

# TRABAJO FIN DE MÁSTER

## EVALUACIÓN DE MODELOS DE PREDICCIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS EN ENTORNOS DE MONTAÑA: EL CASO DEL PIRINEO

*Paula Clavel Muro*

*Dr. Miguel Ángel Saz Sánchez  
Samuel Buisán Sanz*

Máster Universitario en  
Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del territorio: sistemas de información geográfica y teledetección

Septiembre de 2014



**Universidad**  
Zaragoza

Departamento de Geografía  
y Ordenación del Territorio



## Resumen

*La importancia del clima en el conocimiento de determinados procesos que se producen en entornos de montaña está influenciada por factores como la vegetación, clima, usos del suelo y sobre todo por los recursos hídricos. Para una apropiada descripción climática es necesario un red de observación meteorológica caracterizada por una densidad de observatorios lo más elevada posible así como una apropiada distribución espacial y altitudinal. Sin embargo la densidad de puntos de observación meteorológica en altura, a más de 1500 msnm, en el Pirineo es baja y por tanto los estudios climáticos actuales en zonas montañosas se basan en series climáticas que se localizan en zonas pobladas en valles. En este trabajo se pretende evaluar el impacto de introducir observatorios en altura sobre la generación de resultados cartográficos de precipitación y temperatura tanto a nivel anual como estacional. Además, se han analizado fenómenos como las inversiones térmicas en el Valle de Tena debido a la mayor densidad de observatorios en altura en este valle.*

**Palabras Clave:** Pirineo Central, Temperatura, Precipitación, Modelización espacial, gradientes altitudinales.

## Abstract

*The importance of climate in the knowledge of certain processes that occur in mountain environments is influenced by factors such as vegetation, climate, land use and especially water resources. For proper climate description is necessary meteorological observation network characterized by a density of observatories as high as possible as well as an appropriate spatial and altitude range distribution. However, the density of meteorological observatories in height above 1500 msnm in the Pyrenees is low and therefore, the current climate studies in mountainous areas based on climatic series that are located in areas populated in valleys. This paper aims to assess the impact of introducing observatories in height on the generation of mapping precipitation and temperature results of both annual and seasonal level. In addition, we have analyzed phenomena such as thermal inversions in the Valle de Tena due to the higher density of observatories high in this valley.*

**Key Words:** Central Pyrenees, Temperature, Precipitation, Spatial Modelling, Climatic Gradients.

## Índice

1. Introducción.....	Pág. 1
2. Objetivos .....	Pág. 2
3. Area de estudio .....	Pág. 3
4. Materiales y métodos .....	Pág. 6
4.1. Pre-procesamiento: creación de la base de datos del Pirineo Central.Pág.6	
4.1.1. Análisis de la base de datos climática preexistente .....	Pág. 6
4.1.2. Depuración de la base de datos.....	Pág. 13
4.2. Creación de la cartografía base del Pirineo Central .....	Pág. 19
4.2.1. Información disponible .....	Pág. 19
4.2.2. Elaboración de cartografías base .....	Pág. 19
4.3. Método cartográfico.....	Pág. 22
4.3.1. Geoestadística y modelos de predicción espacial.....	Pág. 22
4.3.2. Técnica de interpolación .....	Pág. 25
4.4. Análisis de casos particulares: inversiones térmicas.....	Pág. 26
5. Resultados.....	Pág. 28
5.1 Análisis de las variables predictivas .....	Pág. 30

6. Conclusiones .....	Pág. 36
7. Bibliografía .....	Pág. 37

## 1. INTRODUCCIÓN

La importancia del clima en el conocimiento de determinados procesos que se producen en entornos de montaña como el uso del suelo, la vegetación o los recursos hídricos, es fundamental. Las variaciones espaciales que caracterizan a los Pirineos, cambian de manera notable ya sea por la existencia de profundos valles o por elevadas montañas que se sitúan próximos entre sí. Los Pirineos se caracterizan por poseer un paisaje complejo, abrupto, con macizos de considerable altitud pero intercalados por valles profundos resultado de la dinámica glaciaria pleistocena y la posterior instalación de la red fluvial. Debido a las diferencias altitudinales y de orientación, entre otros factores, se producen variaciones importantes en la temperatura y la precipitación.

