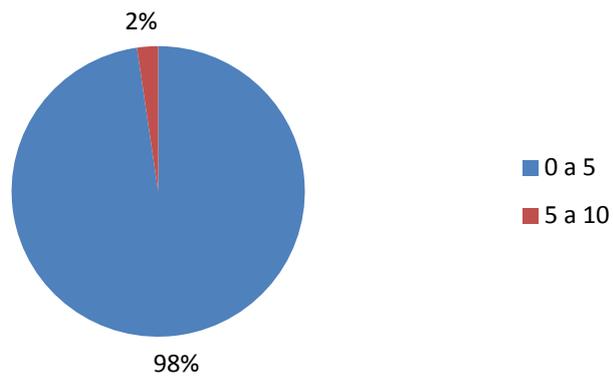


Gráfico 6.2.11.4-Residuos en los vértices geodésicos de la zona oriental de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89.



6.3. ANÁLISIS GLOBAL DE ERRORES DE LA VERTIENTE CANTÁBRICA

A continuación se muestran una serie de resultados para las correlaciones entre el valor absoluto de los residuos, la pendiente y la cota del terreno. Se ha hecho el análisis diferenciando únicamente sobre el modelo ETRS-89 y tomando como datos aquellos que poseían un residuo considerable, siempre mayor a 1m. Se ha diferenciado los datos provenientes de la red REGENTE y de la red ROI, en ambos casos las muestras utilizadas son representativas poseyendo un número de puntos superior a 20, en todos los casos, aunque normalmente se trabaja con muestras con más de 100 elementos.

Tabla 6.3.1-Correlaciones entre el valor absoluto de los residuos (Abs), la elevación y pendiente de los vértices geodésicos de REGENTE de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89. Donde (*) es la correlación significativa al nivel 0,05 (bilateral).

		Abs	Pendiente	Elevación
Abs	Correlación de Pearson	1	-0,249	-0,386*
	Sig. (bilateral)		0,177	0,032
	N	31	31	31
Pendiente	Correlación de Pearson	-0,249	1	0,191
	Sig. (bilateral)	0,177		0,305
	N	31	31	31
Elevación	Correlación de Pearson	-0,386*	0,191	1
	Sig. (bilateral)	0,032	0,305	
	N	31	31	31

En este caso, el tipo de vértices geodésicos es REGENTE y hay 31 puntos. El residuo (Abs) tiene una correlación significativa con la pendiente, además el valor de correlación es mayor que la elevación.



Tabla 6.3.2-Correlaciones entre el valor absoluto de los residuos, la elevación y pendiente de los vértices geodésicos de ROI de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89. Donde (*) es la correlación significativa al nivel 0,01 (bilateral).

		Abs	Pendiente	Elevación
Abs	Correlación de Pearson	1	0,515**	0,219**
	Sig. (bilateral)		0,000	0,000
	N	253	253	253
Pendiente	Correlación de Pearson	0,515**	1	0,332**
	Sig. (bilateral)	0,000		0,000
	N	253	253	253
Elevación	Correlación de Pearson	0,219**	0,332**	1
	Sig. (bilateral)	0,000	0,000	
	N	253	253	253

En este caso, el tipo de vértices geodésicos es ROI y hay 253 puntos. El valor absoluto del error (Abs) tiene una correlación significativa con la pendiente, además el valor de correlación es mayor que la elevación y una sigma (bilateral) es nula.

Tabla 6.3.3-Correlaciones entre el valor absoluto de de los residuos, la elevación y pendiente de los vértices geodésicos de REGENTE de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 si seleccionamos los errores mayores de un metro. Donde (*) es la correlación significativa al nivel 0,05.

		Abs	Pendiente	Elevación
Abs	Correlación de Pearson	1	-0,305	-0,268
	Sig. (bilateral)		0,167	0,227
	N	22	22	22
Pendiente	Correlación de Pearson	-0,305	1	0,151
	Sig. (bilateral)	0,167		0,502
	N	22	22	22
Elevación	Correlación de Pearson	-0,268	0,151	1
	Sig. (bilateral)	0,227	0,502	
	N	22	22	22

En este caso, el tipo de vértices geodésicos es REGENTE y hay 22 puntos. El valor absoluto del error (Abs) tiene una correlación significativa con la pendiente, además el valor de correlación es menor que la elevación.



Tabla 6.3.4-Correlaciones entre el valor absoluto de los residuos, la elevación y pendiente de los vértices geodésicos de ROI de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 si seleccionamos solo los errores mayores de un metro. Donde (*) es la correlación significativa al nivel 0,01.

		Abs	Pendiente	Elevación
Abs	Correlación de Pearson	1	0,551**	0,311**
	Sig. (bilateral)		0,000	0,000
	N	185	185	185
Pendiente	Correlación de Pearson	0,551**	1	0,410**
	Sig. (bilateral)	0,000		0,000
	N	185	185	185
Elevación	Correlación de Pearson	0,311**	0,410**	1
	Sig. (bilateral)	0,000	0,000	
	N	185	185	185

En este caso, el tipo de vértices geodésicos es ROI y hay 185 puntos. El valor absoluto del error (Abs) tiene una correlación significativa con la pendiente, además el valor de correlación es mayor que la elevación y una sigma (bilateral) es nula.



6.4. ANÁLISIS DE ERRORES SEGÚN RESOLUCIONES

6.4.1. MODELOS DIGITALES DEL TERRENO APORTADOS POR EL PRINCIPADO DE ASTURIAS

6.4.1.1-Modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 10 metros

En este caso, hay 241 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno del Principado de Asturias en el Huso 30 después de cambiar el tamaño de pixel a 10 metros, estos resultados son adecuados porque todos los residuos son muy bajos salvo en unos 14 puntos que están entre 5 y 10 metros y un punto que supera este valor. El error máximo se localiza en el concejo de San Martín de Oscos. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (10m), pero estos errores aumentan muy poco.

Tabla 6.4.1.1-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 10 metros.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
1,908	2,074	2,692	12,119

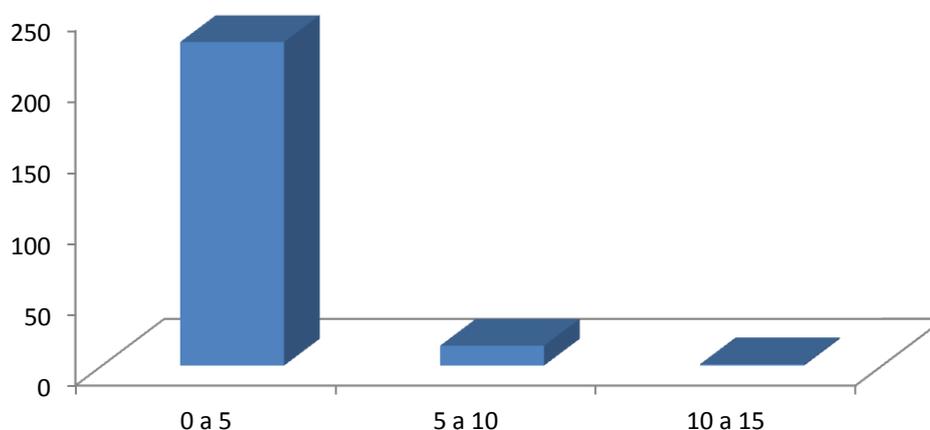


Gráfico 6.4.1.1-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 10 metros.

6.4.1.2-Modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 20 metros

En este caso, hay 241 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno del Principado de Asturias en el Huso 30 después de cambiar el tamaño de pixel a 20 metros, estos resultados también están muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos salvo en los 40 puntos que están entre 5 y 10 metros y 3 puntos que superan este valor. El error máximo se localiza en el concejo de Aller. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (20m), no obstante, estos errores son mayores que los del tamaño de pixel (10m).

Tabla 6.4.1.2-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 20 metros.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
3,177	3,266	3,984	13,782

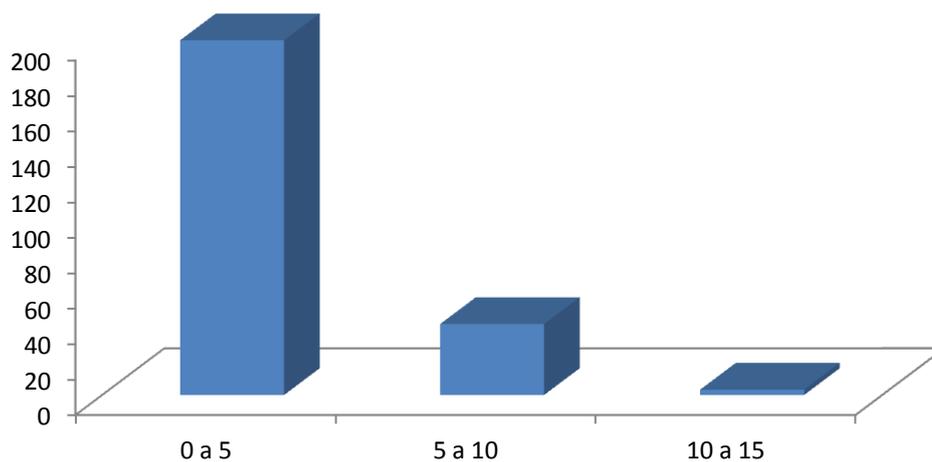


Gráfico 6.4.1.2-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 20 metros.



6.4.1.3-Modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 30 metros

En este caso, hay 241 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno del Principado de Asturias en el Huso 30 después de cambiar el tamaño de pixel a 30 metros, estos resultados se presentan muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos, 66 puntos están ente 5 y 10 metros, 12 puntos están entre 10 y 15 metros y 4 puntos son mayores de 15 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Cabrales. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (30m), no obstante, estos errores son más altos que los del tamaño de pixel (20m).

Tabla 6.4.1.3-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 30 metros.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
4,558	4,656	5,742	23,327

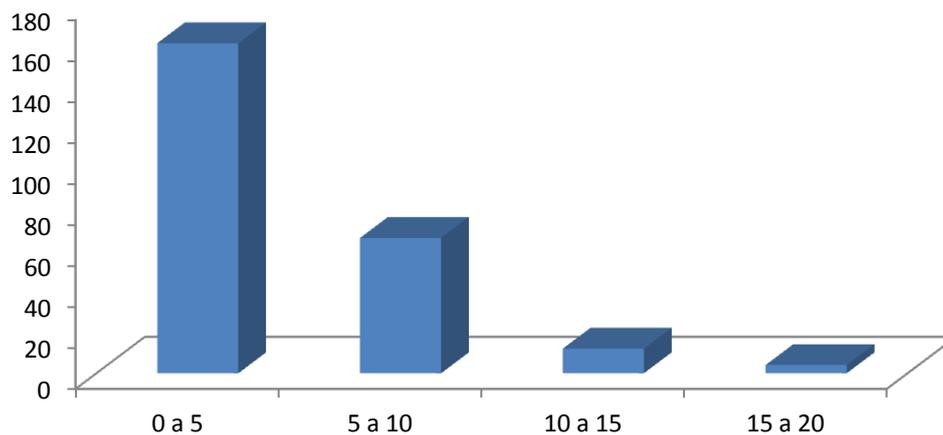


Gráfico 6.4.1.3-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 30 metros.