Los Sistemas de Información Geográfica ayudan a modelizar la distribución espacial de las variables climáticas en cualquier entorno geográfico creando superficies continuas que nos ayudan a comprender y analizar las características climatológicas de una zona. En ocasiones se consiguen buenos resultados y con valores de error pequeños (Vicente *et al.*, 2003). Pero esa precisión está condicionada por la calidad de los datos de partida y la densidad de observatorios.

En cuanto a la calidad, existen bases de datos depuradas ya disponibles, sin problemas de homogeneidad o de lagunas. Se han confeccionado bases de datos de gran calidad y longitud temporal de ámbito mundial (Mitchell y Jones, 2005; Beck *et al.*, 2005), ámbito Europeo (Klok y Klein Tank, 2009), y nacional (Brunetti *et al.*, 2006; Begert *et al.*, 2005; González Hidalgo *et al.*, 2011), pero en todos los casos se hace evidente la escasa representación de las áreas de montaña a causa de la dificultad de disponer de largas series de datos y el limitado número de observatorios. En este sentido, en Europa es destacable el ejemplo de la cordillera de los Alpes donde el proyecto HISTALP trabaja desde hace años en la recuperación de series climáticas (Böhm *et al.*, 2009), y el proyecto CARPATCLIM, en los Cárpatos, en el que participan los diferentes países de la región (JCR, 2010). En los Pirineos muchos proyectos han iniciado trabajos de recuperación y control de datos (Soubeyroux *et al.*, 2011; Esteban, *et al.*, 2012; Espejo *et al.*, 2008), pero estas series climáticas son parciales y de calidad muy variable; además, están limitadas por los enfoques estrictamente nacionales, reduciendo la capacidad de análisis global de las variaciones climáticas.

Por ello, más problemático resulta el tema de la densidad. En áreas llanas y de escasa altitud, no se producen grandes problemas debido a que el terreno es constante y sus características son similares; pero en entornos de montaña esa problemática se agrava. Los valores de error obtenidos por las cartografías desarrolladas son aplicables a esos espacios en los que hay una elevada densidad de observatorios, pero difícilmente podemos extrapolar esos umbrales de error a espacios en los que no existe información instrumental registrada. Hay estudios que evalúan la problemática de no disponer de una distancia adecuada entre observatorios para obtener unos resultados fiables. González-Hidalgo *et al.* (2011) han elaborado una nueva base de datos española, MOPREDAS (Precipitación Mensual). Esta herramienta constituye la base de datos más densa para precipitación mensual donde la distancia media a la estación vecina más cercana está a menos de 10 km a excepción de las áreas que superen los 1500 msnm.

En las cordilleras más elevadas de la Península Ibérica existen escasos observatorios por encima de los 1.500 msnm, apenas por encima de 2.000 msnm, y prácticamente ninguno por encima de 2500 msnm. Disponer información en altura, resulta a priori fundamental para los estudios sobre el clima en entornos de montaña, pero también para cualquier estudio donde el clima aparezca como variable explicati-

va. El propio IPCC incluye dentro de sus líneas prioritarias disponer de ese tipo de información. Las zonas de montaña están identificadas como sensibles para observar efectos del cambio climático como son el retroceso de los glaciares que refleja tanto los cambios de temperatura como los cambios hidrológicos.

Partiendo de la hipótesis de que una mayor densidad de observaciones en altura podría mejorar la calidad de la modelización espacial de variables climáticas en entornos de topografía compleja, en este trabajo se comparan los resultados obtenidos de la modelización espacial de la temperatura y la precipitación en el Pirineo Central Español con la red de observatorios disponible de AEMET considerando sólo los observatorios disponibles por debajo de los 1.500 msnm o introduciendo datos de observatorios localizados a altitudes superiores, en general observatorios localizados en estaciones meteorológicas de montaña, cuya recuperación en integración en el Banco Nacional de Datos se está considerando como estratégica por parte de AEMET y del *International Panel on Climate Change* (IPCC-AR5).

## 2. OBJETIVOS

En línea con lo señalado antes, el objetivo de este trabajo es identificar, cuantificar y analizar los cambios producidos en el resultado de la modelización espacial de precipitaciones y temperatura en el Pirineo Central utilizando observatorios ubicados por encima de los 1.500 msnm.

Las conclusiones de este experimento pueden ser útiles a la hora de valorar la importancia de la recuperación de datos de observatorios en altura, unos datos que pueden contribuir a la mejora de los resultados de la modelización espacial y por tanto al mejor conocimiento del comportamiento del clima en altura.