6.4.1.4-Modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 50 metros

En este caso, hay 241 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno del Principado de Asturias en el Huso 30 después de cambiar el tamaño de pixel a 50 metros, estos resultados se presentan muy adecuados porque todos los residuos presentan los valores muy bajos, 97 puntos están entre 5 y 10 metros, 48 puntos están entre 10 y 15 metros, 13 puntos están entre 15 y 20 metros y 3 puntos están entre 25 y 30 metros. Con residuos mayores hay un punto que está entre los 30 y 35 metros y otro que supera este valor. El error máximo se localiza en el concejo de Cabrales. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (50m), no obstante, estos errores son bastante más altos que los obtenidos con tamaño de pixel (30m).

Tabla 6.4.1.4-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 50 metros.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
7,830	7,848	9,430	35,302

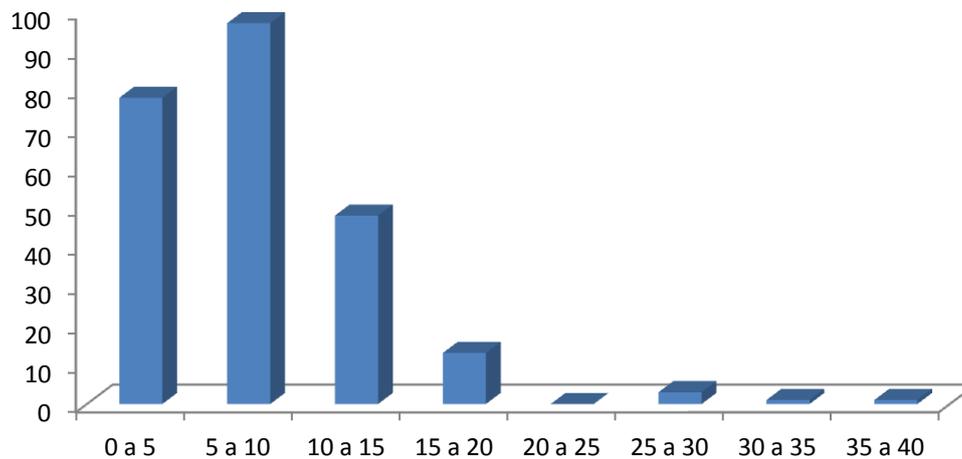


Gráfico 6.4.1.4-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 50 metros.



6.4.1.5-Modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 100 metros

En este caso, hay 241 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno del Principado de Asturias en el Huso 30 después de cambiar el tamaño de pixel a los 100 metros, estos resultados son adecuados porque pocos residuos están debajo de 10 metros salvo en 101 puntos que están entre 10 y 20 metros, 45 puntos que están entre 20 y 30 metros, 11 puntos que están entre 30 y 40 metros, 6 puntos que están entre 40 y 50 metros y 2 puntos que superan este valor. El error máximo se localiza en el concejo de Peñamellera Alta. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan altos respecto a otros casos estudiados pero aceptables para el tamaño de pixel evaluado (100m).

Tabla 6.4.1.5-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 100 metros.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
15,605	15,605	18,413	53,566

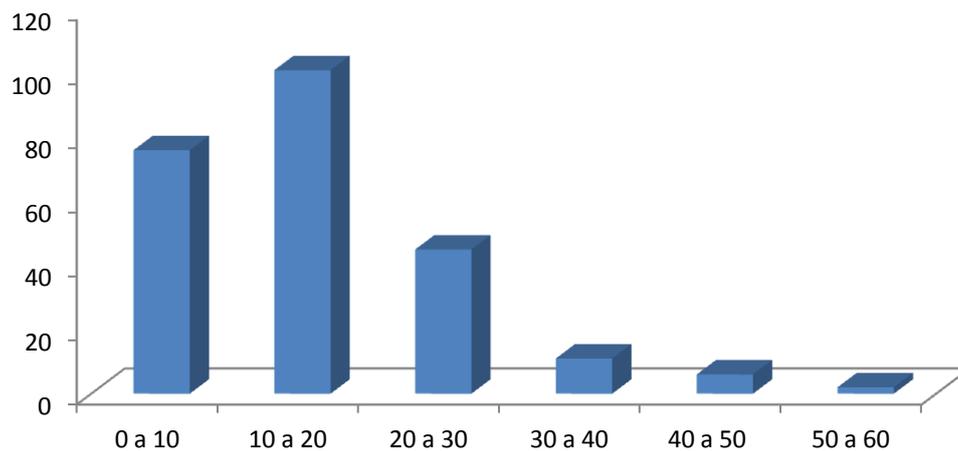


Gráfico 6.4.1.5-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 100 metros.

6.4.1.6-Modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 1000 metros

En este caso, hay 240 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno del Principado de Asturias en el Huso 30 después de cambiar el tamaño de pixel a 1000 metros, estos resultados también son adecuados porque hay residuos que están debajo de 50 metros, 45 puntos están ente 50 y 100 metros, 72 puntos están entre 100 y 150 metros, 48 puntos están entre 150 y 200 metros, 27 puntos están entre 200 y 250 metros, 16 puntos están entre 250 y 300 metros, 5 puntos están entre 300 y 350 metros, un punto están entre los 350 y 400 metros y 2 puntos son mayores de 400 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Proaza. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy altos en términos absolutos pero aceptables para el tamaño de pixel evaluado (1000m). Un punto ha sido eliminado por estar fuera del modelo digital del terreno (Aller).

Tabla 6.4.1.6-Estadísticos de los errores del modelo del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 1000 metros.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
144,635	144,635	164,007	420,919

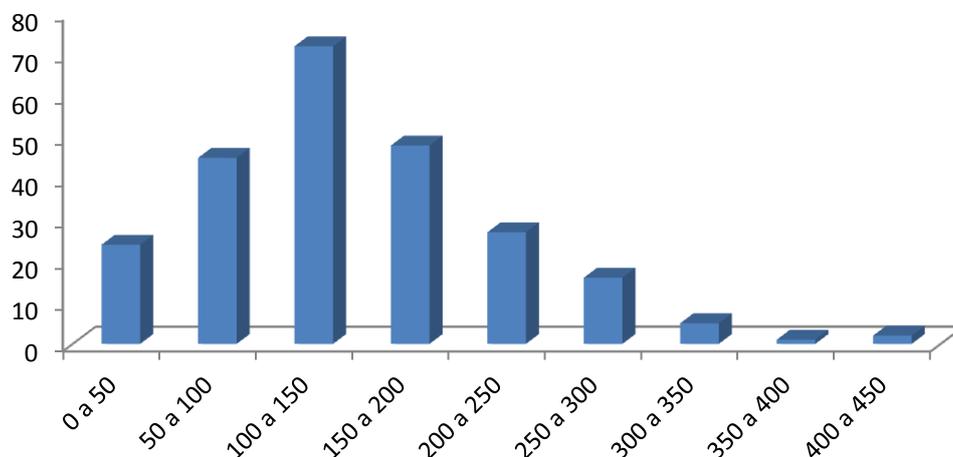


Gráfico 6.4.1.6-Residuos en los vértices geodésicos del Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 para el tamaño de pixel de 1000 metros.



6.4.2. MODELOS DIGITALES DEL TERRENO DESCARGADOS DE LAS PÁGINAS WEB DE CNIG

6.4.2.1-Modelo de la vertiente cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 10 metros

En este caso, hay 272 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la vertiente cantábrica en el Huso 30 después de cambiar el tamaño de pixel a 10 metros, estos resultados son adecuados porque hay residuos que son muy bajos y 26 puntos que están encima de 5 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Llanera. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (10m), pero estos errores aumentan mucho. Dos puntos han sido eliminados por estar fuera del modelo digital de la vertiente Cantábrica (Ibias y Degaña).

Tabla 6.4.2.1-Estadísticos de los errores del modelo de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 10 metros.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
2,628	2,698	3,299	9,991

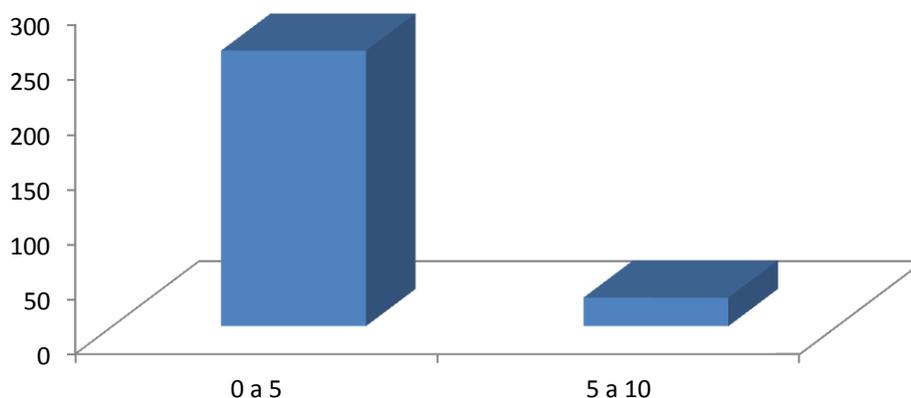


Gráfico 6.4.2.1-Residuos en los vértices geodésicos de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 10 metros.

6.4.2.2-Modelo de la vertiente cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 20 metros

En este caso, hay 273 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la vertiente cantábrica tras cambiar el tamaño de pixel a los 20 metros, estos resultados también están muy adecuados porque todos los residuos son muy bajos salvo en 56 puntos que están entre 5 y 10 metros y 4 puntos que superan este valor. El error máximo se localiza en el concejo de Llanera. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (20m), no obstante, estos errores son mayores que los del tamaño de pixel (10m). Un punto ha sido eliminado por estar fuera del modelo digital de la vertiente Cantábrica (Ibias).

Tabla 6.4.2.2-Estadísticos de los errores del modelo de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 20 metros.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
3,742	3,764	4,354	14,168

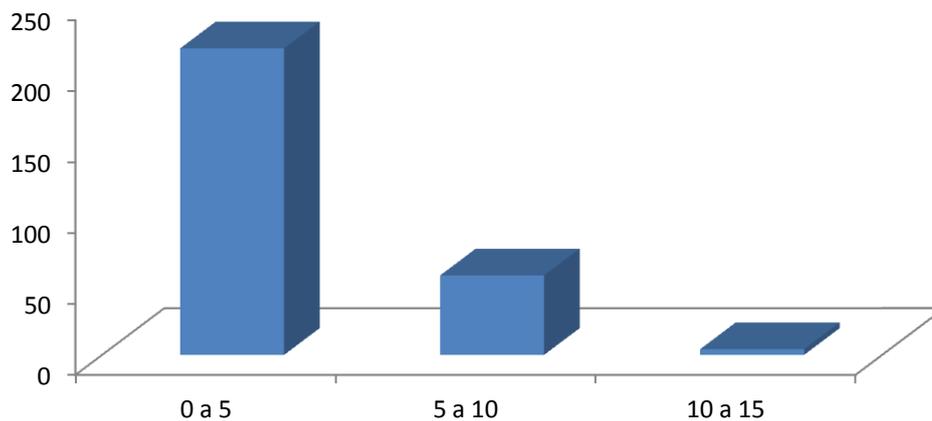


Gráfico 6.4.2.2-Residuos en los vértices geodésicos de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 20 metros.



6.4.2.3-Modelo de la vertiente cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 30 metros

En este caso, hay 273 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la vertiente cantábrica en el Huso 30 tras transformar el tamaño de pixel a 30 metros, estos resultados se presentan adecuados porque todos los residuos son muy bajos salvo en 92 puntos que están entre 5 y 10 metros, 12 puntos que están entre 10 y 15 metros y 3 puntos que son mayores de 15 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Lena. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan bajos, aceptables para el tamaño de pixel evaluado (30m), pero estos errores son más altos que los del tamaño de pixel (20m). Un punto ha sido eliminado por estar fuera del modelo digital de la vertiente Cantábrica (Degaña).

Tabla 6.4.2.3-Estadísticos de los errores del modelo de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 30 metros.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
4,976	4,983	5,840	18,211

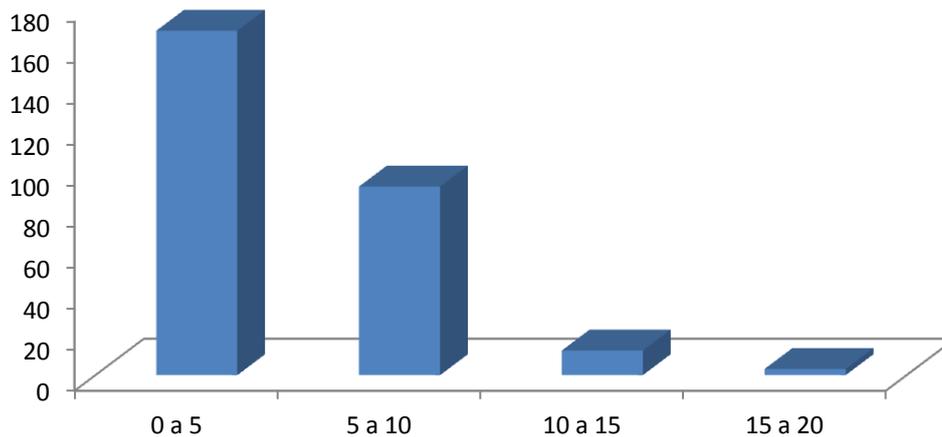


Gráfico 6.4.2.3-Residuos en los vértices geodésicos de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 30 metros.

6.4.2.4-Modelo de la vertiente cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 50 metros

En este caso, hay 273 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la vertiente cantábrica en el Huso 30 tras transformar el tamaño de pixel a 50 metros, estos resultados son adecuados porque todos los residuos presentan valores muy bajos, 128 puntos están entre 5 y 10 metros, 55 puntos están entre 10 y 15 metros, 12 puntos están entre 15 y 20 metros, 3 puntos están entre 20 y 25 metros. Hay 2 puntos que superan 30 metros, valor ligeramente alto. El error máximo se localiza en el concejo de Somiedo. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan aceptables para el tamaño de pixel evaluado (50m), pero estos errores son más altos que los del tamaño de pixel (30m). Un punto ha sido eliminado por estar fuera del modelo digital de la vertiente Cantábrica (Aller).

Tabla 6.4.2.4-Estadísticos de los errores del modelo de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 50 metros.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
8,123	8,123	9,358	32,260

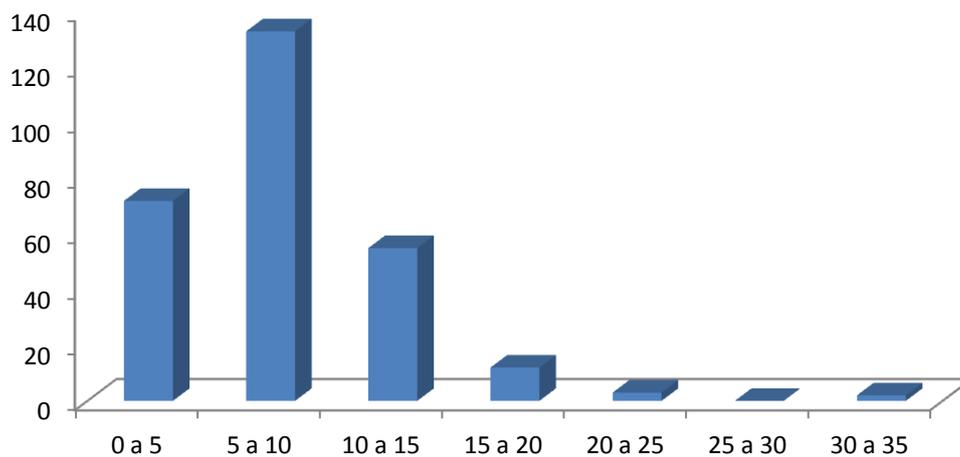


Gráfico 6.4.2.4-Residuos en los vértices geodésicos de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 50 metros.



6.4.2.5-Modelo de la vertiente cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 100 metros

En este caso, hay 271 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la vertiente cantábrica en el Huso 30 tras transformar el tamaño de pixel a 100 metros, estos resultados se presentan adecuados porque hay residuos que están debajo de 10 metros, 113 puntos que están entre 10 y 20 metros, 58 puntos que están entre 20 y 30 metros, 10 puntos que están entre 30 y 40 metros, 8 puntos que están entre 40 y 50 metros, 5 puntos que están entre 50 y 60 metros y 2 puntos que superan este valor. El error máximo se localiza en el concejo de Lena. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan altos respecto a otros casos estudiados pero aceptables para el tamaño de pixel evaluado (100m). Tres puntos han sido eliminados por estar fuera del modelo digital de la vertiente Cantábrica (Lena, Pedrafita do Cebreiro y Somiedo).

Tabla 6.4.2.5-Estadísticos de los errores del modelo de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 100 metros.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
17,397	17,397	20,645	63,881

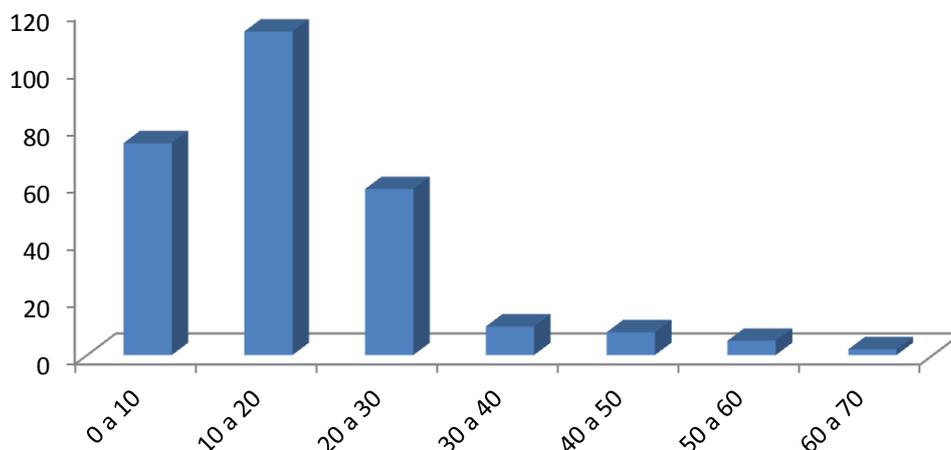


Gráfico 6.4.2.5-Residuos en los vértices geodésicos de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 100 metros.

6.4.2.6-Modelo de la vertiente cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 1000 metros

En este caso, hay 274 puntos calculados sobre un modelo digital del terreno de la vertiente cantábrica en el Huso 30 tras transformar el tamaño de pixel a 1000 metros, estos resultados también son adecuados porque hay residuos que están debajo de los 50 metros, 52 puntos que están ente 50 y 100 metros, 72 puntos que están entre 100 y 150 metros, los 52 puntos que están entre 150 y 200 metros, 30 puntos que están entre 200 y 250 metros, 18 puntos que están entre 250 y 300 metros, 12 puntos que están entre 300 y 350 metros y 4 puntos que son mayores de 350 metros. El error máximo se localiza en el concejo de Proaza. El error medio absoluto y el error medio cuadrático resultan muy altos en términos absolutos pero aceptables para el tamaño de pixel evaluado (1000m).

Tabla 6.4.2.6-Estadísticos de los errores del modelo de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 1000 metros.

Residuos			
Error medio	Error medio absoluto	Error medio cuadrático	Error máximo
145,609	145,627	167,042	382,678

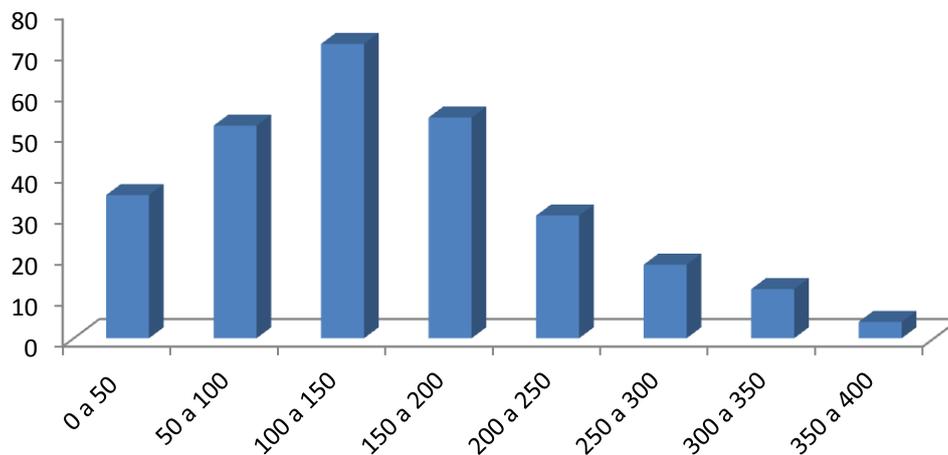


Gráfico 6.4.2.6-Residuos en los vértices geodésicos de la vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 para el tamaño de pixel de 1000 metros.



6.5. COMPARATIVA DE LOS MODELOS

A continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos para evaluar las comparativas de los modelos digitales según los diferentes sistemas de referencia y el tamaño de pixel, y observar los errores estadísticos de cada uno de los modelos.

Datos obtenidos del Principado de Asturias, proyección original en el ED-50:

Modelos digitales	Error medio absoluto	Error medio cuadrático
Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 del ED-50	1,561	2,484
Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 del ED-50	1,594	2,501
Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 29 del ETRS-89	1,618	2,518
Principado de Asturias de la zona occidental en el Huso 30 del ETRS-89	1,641	2,514
Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 del ED-50	2,002	2,659
Principado de Asturias de la zona oriental en el Huso 30 del ETRS-89	2,035	2,678
Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 (5m)	1,777	2,599
Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 (10m)	2,074	2,692
Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 (20m)	3,266	3,984
Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 (30m)	4,656	5,742
Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 (50m)	7,848	9,430
Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 (100m)	15,605	18,413
Principado de Asturias en el Huso 30 del ED-50 (1000m)	144,635	164,007

En el caso del modelo general del Principado de Asturias en ED-50, los errores son muy bajos. Después de obtener todos los resultados estadísticos, según los diferentes sistemas de referencia, el modelo distribuido del Principado de Asturias oriental en el Huso 30 del ETRS-89 resultan los errores mayores que se señalan en rojo. Los errores se elevan ligeramente (3cm para el error medio absoluto y 2cm para el error medio cuadrático) en cuanto se transforma del sistema ED-50 al ETRS-89. Según el tamaño de pixel, los errores aumentan progresivamente para cada tamaño de pixel, según se aprecia en el gráfico (Figura 6.5.1). La correlación es lineal, con un ajuste excepcionalmente bueno, de 0,999. La función de ajuste es polinómica de primer grado y se presenta en el gráfico adjunto.