Para ello se han establecido 4 objetivos parciales, mediante los que se van a ir resolviendo fase a fase, cada uno de los pasos necesarios para cumplir con el general:

1. Contribuir a la creación de bases de datos a nivel anual y estacional de observatorios de temperatura y precipitación, incluyendo observatorios que superen los 1.500 msnm en el Pirineo Central.
  - a. Análisis de la base de datos climática preexistente cedida por la AEMET.
  - b. Depuración de la base de datos.
  - c. Generación de bases de datos a nivel anual y estacional de precipitación y temperatura mediante un software de hoja de cálculo.
2. Creación de una cartografía base de la zona de estudio, así como las variables que influyen a la hora de resolver la hipótesis.
  - a. Descarga y recopilación de capas.
  - b. Creación de capas mediante sistemas de información geográfica utilizando diversas herramientas.
3. Obtención de cartografías temáticas específicas de precipitación y temperatura a partir de la base de datos depurada mediante técnicas de interpolación en SIG.
  - a. Generación de modelos teniendo en cuenta las variables dependientes e independientes mediante el software estadístico, SPSS.
  - b. Implementación de la información en ArcGIS generando modelos de regresión múltiple por pasos (stepwise).

- c. Aplicación de una corrección del error para cada modelo mediante el análisis de residuales.
  - d. Creación de cartografías climáticas.
  - e. Comparación entre las cartografías generadas con observatorios por encima de los 1.500 msnm y sin ellos.
4. Análisis de casos particulares: inversión térmica
- a. Estudio de los datos diarios de temperatura en zonas altas del Pirineo central y selección del momento del año donde este fenómeno es más destacable.
  - b. Creación de la cartografía base del evento.
  - c. Generación de la cartografía específica.

### 3. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio seleccionada es el Pirineo Central. Inicialmente se delimitó el área de estudio con unas dimensiones de 131x56km<sup>2</sup> a partir de 39 municipios de la provincia de Huesca de las comarcas pirenaicas. En la figura 1 se puede observar con detalle la localización de la zona de estudio. Pero para dar continuidad a los modelos e integrar un mayor número de observatorios en el proceso de modelización, si bien la zona de estudio real del trabajo es la antes señalada se ha optado por delimitar una segunda zona de mayores dimensiones que engloba parte de las provincias de limítrofes con unas dimensiones de 226x112km<sup>2</sup>. Estas provincias son Zaragoza, Lleida y Navarra con un total de 326 municipios que se desglosan en la tabla 1.

**Tabla 1.** N° de Municipios y observatorios de la zona de estudio.

<i>Provincia</i>	<i>N° Observatorios</i>	<i>N° municipios</i>
Huesca	58	125
Zaragoza	4	49
Lleida	7	43
Navarra	28	109

El clima en la zona de estudio depende en gran medida de la disposición de la cordillera Pirenaica. La orientación Oeste-Este de las montañas, provoca que los valles se dispongan con una orientación perpendicular, dejando las vertientes expuestas perpendicularmente a los vientos dominantes que llegan del noroeste. En general, el flujo atmosférico proviene del Mar Cantábrico y choca principalmente con Navarra. Debido a la topografía, en las laderas de barlovento se produce un bloqueo orográfico: las masas de aire son obligadas a ascender, condensando el vapor de agua y dando lugar a lluvias. Mientras que a sotavento, se produce el llamado efecto Foëhn manifestado en un notable descenso de los volúmenes de precipitación y alteraciones en las temperaturas.

Otro factor que condiciona de forma notable el clima del Pirineo Central es la altura. El Pirineo Central se caracteriza por poseer numerosos picos superiores a los 3.000 msnm, como el Aneto con 3.404, que caracterizan y hacen único este paisaje. En él destacan espacios naturales como son el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, el Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara, el Parque Natural de los Valles Occidentales, el Valle de Aragón, el Valle de Tena y la Ribagorza.