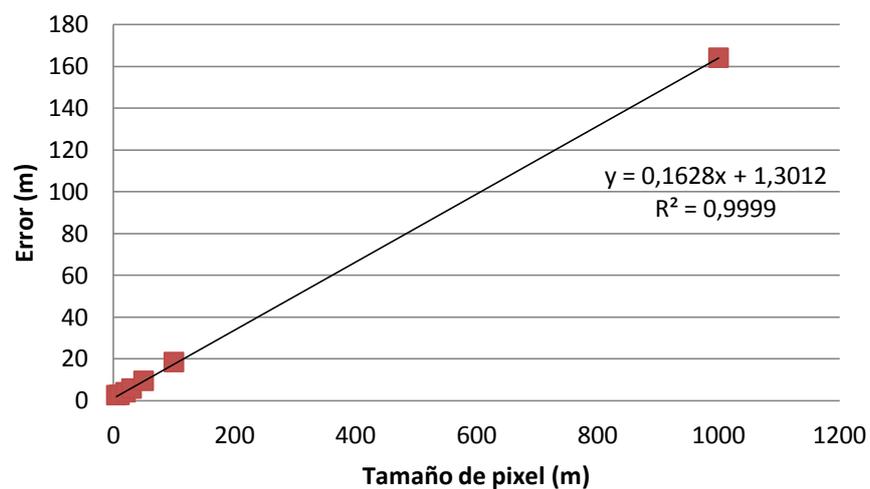


Figura 6.5.1-Relación entre el error (m) y el tamaño de pixel (m) del Principado de Asturias en el Huso 30 ED-50



Datos obtenidos en la página web de Centro Nacional de Información Geográfico (CNIG), proyección original en el ETRS-89:

Modelos digitales	Error medio absoluto	Error medio cuadrático
Zona occidental en el Huso 29 del ETRS-89	2,202	2,820
Zona de las provincias de Lugo y León en el Huso 29 del ETRS-89	2,775	3,623
Zona occidental del Norte en el Huso 30 del ETRS-89	2,247	2,838
Zona occidental del Sur en el Huso 30 del ETRS-89	2,077	2,756
Zona occidental en el Huso 30 del ETRS-89	2,288	2,876
Zona oriental en el Huso 30 del ETRS-89	2,086	2,701
Zona de las provincias de León y Cantabria en el Huso 30 del ETRS-89	1,760	2,227
Zona oriental del Norte en el Huso 30 del ETRS-89	2,916	3,563
Zona oriental del Sur en el Huso 30 del ETRS-89	1,486	1,848
Vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 (5m)	2,274	2,919
Vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 (10m)	2,698	3,299
Vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 (20m)	3,764	4,354
Vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 (30m)	4,983	5,840
Vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 (50m)	8,123	9,358
Vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 (100m)	17,397	20,645
Vertiente Cantábrica en el Huso 30 del ETRS-89 (1000m)	145,627	167,042

Después de obtener todos los resultados estadísticos según los diferentes sistemas de referencia, el error medio absoluto es mayor para el modelo de la zona oriental del Norte porque algunos vértices superan 5 metros. El error medio cuadrático resulta alto para el modelo de la zona de las provincias de Lugo y León. La zona occidental en el Huso 29 del ETRS-89 los errores resultan muy bajos, no obstante, cuando se proyecta al Huso 30 los errores aumentan un poco (8cm para el error medio absoluta y 5cm para el error medio cuadrático).

Según el tamaño de pixel, los errores estadísticos aumentan mucho para cada tamaño de pixel, según se muestra en el gráfico (Figura 6.5.2). La correlación, al igual que el caso anterior, es de tipo lineal con un R^2 de 0,999.

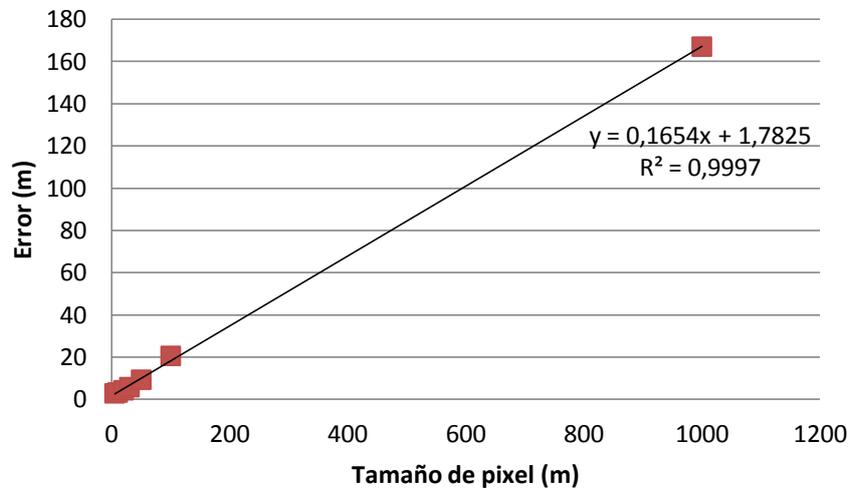
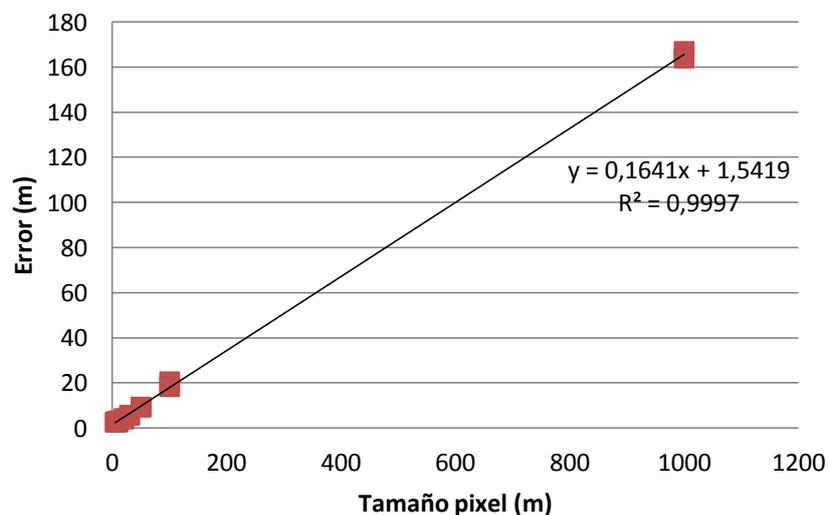


Figura 6.5.2-Relación entre el error (m) y el tamaño de pixel (m) de la vertiente cantábrica en el Huso 30 ETRS-89

Las funciones de ajuste son ligeramente diferentes según la procedencia de los resultados (modelos en ED 50 o ETRS-89). Si se consideran todos los datos conjuntamente, lógicamente la correlación es de tipo lineal y con un R^2 igual a los obtenidos en los casos anteriores. La figura muestra la correlación; en base a esto se podría predecir los errores para tamaños de pixel mayores, independientemente del sistema de referencia utilizado.





7. CONCLUSIONES

Tras la realización de los análisis de los errores para todos los modelos digitales distribuidos oficialmente del territorio asturiano y zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria en dos sistemas de referencia distintos, a saber, ED-50 y ETRS-89 se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Todos los modelos presentan unos errores muy bajos, con un error medio cuadrático inferior en todos los casos a 3 metros, adecuado para el tamaño de pixel de los modelos (5m). la mayor parte de los residuos se sitúan por debajo de los 5 metros. Algunos residuos son mayores de 5 metros, debido probablemente a la pendiente del terreno donde se ubica el punto de control. En el caso de los modelos distribuidos del Principado de Asturias en el ED-50, se han obtenidos los errores más bajos que los provenientes del IGN y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria en el ETRS-89.
- No parece necesario utilizar otros puntos de control muy precisos, tales como puntos de la red de nivelación REDNAP, debido a que estos se sitúan en lugares susceptibles de producir grandes errores: fachadas, azoteas de edificios, bordes de carreteras, etc. demás el nivel de precisión de estos puntos no cambiaría los resultados finales.
- Se ha comprobado los errores en las zonas próximas a la costa y en las zonas interiores. Del análisis se puede concluir que no existe una diferenciación en cuanto a los errores de los modelos según que las zonas sean más montañosas o menos.
- Cuando se realiza el cambio del Huso se produce el error final es ligeramente superior al original, que no difiere más de 2 o 3 cm, tanto si se trabaja en ED 50 como si se trabaja en ETRS-89.
- Cuando se realiza el cambio del Sistema de Referencia, de ED-50 a ETRS-89, también se produce un error muy pequeño, nunca superior a 3 cm.
- Cuando se cambia de resolución se produce un incremento del error final del modelo. Se ha observado que existe una correlación muy buena entre el error final y el tamaño de pixel que se ajusta a una función polinómica de primer grado. Se ha calculado esta función tanto para el modelo en ED-50 como para el modelo en ETRS-89 y para todos los datos conjuntamente. En este último caso la función ha sido:

$$\varepsilon = 0,1641 \cdot R + 1,5419$$

Siendo ε el error esperado y R el tamaño de pixel (resolución).



- En el análisis global de error, los coeficientes de correlación con la pendiente están muy adecuados porque están entre -1 y 1, para ambos tipos de red de los modelos distribuidos del Principado de Asturias en el ED-50 y los descargados del Principado de Asturias y las zonas limítrofes de las provincias de Lugo, León y Cantabria en el ETRS-89.



8. BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTACIÓN

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- **Aracil, J.** (1986): *Máquinas, sistemas y modelos. Un ensayo sobre sistémica*. Tecnos, 282 pág. Madrid.
- **Doyle, F.J.** (1978): "Digital terrain models: an overview". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44(12): 1481-1485.
- **Felicísimo, A.M.** (1992): *Aplicaciones de los modelos digitales del terreno en las ciencias ambientales*. Tesis Doctoral, 235 pág. Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio (INDUROT), Universidad de Oviedo.
- **García Asensio, L.; Lumbreras Crespo, J. Javier** (1992): "El modelo digital del terreno MDT05 del Instituto Geográfico Nacional: descripción general y resultados". *Mapping*, 1(3): 38-42.
- **Hannah, M.J.** (1981): "Error detection and correction in Digital Terrain Models". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47(1): 63-69
- **Joly, F.** (1988): *La cartografía*. Oikos-Tau. Barcelona.
- **Keefer, B.J.; Smith, J.L.; Gregoire, T.G.** (1988): "Simulating manual digitizing error with statistical models". *GIS/LIS '88 Proceedings*, vol. 1: 475-483. San Antonio.
- **Lanter, D.P.; Veregin, H.** (1990): "A lineage meta-database program for propagating error in geographic information systems". *GIS/LIS '90 Proceedings*: 144-153.
- **Merchant, D.C.** (1987): "Spatial accuracy specification for large scale topographic maps". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(7): 958-961
- **Miller, C.L.; Laflamme, R.A.** (1958): "The digital terrain model theory and application". *Photogrammetric Engineering*, 24(3): 433-442.
- **Popper, Karl R.** (1984): *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica. Vol. II. El universo abierto. Un argumento a favor del indeterminismo*. Tecnos, 208 pág. Madrid.
- **Veregin, H.** (1989a): *A taxonomy of error in spatial databases*. NCGIA, National Center for Geographic Information and Analysis. Technical Paper 89-12, 115 p.
- **Veregin, H.** (1989b): "A review of error models for vector to raster conversion". *The Operational Geographer*, 7(1): 11-15.
- **Walton, Desmond J.** (1989): "Contour map partitioning for computer processing". *Computing in Civil Engineering Proceedings*: 691-698. Sixth Conference, TCCP/ASCE. Atlanta, Georgia.