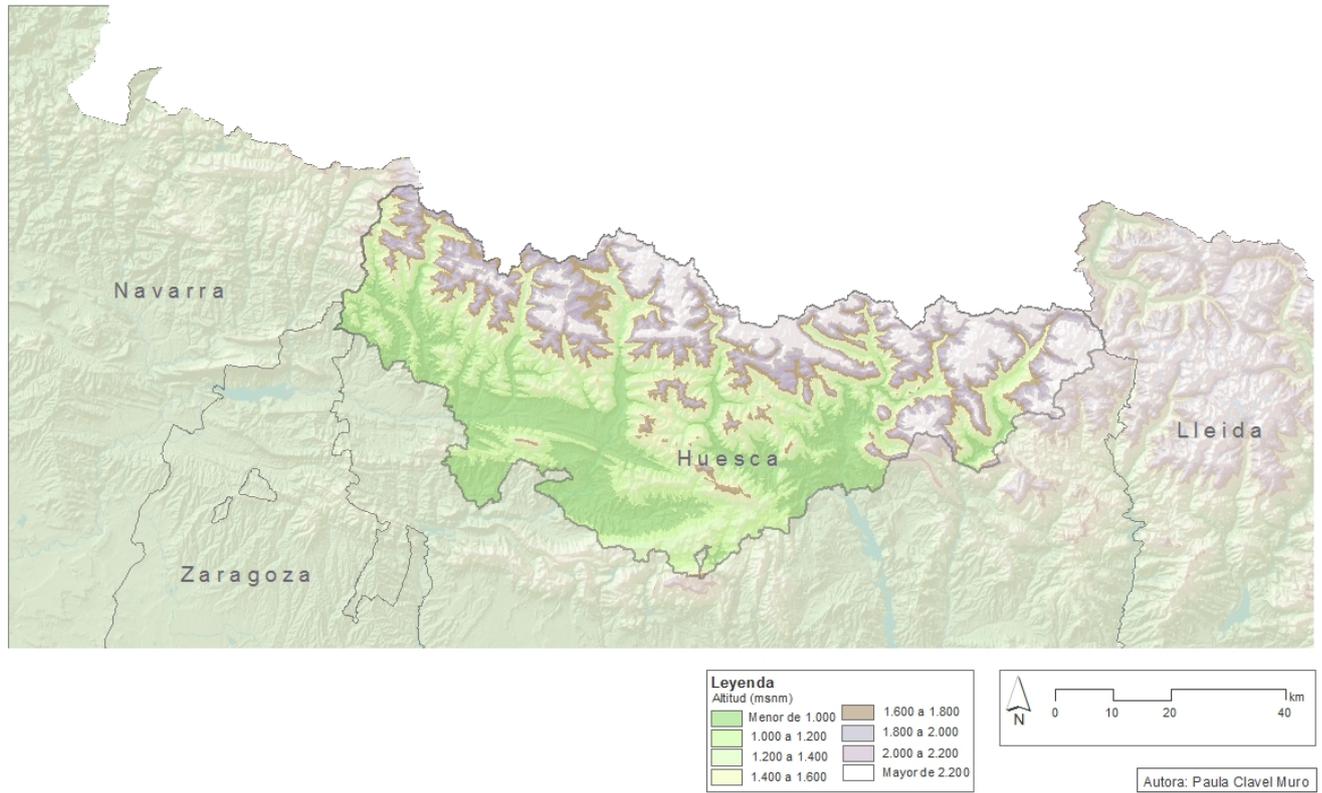
A medida que aumenta la altitud, se produce una disminución de las temperaturas y un aumento de las precipitaciones. El Pirineo Central es, en general, una montaña bastante lluviosa, especialmente en las cabeceras de los valles: los sectores altos de los valles de Ansó, Hecho y Canfranc reciben una media de unos 2.000 mm al año. La temperatura media desciende rápidamente con la altura, a razón de 0,6° por cada 100 metros de ascenso aproximadamente, pero con una gran variabilidad en este gradiente en función de la orientación. Por ello, la temperatura depende mucho del factor topográfico.

La clara compartimentación del relieve formada por valles transversales y grandes picos del Pirineo central es un gran condicionante del clima generando una variada gama de ambientes climáticos junto con la orientación, la altitud, la situación entre dos mares como son el mar cantábrico y el mar mediterráneo y la exposición de los vientos húmedos del atlántico. Este flujo predominante del noroeste encuentra en su recorrido una serie de montañas que debe atravesar. En dicho trayecto las masas de aire van perdiendo progresivamente humedad y, cuando llegan al Pirineo central, ya han perdido parte de su carácter oceánico para pasar a veces a presentar valores continentalizados de clima seco y frío.