FUENTES ELECTRONICAS:

- REAL DECRETO 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España.
- Tutorial de ArcGIS Desktop 9.3:
 - <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=welcome>

MANUALES:

- Antecedentes y situación actual de los sistemas geodésicos en España. Introducción a la Geografía física.
- Harlan Onsrud. Introducción a los SIG. Consulta y Edición con ArcGIS. Research and Theory in Advancing SDI Concepts., Editor - ESRI Press 2007. Redlands, California, USA. Publicado en E.E.U.U en 2007



ANEXOS

1. INFORMACIÓN DE LOS VÉRTICES GEODÉSICOS DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS Y LAS ZONAS LIMITROFES DE LAS PROVINCIAS DE LUGO, LEÓN Y CANTABRIA EN ETRS-89

1.1. REGENTE

NOMBRE	CONCEJO	X	Y	COTA	HUSO
COTO	A FONSA GRADA	663954,468	4772919,521	898,124	29
PEDREDO	CERVANTES	660613,364	4750881,965	900,374	29
CARBALLEDA	PEDRAFITA DO CEBREIRO	655263,904	4733964,909	1386,016	29
VALONGO	ALLANDE	677487,030	4790530,803	1081,894	29
RENORIOS	ALLER	285060,778	4778823,259	1333,516	30
PEÑA DEL CUERVO	CANGAS DE NARCEA	698011,268	4773831,700	1308,154	29
ACEBO	CANGAS DE NARCEA	703652,104	4781577,518	1205,101	29
CANALÓN	CANGAS DE NARCEA	709654,277	4792374,180	929,639	29
OBESÓN	CABRALES	359600,561	4790832,123	1448,465	30
TRAPA	CASO	305107,266	4789034,034	1134,742	30
SABLE	CASTRILLON	739651,506	4829845,627	117,570	29
CASTELO	CASTROPOOL	666166,595	4811168,915	641,271	29
TORRES	GIJON	281530,217	4827458,527	123,172	30
BORRALLO	GRADO	730673,371	4797258,958	751,085	29
CUE	LLANES	361149,524	4807719,668	136,619	30
PICO POLIO	MIERES	279297,720	4790083,873	1050,545	30
SIENRA	NAVIA	686233,626	4825156,570	70,458	29
NANI CARDOSAS	ONIS	343339,547	4799513,962	586,970	30
PAISANO	OVIEDO	268045,461	4807532,986	636,297	30
FARIO	PILOÑA	308237,416	4803630,780	557,063	30
RASO	PONGA	326309,353	4781044,174	1612,611	30
BILDEO	QUIROS	263835,211	4780569,689	1241,552	30
FARO	RIBADESELLA	331547,963	4815465,712	108,860	30
REBOLLÍN	SALAS	719456,566	4809723,923	814,525	29
MARON	SAN MARTIN DE LOS OSCOS	664996,586	4790970,686	896,573	29
ULLAGA	SIERO	284018,929	4806247,066	357,247	30
MUSQUEIROS	VALDES	710339,911	4826159,420	71,769	29
TAZONES	VILLAVICIOSA	305611,578	4824344,801	134,307	30
SERRAPIO	VILLAYON	685343,435	4803794,424	990,503	29
PICO JANO	VEGA DE LLÉBANA	361706,176	4775254,367	1446,020	30



1.2. RED ORDEN INTERNO (ROI)

NOMBRE	CONCEJO	X	Y	COTA	HUSO
SAN FERNANDO	TRABADA	650623,082	4814130,082	507,977	29
OUVIAÑA	A FONSAGRADA	648239,189	4785734,767	897,724	29
CRUZ DE BARREIROS	A FONSAGRADA	651822,157	4791899,864	899,002	29
COTO DE FRADES	A FONSAGRADA	654971,221	4795356,945	959,756	29
SAN CIBRÁN	A FONSAGRADA	659337,617	4786362,978	909,116	29
LAGÚA SECA	A FONSAGRADA	651562,016	4774302,922	1107,155	29
ARADELA	A FONSAGRADA	653587,249	4768766,990	808,585	29
CRUZ DO PITO	A FONSAGRADA	654143,426	4781001,983	848,098	29
A FONSAGRADA	A FONSAGRADA	657109,272	4776456,779	978,448	29
PEDRAS APAÑALADAS	A FONSAGRADA	666140,139	4778331,099	1202,140	29
LOURIÑA	NAVIA DA SUARNA	661853,636	4766072,317	912,289	29
TEIXUEIRAS	AS NOGAIS	655694,686	4744245,742	979,561	29
RESTELO	NAVIA DA SUARNA	655616,410	4761248,170	1012,781	29
O SEIXO	NAVIA DA SUARNA	661419,956	4760223,389	767,996	29
MURIAS	NAVIA DA SUARNA	666093,968	4753589,743	1026,717	29
PENA DO SANTO	CERVANTES	667542,664	4745261,683	1402,250	29
TESÓN	NAVIA DA SUARNA	671909,367	4752115,099	1379,235	29
PENA DE TUÑA	NAVIA DA SUARNA	672755,980	4762027,924	1181,108	29
FIGUEIRO	AS NOGAIS	651527,498	4738753,399	1071,388	29
A AREA	PEDRAFITA DO CEBREIRO	659720,962	4729674,514	1394,269	29
CHAO PIERA	AS NOGAIS	661484,225	4737703,268	1250,310	29
BUÑO	ALLANDE	695353,718	4795053,793	898,410	29
PANCHÓN	ALLANDE	689894,915	4793391,042	1410,362	29
ALTO DE LA TEJERA	ALLER	286804,813	4775465,803	1556,403	30
CERRA	ALLER	274125,375	4780317,985	1295,205	30
CUETO MOROS	ALLER	278287,179	4782139,899	712,034	30
LAGUNA	ALLER	289753,669	4767607,647	1962,406	30
LLAMAS	ALLER	292413,056	4774476,899	1425,766	30
PEÑA CUAÑA	ALLER	284825,508	4770418,885	2027,680	30
PICO BOYA	ALLER	280049,307	4774511,622	1728,314	30
PICO CUETO	ALLER	292546,600	4773775,564	1550,737	30
PICO DE PEDRO GARCIA	ALLER	276802,005	4776984,480	1541,072	30
PICO RANERO	ALLER	273039,162	4782690,271	1096,440	30
TORRES	ALLER	303929,154	4772325,541	2099,988	30
PRINIELLO	AMIEVA	332333,359	4791308,141	1229,266	30
VALDEPINO	AMIEVA	333239,012	4784736,025	1744,611	30
MIRANDA	AVILES	262120,208	4824720,208	142,534	30
COURIO	BELMONTE DE MIRANDA	724094,961	4802434,809	1019,046	29



MANTECA	BELMONTE DE MIRANDA	718792,692	4790529,827	1521,454	29
MATACALEAO	BELMONTE DE MIRANDA	727452,838	4795609,080	927,393	29
PEDRORIO	BELMONTE DE MIRANDA	731606,885	4803555,716	787,164	29
PORCABEZA	BELMONTE DE MIRANDA	727054,535	4790355,963	1210,545	29
CARRUGUEIRO	BOAL	673688,553	4808733,219	950,732	29
PENACAROS	BOAL	678803,600	4809612,547	732,425	29
PENOUTA	BOAL	676157,657	4813715,305	900,470	29
PICO ALTO	BOAL	676761,087	4815096,258	833,707	29
VIRTUDES	BOAL	671769,989	4813454,210	603,705	29
XUGOS	BOAL	678839,659	4814006,323	809,061	29
CABEZA UBENA	CABRALES	349575,233	4802276,669	1186,781	30
CABEZO LLOROSO	CABRALES	346359,571	4792415,869	1794,527	30
CUMBRE DE MAÍN	CABRALES	354651,734	4789370,660	1611,327	30
TORRECERREDO	CABRALES	349459,376	4784442,577	2649,227	30
ALIÑO	CABRANES	301591,476	4808695,383	549,852	30
INCOS	CABRANES	306862,050	4807039,291	581,907	30
PEÑA CABRERA	CABRANES	304666,965	4812101,976	494,719	30
DEGOLLADA	CANDAMO	742244,219	4815369,599	623,987	29
MATIELLA	CANDAMO	740154,030	4818371,879	578,971	29
SOLLERA	CANDAMO	733952,291	4811677,216	601,578	29
CRUZ DE PRIENA	CANGAS DE ONÍS	333999,016	4797906,222	725,070	30
FAES	CANGAS DE ONÍS	324930,795	4806000,753	403,966	30
PICO BRICIAL	CANGAS DE ONÍS	338722,192	4792521,731	1283,547	30
CANIELLAS	CANGAS DE NARCEA	700032,468	4763544,133	1920,851	29
CAZARNOSA	CANGAS DE NARCEA	688134,591	4784577,030	1384,782	29
CERVERO	CANGAS DE NARCEA	686204,103	4778917,794	1474,843	29
CUETO ARBAS	CANGAS DE NARCEA	708932,595	4763226,933	2001,781	29
LATRENE	CANGAS DE NARCEA	696243,283	4782020,864	1036,662	29
ORRUA	CANGAS DE NARCEA	684755,606	4783928,027	1368,782	29
PEÑA VENTANA	CANGAS DE NARCEA	692123,498	4772631,404	1372,989	29
RABO DE ASNO	CANGAS DE NARCEA	711435,642	4774918,309	1888,798	29
SANTA ANA	CANGAS DE NARCEA	699650,001	4787804,902	800,409	29
GOBIA	CARAVIA	324484,490	4813693,521	537,377	30
AREO	CARREÑO	275409,960	4823189,504	264,581	30
FORCAS	CARREÑO	276399,812	4829125,273	115,867	30
LAVERDE	CASO	308798,331	4778630,648	1707,909	30
TIATORDOS	CASO	319514,180	4782567,890	1950,426	30
PRADO DEL MARQUÉS	CASTRILLÓN	740860,386	4822074,728	437,799	29
POUSADOIRO	CASTROPOL	665183,423	4815652,094	643,650	29
SAN MARCOS	CASTROPOL	661308,091	4819199,872	229,053	29
ABARA	COAÑA	678761,912	4821129,202	450,562	29



CARBAYOSA	COAÑA	680976,070	4822205,358	365,900	29
VIDROSA	COAÑA	677939,840	4818062,255	641,617	29
CUETO ARGÜERI	COLUNGA	314242,889	4813484,227	410,816	30
DEPÓSITO	COLUNGA	315181,177	4820692,372	184,040	30
PRIETO	CORVERA DE ASTURIÁS	265901,675	4820596,185	366,069	30
CAVONA	CUDILLERO	726635,686	4828952,107	97,152	29
CUETO	CUDILLERO	721063,687	4820758,499	785,723	29
VIDIO	CUDILLERO	722748,809	4829796,247	91,586	29
MOSQUEIRO	DEGAÑA	696773,851	4754389,516	1753,435	29
ATALAYA	FRANCO	672222,985	4826188,314	38,399	29
MESNEIRAS	FRANCO	674124,576	4816246,002	471,093	29
MONTERRONDO	FRANCO	672828,022	4821380,047	276,968	29
LOS LLANOS	GIJON	278202,608	4817023,913	278,606	30
PROVIDENCIA	GIJON	288533,842	4825677,716	89,565	30
SAN MARTÍN	GIJON	284341,555	4814881,850	518,262	30
BUSCÓN	GOZÓN	263262,554	4831096,086	74,757	30
LA GRANDA	GOZÓN	269619,891	4836937,746	110,510	30
PEÑAS	GOZÓN	270143,547	4837465,564	103,148	30
TABLADAS	GOZÓN	267186,719	4828851,035	155,401	30
COGOLLA	GRADO	736628,751	4801990,493	593,787	29
GUILEIRO	GRADO	740115,324	4806353,108	368,525	29
BORNELA	GRANDAS DE SALIME	671581,151	4787819,783	748,030	29
BUSPOL	GRANDAS DE SALIME	677541,703	4787410,935	1120,279	29
CANDANOSA	IBIAS	683893,271	4763845,839	1676,120	29
CHAO DEL ROZO	IBIAS	680054,688	4771264,915	1427,595	29
CUIAS	IBIAS	669932,388	4770767,586	939,708	29
TESO MULAR	IBIAS	691273,756	4755051,822	1883,330	29
GARGALOIS	ILLANO	679812,207	4801019,431	1165,288	29
GOUÑO	ILLANO	671000,863	4800121,581	1030,663	29
CUETRA	LANGREO	281794,466	4792113,845	811,726	30
EL RONDIZ	LANGREO	284086,128	4793894,704	733,453	30
LA RINA	LANGREO	287948,786	4799902,683	691,860	30
LA XUNGLA	LANGREO	285159,341	4797762,790	636,502	30
OTONES	LANGREO	280785,928	4794591,759	678,632	30
PICAJO	LANGREO	275010,017	4797432,392	713,276	30
POZOBAL	LANGREO	281328,825	4795539,441	560,672	30
LA REBOLLADA	LAVIANA	295534,489	4793899,024	968,333	30
PEÑA MEA	LAVIANA	291834,764	4783455,338	1557,337	30
TRIGUEIRO	LAVIANA	297140,164	4794598,773	1293,012	30
BRAÑAVALERA	LENA	267210,888	4777546,233	1482,703	30
CAMPUSAS	LENA	269580,275	4786393,831	887,840	30
CELLÓN	LENA	276997,607	4766873,026	2028,951	30
CORULLO	LENA	272267,051	4771894,772	1316,792	30
CUETO RAMÓN	LENA	274307,642	4785026,792	693,054	30



TESA	LENA	267131,056	4765206,379	1898,279	30
GORFOLI	LLANERA	262060,397	4819592,818	622,827	30
PEÑA MENENDE	LLANERA	264998,205	4815907,208	481,958	30
SANTO FIRME	LLANERA	270121,199	4815096,418	438,189	30
BORBOLLA	LLANES	369514,208	4805106,767	220,626	30
CAÑÓN	LLANES	376597,637	4804941,476	202,248	30
CASTILLO	LLANES	350584,300	4811680,581	108,421	30
HIBEO	LLANES	341474,585	4803322,330	872,227	30
LLABRES	LLANES	349287,818	4806808,486	688,975	30
RONCIELLO	LLANES	342297,692	4812450,894	120,697	30
BUSTIELLO	MIERES	277078,027	4785770,755	889,354	30
EL CARBONO	MIERES	280797,169	4789129,835	859,749	30
FAXACOS	MIERES	278377,457	4794943,268	655,039	30
LA BERRUGA	MIERES	277117,611	4788684,506	599,166	30
LA REVOLTONA	MIERES	286555,296	4787506,760	1086,495	30
LAS CRUCES	MIERES	284372,822	4789670,734	954,156	30
LUSORIO	MIERES	269185,780	4791145,171	997,372	30
NAVALIEGO	MIERES	282591,921	4785462,710	1104,938	30
PANDOTO	MIERES	279113,393	4785496,530	1064,087	30
PICO BOA	MIERES	273457,629	4795659,999	658,040	30
ROILES	MIERES	272598,227	4792269,147	695,071	30
TRES CONCEJOS	MIERES	286489,177	4788678,892	1095,562	30
CADAVAL	MORCÍN	262787,339	4797624,571	569,642	30
GAMONAL	MORCÍN	260596,189	4790444,564	1709,993	30
MONSACRO	MORCÍN	264982,918	4793747,394	1054,056	30
BIERCES	NAVA	302545,289	4801012,836	769,069	30
VARALLONGA	NAVA	297696,913	4799705,112	864,858	30
SALGUEIRO	NAVIA	691749,189	4826472,839	54,600	29
BASE SUR	NORÉÑA	280774,356	4809195,329	229,880	30
ARNEA	OVIEDO	269802,086	4799215,383	443,800	30
GORTAYO	OVIEDO	260935,934	4803596,679	332,708	30
GRANDOTA	OVIEDO	274217,010	4802744,838	507,918	30
LLOE	OVIEDO	742682,398	4802658,373	482,643	29
COGOLLA	PARRES	323524,489	4798272,969	836,959	30
PERULLALINA	PARRES	328590,380	4810692,589	494,593	30
SUEVE	PARRES	318526,727	4811213,345	1160,279	30
FORCAO DEL CUERNO	PEÑAMELLERA ALTA	357509,922	4796601,811	973,101	30
LIÑO	PEÑAMELLERA ALTA	361523,789	4801614,248	1177,315	30
TURBINA	PEÑAMELLERA ALTA	356554,342	4801675,742	1316,927	30
VIGUERAS	PEÑAMELLERA ALTA	362648,335	4793631,977	1319,671	30
JANA	PEÑAMELLERA BAJA	372901,969	4799830,283	606,559	30
ROBLOSA	PILOÑA	306707,958	4797114,210	822,320	30
SOPIEDRA	PILOÑA	310698,760	4797745,472	934,127	30
TORRE	PILOÑA	314492,967	4798800,466	816,162	30



VIZCARES	PILOÑA	313396,765	4792913,113	1420,535	30
PIERZO	PONGA	325036,922	4788808,922	1552,179	30
PEÑONA	PRAVIA	731092,155	4822792,303	495,859	29
CUETO MAR	PROAZA	742004,510	4789350,762	1193,127	29
GAMONITEIRO	QUIRÓS	262476,212	4785772,147	1790,794	30
PEÑA RUEDA	QUIRÓS	260657,484	4772769,462	2151,399	30
SALERAS	QUIRÓS	742196,581	4778341,022	1777,913	29
LA CUESTA	LAS REGUERAS	259119,104	4810822,713	277,579	30
BAUA	RIBADESELLA	338371,997	4810151,740	565,644	30
MOFRECHO	RIBADESELLA	334721,224	4808097,474	899,603	30
TRAPA	RIOSA	264727,615	4789969,031	677,170	30
VIA LLANA	RIOSA	263739,889	4792114,850	707,132	30
AGUIÓN	SALAS	718252,277	4815700,916	926,554	29
MONXAGRE	SALAS	727761,547	4813639,165	661,259	29
PENAS DE BODEIRUA	SAN MARTÍN DE OSCOS	669957,189	4792153,225	727,725	29
EMBERNAL	SAN MARTÍN DEL REY AURELIO	285666,498	4792438,498	882,001	30
PICO AL PEÓN	SAN MARTÍN DEL REY AURELIO	290291,223	4796757,444	735,779	30
PICO DE LA VARA	SAN MARTÍN DEL REY AURELIO	289269,115	4790425,485	947,158	30
PLANTÓN	SANTO ADRIANO	742959,366	4797906,415	751,007	29
CADAVAL	SIERO	280442,248	4803043,512	512,575	30
CASTIELLO	SIERO	287327,402	4805139,775	461,067	30
CEA CAL	SIERO	287620,513	4800234,283	655,916	30
CIMA	SIERO	290205,039	4812336,792	736,360	30
CORRIPOS	SIERO	284778,591	4801979,754	457,982	30
COTORBÁN	SIERO	278246,046	4807658,565	228,816	30
CUCUREZA	SIERO	278339,932	4812757,666	300,082	30
LLOSONA	SIERO	289340,586	4803210,282	598,075	30
PEÑA	SIERO	284062,788	4810596,794	428,875	30
ARGANOSA	SOBRESOBIO	298052,344	4787999,344	1144,532	30
PEÑA ARGALLO	SOBRESOBIO	302248,279	4784548,886	1391,094	30
RETRIÑÓN	SOBRESOBIO	299619,021	4778664,048	1862,195	30
CORNÓN	SOMIEDO	719449,174	4767498,002	2187,611	29
MOCOSO	SOMIEDO	721339,900	4771500,931	1988,833	29
MONEGRO	SOMIEDO	725412,268	4784739,879	1482,300	29
MUÑÓN	SOMIEDO	736516,490	4772580,792	2036,284	29
PEÑA MICHÓ	SOMIEDO	727891,425	4777557,911	1765,137	29
RUBIO	SOMIEDO	719678,530	4780381,248	1392,178	29
PICO FARO	TAPIA DE CASARIEGO	669455,679	4821497,948	253,816	29
TAPIA	TAPIA DE CASARIEGO	665844,407	4826659,511	26,574	29
DAVIELLA	TARAMUNDI	651917,427	4799685,513	633,984	29
GUIAR	TARAMUNDI	656256,289	4809437,844	549,912	29
LEIRAS	TARAMUNDI	659015,870	4806242,766	877,817	29



XUNQUEIRA	TARAMUNDI	652778,370	4805859,185	662,447	29
REDONDO	TEVERGA	729610,247	4786359,116	1413,754	29
SIELLA	TEVERGA	738359,748	4783006,219	1514,130	29
VAGINAS	TEVERGA	733831,770	4778859,119	1510,833	29
BRAÑUGAS	TINEO	708062,929	4802034,328	1015,996	29
CERRA	TINEO	696980,509	4806786,641	755,457	29
CIERVA	TINEO	699686,481	4798651,732	688,107	29
GALLO	TINEO	711463,238	4808392,231	1010,924	29
MIRANDA	TINEO	713702,523	4798860,920	759,523	29
MULLEIROSO	TINEO	691920,299	4801717,331	1252,314	29
PEÑA CALABRE	TINEO	691036,080	4809699,620	997,135	29
SERMELLÓN	TINEO	704449,213	4796184,724	648,887	29
BUSTO	VALDES	704323,946	4827182,932	63,546	29
ESPINA	VALDES	706079,080	4812740,408	792,474	29
ESTOUPO	VALDES	697518,429	4814789,320	848,256	29
HORRÉO	VALDES	702430,284	4818752,271	664,377	29
LAUZ	VALDES	710486,203	4813907,993	567,855	29
PALANCAS	VALDES	714230,216	4822076,749	715,415	29
PANONDRES	VALDES	690546,998	4817386,358	842,812	29
PICO QUEMADO	VALDES	694055,450	4821713,741	471,162	29
BOBIA	VILLANUEVA DE OSCOS	666353,263	4804861,604	1196,826	29
MURIAS	VILLANUEVA DE OSCOS	664577,867	4799169,061	1022,498	29
OUROSO	VILLANUEVA DE OSCOS	659708,886	4800494,514	1031,750	29
CUAL MAYOR	VILLAVICIOSA	310085,337	4818247,616	324,353	30
CURIELLA	VILLAVICIOSA	297123,728	4817216,979	534,458	30
LLOSES	VILLAVICIOSA	298260,958	4812254,681	453,505	30
LOS LLANOS	VILLAVICIOSA	309314,697	4812762,637	439,744	30
PELAPOTROS	VILLAVICIOSA	301112,035	4819672,322	410,398	30
PEÑA RUBIA	VILLAVICIOSA	296980,207	4824494,726	145,905	30
PICO	VILLAVICIOSA	295203,972	4811087,412	606,440	30
SOLARES	VILLAVICIOSA	305457,148	4815841,524	366,480	30
TANDIÓN	VILLAVICIOSA	307783,578	4811822,069	500,162	30
TRAS LA GRANDA	VILLAVICIOSA	303053,003	4824587,345	132,677	30
CARONDIO	VILLAYON	682388,417	4798837,400	1221,622	29
CALDOVEIRO	YERMES Y TAMEZA	734196,890	4790970,038	1353,762	29
LORAL	YERMES Y TAMEZA	736327,113	4794256,240	1247,159	29
PEÑA PRIETA	CAMALEÑO	359042,583	4764914,756	2538,762	30
MEDIAJO	VEGA DE LLÉBANA	369470,670	4775898,473	997,818	30
PEÑA PORRERA	PESAGUERO	375589,793	4772347,439	1264,884	30
PEÑA LABRA	HERMANIDAD DE CAMPOO DE SUSO	383353,482	4766871,017	2028,270	30
NIAJO	OSEJA DE SAJAMBRE	330905,516	4777518,300	1743,153	30
GILDAR	POSADA DE VALDEÓN	341242,014	4773531,949	2078,019	30
PEÑA SANTA	POSADA DE VALDEÓN	340588,064	4785110,262	2596,031	30
LLAMBRIÓN	POSADA DE VALDEÓN	349063,206	4781730,247	2646,709	30



CORTÉS	CAMALEÑO	358313,070	4782769,800	2370,955	30
SAN CARLOS	CILLORIGO DE LLÉBANA	361913,374	4784245,670	2211,072	30
CUETO DE LA JONTANIELLA	CILLORIGO DE LLÉBANA	369125,736	4787566,682	1351,313	30
GAMONAL	PEÑARRUBIA	373751,533	4791855,486	1227,345	30



2. INFORMACIÓN DE LOS VÉRTICES GEODÉSICOS DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS EN ED-50

2.1. REGENTE

NOMBRE	CONCEJO	X	Y	COTA	HUSO
VALONGO	ALLANDE	677610,920	4790744,090	1081,894	29
RENORIOS	ALLER	285169,620	4779028,320	1333,516	30
OBESÓN	CARREÑO	359708,110	4791037,400	1448,465	30
ACEBO	CANGAS DE NARCEA	703775,760	4781791,220	1205,101	29
CANALÓN	CANGAS DE NARCEA	709777,580	4792587,610	929,639	29
PEÑA DEL CUERVO	CANGAS DE NARCEA	698134,910	4774045,370	1308,154	29
TRAPA	CASO	305215,860	4789239,060	1134,742	30
SABLE	CASTRILLON	739774,570	4830058,270	117,570	29
CASTELO	CASTROPOL	666291,040	4811382,100	641,271	29
TORRES	GIJON	281639,080	4827662,970	123,172	30
BORRALLO	GRADO	730796,530	4797472,180	751,085	29
CUE	LLANES	361256,940	4807924,750	136,619	30
PICO POLIO	MIERES	279406,620	4790288,760	1050,545	30
SIENRA	NAVIA	686357,770	4825369,260	70,458	29
NANI CARDOSAS	ONIS	343447,450	4799719,020	586,970	30
PAISANO	OVIEDO	268154,540	4807737,790	636,297	30
FARIO	PILOÑA	308345,960	4803835,550	557,063	30
RASO	PONGA	326417,740	4781249,390	1612,611	30
BILDEO	QUIROS	263944,310	4780774,690	1241,552	30
FARO	RIBADESELLA	331656,010	4815670,450	108,860	30
REBOLLÍN	SALAS	719579,860	4809936,920	814,525	29
MARON	SAN MARTIN DE OSCOS	665120,650	4791184,030	896,573	29
ULLAGA	SIERO	284127,870	4806451,730	357,247	30
MUSQUEIROS	VALDES	710463,560	4826372,070	71,769	29
TAZONES	VILLAVICIOSA	305720,100	4824549,130	134,307	30
SERRAPIO	VILLAYON	685467,420	4804007,590	990,503	29



2.2. RED ORDEN INTERNO (ROI)

NOMBRE	CONCEJO	X	Y	COTA	HUSO
BUÑO	ALLANDE	695477,580	4795267,090	898,410	29
PANCHÓN	ALLANDE	690018,830	4793604,320	1410,362	29
ALTO DE LA TEJERA	ALLER	286913,620	4775670,900	1556,403	30
CERRA	ALLER	274234,360	4780523,010	1295,205	30
CUETO MOROS	ALLER	278396,110	4782344,930	712,034	30
LAGUNA	ALLER	289862,450	4767812,810	1962,406	30
LLAMAS	ALLER	292521,820	4774682,020	1425,766	30
PEÑA CUAÑA	ALLER	284934,330	4770624,020	2027,680	30
PICO BOYA	ALLER	280158,220	4774716,710	1728,314	30
PICO CUETO	ALLER	292655,360	4773980,700	1550,737	30
PICO DE PEDRO GARCIA	ALLER	276910,970	4777189,540	1541,072	30
PICO RANERO	ALLER	273148,150	4782895,300	1096,440	30
TORRES	ALLER	304037,820	4772530,690	2099,988	30
PRINIELLO	AMIEVA	332441,530	4791513,270	1229,266	30
VALDEPINO	AMIEVA	333347,220	4784941,210	1744,611	30
MIRANDA	AVILES	262229,450	4824924,680	142,534	30
COURIO	BELMONTE DE MIRANDA	724218,210	4802647,930	1019,046	29
MANTECA	BELMONTE DE MIRANDA	718916,030	4790743,090	1521,454	29
MATACALEAO	BELMONTE DE MIRANDA	727576,050	4795822,300	927,393	29
PEDRORIO	BELMONTE DE MIRANDA	731730,040	4803768,830	787,164	29
PORCABEZA	BELMONTE DE MIRANDA	727177,750	4790569,240	1210,545	29
CARRUGUEIRO	BOAL	673812,820	4808946,350	950,732	29
PENACAROS	BOAL	678927,800	4809825,630	732,425	29
PENOUTA	BOAL	676281,940	4813928,340	900,470	29
PICO ALTO	BOAL	676885,410	4815309,300	833,707	29
VIRTUDES	BOAL	671894,360	4813667,320	603,705	29
XUGOS	BOAL	678963,910	4814219,350	809,061	29
CABEZA UBENA	CABRALES	349682,950	4802481,660	1186,781	30
CABEZO LLOROSO	CABRALES	346467,380	4792620,990	1794,527	30
CUMBRE DE MAÍN	CABRALES	354759,380	4789575,910	1611,327	30
TORRECERREDO	CABRALES	349567,140	4784647,820	2649,227	30
ALIÑO	CABRANES	301700,130	4808900,040	549,852	30
INCOS	CABRANES	306970,610	4807243,990	581,907	30
PEÑA CABRERA	CABRANES	304775,560	4812306,580	494,719	30
DEGOLLADA	CANDAMO	742367,210	4815582,550	623,987	29
MATIELLA	CANDAMO	740277,060	4818584,750	578,971	29
SOLLERA	CANDAMO	734075,400	4811890,180	601,578	29
CANIELLAS	CANGAS DE NARCEA	700156,080	4763757,960	1920,851	29
CAZARNOSA	CANGAS DE NARCEA	688258,080	4784790,590	1384,782	29
CERVERO	CANGAS DE NARCEA	686327,850	4779131,390	1474,843	29



CUETO ARBAS	CANGAS DE NARCEA	709056,110	4763440,760	2001,781	29
LATRENE	CANGAS DE NARCEA	696366,910	4782234,520	1036,662	29
ORRUA	CANGAS DE NARCEA	684879,010	4784141,530	1368,782	29
PEÑA VENTANA	CANGAS DE NARCEA	692247,240	4772845,090	1372,989	29
RABO DE ASNO	CANGAS DE NARCEA	711559,170	4775131,920	1888,798	29
SANTA ANA	CANGAS DE NARCEA	699773,640	4788018,640	800,409	29
CRUZ DE PRIENA	CANGAS DE ONÍS	334107,080	4798111,240	725,070	30
FAES	CANGAS DE ONÍS	325038,990	4806205,580	403,966	30
PICO BRICIAL	CANGAS DE ONÍS	338830,150	4792726,880	1283,547	30
GOBIA	CARAVIA	324592,620	4813898,200	537,377	30
AREO	CARREÑO	275518,880	4823393,960	264,581	30
FORCAS	CARREÑO	276508,720	4829329,680	115,867	30
LAVERDE	CASO	308906,920	4778835,770	1707,909	30
TIATORDOS	CASO	319622,620	4782773,010	1950,426	30
PRADO DEL MARQUÉS	CASTRILLÓN	740983,390	4822287,540	437,799	29
POUSADOIRO	CASTROPOL	665307,990	4815865,240	643,650	29
SAN MARCOS	CASTROPOL	661432,890	4819413,040	229,053	29
ABARA	COAÑA	678886,240	4821342,040	450,562	29
CARBAYOSA	COAÑA	681100,350	4822418,150	365,900	29
VIDROSA	COAÑA	678064,150	4818275,140	641,617	29
CUETO ARGÜERI	COLUNGA	314351,270	4813688,840	410,816	30
DEPÓSITO	COLUNGA	315289,480	4820896,820	184,040	30
PRIETO	CORVERA DE ASTURIÁS	266010,810	4820800,700	366,069	30
CAVONA	CUDILLERO	726758,960	4829164,740	97,152	29
CUETO	CUDILLERO	721187,040	4820971,250	785,723	29
VIDIO	CUDILLERO	722872,190	4830008,850	91,586	29
ATALAYA	FRANCO	672347,490	4826401,130	38,399	29
MESNEIRAS	FRANCO	674248,910	4816459,030	471,093	29
MONTERRONDO	FRANCO	672952,450	4821592,970	276,968	29
LOS LLANOS	GIJON	278311,700	4817228,490	278,606	30
PROVIDENCIA	GIJON	288642,750	4825882,110	89,565	30
SAN MARTÍN	GIJON	284450,490	4815086,410	518,262	30
BUSCÓN	GOZÓN	263371,740	4831300,330	74,757	30
LA GRANDA	GOZÓN	269728,930	4837141,980	110,510	30
PEÑAS	GOZÓN	270252,570	4837669,820	103,148	30
TABLADAS	GOZÓN	267295,800	4829055,360	155,401	30
COGOLLA	GRADO	736751,820	4802203,650	593,787	29
GUILEIRO	GRADO	740238,330	4806566,210	368,525	29
BORNELA	GRANDAS DE SALIME	671705,090	4788033,160	748,030	29
BUSPOL	GRANDAS DE SALIME	677665,560	4787624,260	1120,279	29
CANDANOSA	IBIAS	684017,140	4764059,670	1676,120	29
CHAO DEL ROZO	IBIAS	680178,560	4771478,640	1427,595	29
CUIAS	IBIAS	670056,350	4770981,220	939,708	29



GARGALOIS	ILLANO	679936,250	4801232,620	1165,288	29
GOUÑO	ILLANO	671125,010	4800334,840	1030,663	29
CUETRA	LANGREO	281903,320	4792318,720	811,726	30
EL RONDIZ	LANGREO	284194,890	4794099,560	733,453	30
LA RINA	LANGREO	288057,650	4800107,410	691,860	30
LA XUNGLA	LANGREO	285268,170	4797967,510	636,502	30
OTONES	LANGREO	280894,810	4794796,600	678,632	30
PICAJO	LANGREO	275119,060	4797637,200	713,276	30
POZOBAL	LANGREO	281437,720	4795744,280	560,672	30
LA CUESTA	LAS REGUERAS	259228,400	4811027,400	277,579	30
LA REBOLLADA	LAVIANA	295643,190	4794103,930	968,333	30
PEÑA MEA	LAVIANA	291943,480	4783660,320	1557,337	30
TRIGUEIRO	LAVIANA	297248,870	4794803,620	1293,012	30
BRAÑAVALERA	LENA	267320,040	4777751,300	1482,703	30
CAMPUSAS	LENA	269689,340	4786598,840	887,840	30
CELLÓN	LENA	277106,560	4767078,210	2028,951	30
CORULLO	LENA	272376,110	4772099,950	1316,792	30
CUETO RAMÓN	LENA	274416,620	4785231,800	693,054	30
TESA	LENA	267240,140	4765411,600	1898,279	30
GORFOLI	LLANERA	262169,640	4819797,290	622,827	30
PEÑA MENENDE	LLANERA	265107,370	4816111,790	481,958	30
SANTO FIRME	LLANERA	270230,250	4815301,020	438,189	30
BORBOLLA	LLANES	369621,520	4805312,030	220,626	30
CAÑÓN	LLANES	376704,840	4805146,680	202,248	30
CASTILLO	LLANES	350691,990	4811885,410	108,421	30
HIBEO	LLANES	341582,490	4803527,280	872,227	30
LLABRES	LLANES	349395,540	4807013,380	688,975	30
RONCIELLO	LLANES	342405,580	4812655,700	120,697	30
BUSTIELLO	MIERES	277186,930	4785975,760	889,354	30
EL CARBONO	MIERES	280906,080	4789334,740	859,749	30
FAXACOS	MIERES	278486,400	4795148,140	655,039	30
LA BERRUGA	MIERES	277226,500	4788889,430	599,166	30
LA REVOLTONA	MIERES	286764,070	4787711,690	1086,495	30
LAS CRUCES	MIERES	284481,640	4789875,630	954,156	30
LUSORIO	MIERES	269294,890	4791350,100	997,372	30
NAVALIEGO	MIERES	282700,790	4785667,690	1104,938	30
PANDOTO	MIERES	279222,330	4785701,510	1064,087	30
PICO BOA	MIERES	273566,650	4795864,790	658,040	30
ROILES	MIERES	272707,260	4792474,030	695,071	30
TRES CONCEJOS	MIERES	286597,960	4788883,800	1095,562	30
CADAVAL	MORCÍN	262896,650	4797829,440	569,642	30
GAMONAL	MORCÍN	260705,390	4790649,420	1709,993	30
MONSACRO	MORCÍN	265092,220	4793952,240	1054,056	30
BIERCES	NAVA	302653,940	4801217,650	769,069	30



VARALLONGA	NAVA	297805,610	4799909,890	864,858	30
SALGUEIRO	NAVIA	691873,190	4826685,500	54,600	29
BASE SUR	NORÉÑA	280883,360	4809400,010	229,880	30
ARNEA	OVIEDO	269911,180	4799420,170	443,800	30
GORTAYO	OVIEDO	261045,210	4803801,510	332,708	30
GRANDOTA	OVIEDO	274326,090	4802949,610	507,918	30
LLOE	OVIEDO	742805,350	4802871,540	482,643	29
COGOLLA	PARRES	323632,770	4798477,920	836,959	30
PERULLALINA	PARRES	328698,480	4810897,340	494,593	30
SUEVE	PARRES	318635,000	4811418,000	1160,279	30
FORCAO DEL CUERNO	PEÑAMELLERA ALTA	357617,510	4796807,000	973,101	30
LIÑO	PEÑAMELLERA ALTA	361631,240	4801819,350	1177,315	30
TURBINA	PEÑAMELLERA ALTA	356661,900	4801880,790	1316,927	30
VIGUERAS	PEÑAMELLERA ALTA	362755,810	4793837,200	1319,671	30
JANA	PEÑAMELLERA BAJA	373009,310	4800035,520	606,559	30
ROBLOSA	PILOÑA	306816,530	4797319,100	822,320	30
SOPIEDRA	PILOÑA	310807,260	4797950,360	934,127	30
TORRE	PILOÑA	314601,390	4799005,360	816,162	30
VIZCARES	PILOÑA	313505,230	4793118,070	1420,535	30
PIERZO	PONGA	325145,240	4789013,610	1552,179	30
PEÑONA	PRAVIA	731215,340	4823005,050	495,859	29
CUETO MAR	PROAZA	742127,490	4789564,020	1193,127	29
GAMONITEIRO	QUIRÓS	262585,330	4785977,110	1790,794	30
PEÑA RUEDA	QUIRÓS	260766,700	4772974,610	2151,399	30
SALERAS	QUIRÓS	742319,560	4778554,420	1777,913	29
BAUA	RIBADESELLA	338479,950	4810356,550	565,644	30
MOFRECHO	RIBADESELLA	334829,230	4808302,290	899,603	30
TRAPA	RIOSA	264836,940	4790174,070	677,170	30
VIA LLANA	RIOSA	263849,270	4792319,800	707,132	30
AGUIÓN	SALAS	718375,650	4815913,750	926,554	29
MONXAGRE	SALAS	727884,740	4813852,100	661,259	29
PENAS DE BODEIRUA	SAN MARTÍN DE OSCOS	670081,220	4792366,540	727,725	29
EMBERNAL	SAN MARTÍN DEL REY AURELIO	285775,300	4792643,170	882,001	30
PICO AL PEÓN	SAN MARTÍN DEL REY AURELIO	290399,990	4796962,350	735,779	30
PICO DE LA VARA	SAN MARTÍN DEL REY AURELIO	289377,850	4790630,370	947,158	30
PLANTÓN	SANTO ADRIANO	743082,310	4798119,620	751,007	29
CADAVAL	SIERO	280551,230	4803248,260	512,575	30
CASTIELLO	SIERO	287436,330	4805344,430	461,067	30
CEA CAL	SIERO	287729,360	4800439,040	655,916	30
CIMA	SIERO	290313,890	4812541,360	736,360	30



CORRIPOS	SIERO	284887,480	4802184,510	457,982	30
COTORBÁN	SIERO	278355,090	4807863,280	228,816	30
CUCUREZA	SIERO	278448,980	4812962,270	300,082	30
LLOSONA	SIERO	289449,430	4803414,990	598,075	30
PEÑA	SIERO	284171,730	4810801,430	428,875	30
ARGANOSA	SOBRESCOBIO	298161,030	4788204,310	1144,532	30
PEÑA ARGALLO	SOBRESCOBIO	302356,920	4784753,930	1391,094	30
RETRIÑÓN	SOBRESCOBIO	299727,710	4778869,120	1862,195	30
CORNÓN	SOMIEDO	719572,550	4767711,630	2187,611	29
MOCOSO	SOMIEDO	721463,240	4771714,490	1988,833	29
MONEGRO	SOMIEDO	725535,510	4784953,220	1482,300	29
MUÑÓN	SOMIEDO	736639,550	4772794,280	2036,284	29
PEÑA MICHÓ	SOMIEDO	728014,640	4777771,350	1765,137	29
RUBIO	SOMIEDO	719801,870	4780594,700	1392,178	29
PICO FARO	TAPIA DE CASARIEGO	669580,210	4821710,920	253,816	29
TAPIA	TAPIA DE CASARIEGO	665969,140	4826872,380	26,574	29
DAVIELLA	TARAMUNDI	652042,010	4799899,000	633,984	29
GUIAR	TARAMUNDI	656380,880	4809651,140	549,912	29
LEIRAS	TARAMUNDI	659140,330	4806456,070	877,817	29
XUNQUEIRA	TARAMUNDI	652902,980	4806072,550	662,447	29
REDONDO	TEVERGA	729733,420	4786572,440	1413,754	29
SIELLA	TEVERGA	738482,780	4783219,570	1514,130	29
VAGINAS	TEVERGA	733954,890	4779072,550	1510,833	29
BRAÑUGAS	TINEO	708186,460	4802247,460	1015,996	29
CERRA	TINEO	697104,320	4806999,710	755,457	29
CIERVA	TINEO	699810,240	4798864,960	688,107	29
GALLO	TINEO	711586,740	4808605,240	1010,924	29
MIRANDA	TINEO	713825,880	4799074,160	759,523	29
MULLEIROSO	TINEO	692044,200	4801930,480	1252,314	29
PEÑA CALABRE	TINEO	691160,020	4809912,640	997,135	29
SERMELLÓN	TINEO	704572,850	4796398,020	648,887	29
BUSTO	VALDES	704447,670	4827395,580	63,546	29
ESPINA	VALDES	706202,680	4812953,340	792,474	29
ESTOUPPO	VALDES	697642,250	4815002,190	848,256	29
HORRÉO	VALDES	702554,020	4818965,060	664,377	29
LAUZ	VALDES	710609,730	4814120,910	567,855	29
PALANCAS	VALDES	714353,660	4822289,450	715,415	29
PANONDRES	VALDES	690670,990	4817599,180	842,812	29
PICO QUEMADO	VALDES	694179,370	4821926,480	471,162	29
BOBIA	VILLANUEVA DE OSCOS	666477,590	4805074,840	1196,826	29
MURIAS	VILLANUEVA DE OSCOS	664702,080	4799382,370	1022,498	29
OUROSO	VILLANUEVA DE OSCOS	659833,210	4800707,890	1031,750	29
CUAL MAYOR	VILLAVICIOSA	310193,800	4818452,110	324,353	30
CURIELLA	VILLAVICIOSA	297232,470	4817421,460	534,458	30



LLOSES	VILLAVICIOSA	298369,680	4812459,270	453,505	30
LOS LLANOS	VILLAVICIOSA	309423,190	4812967,240	439,744	30
PELAPOTROS	VILLAVICIOSA	301220,690	4819876,760	410,398	30
PEÑA RUBIA	VILLAVICIOSA	297088,960	4824699,070	145,905	30
PICO	VILLAVICIOSA	295312,740	4811292,010	606,440	30
SOLARES	VILLAVICIOSA	305565,720	4816046,050	366,480	30
TANDIÓN	VILLAVICIOSA	307892,110	4812026,680	500,162	30
TRAS LA GRANDA	VILLAVICIOSA	303161,600	4824791,660	132,677	30
CARONDIO	VILLAYON	682512,390	4799050,620	1221,622	29
CALDOVEIRO	YERMES Y TAMEZA	734319,990	4791183,300	1353,762	29
LORAL	YERMES Y TAMEZA	736450,180	4794469,450	1247,159	29