Diferencias altitudinales como las de Goriz a 2.195 msnm y Pineta a 1.300 msnm en apenas 7 km y la orientación de las laderas de los diferentes valles, generan una enorme variedad climática. Cabe destacar las grandes variaciones de humedad y temperatura entre el día y la noche. Inversiones térmicas que se reflejan en la distribución de los pisos de vegetación, así como un singular régimen de vientos del valle y montaña.

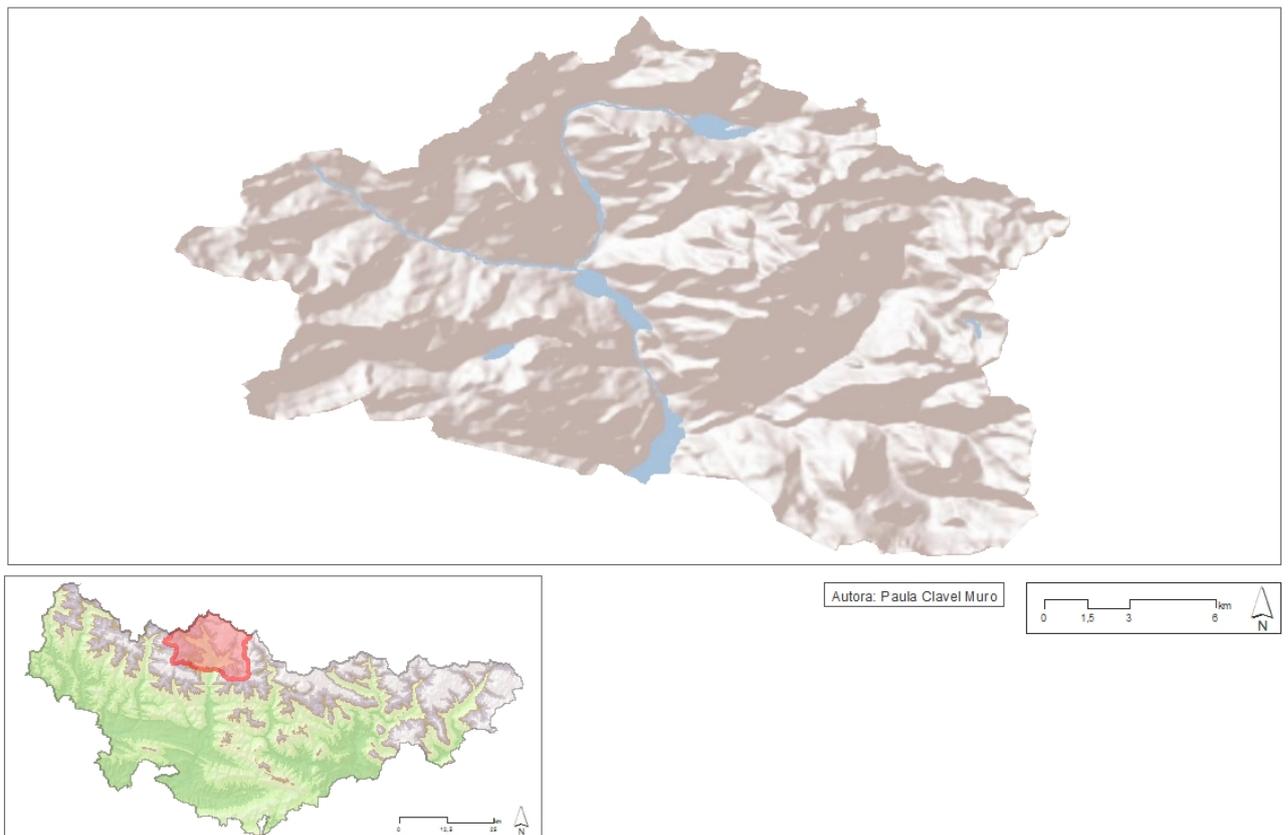
El valle de Tena ha sido elegido para el estudio de fenómenos como la inversión térmica, fundamentales para el conocimiento del clima en espacios de montaña y que pueden llegar a condicionar aspectos importantes del paisaje en estos entornos. Se trata de un espacio con marcadas diferencias altitudinales, cerrado al norte por varios macizos de más de 3.000 msnm. como el Balaitús, el Argualas, los Picos del Infierno y el Garmo Negro. En esta zona las poblaciones más destacadas son Sallent de Gállego y Panticosa. El primero situado a 1.285 msnm. de altitud es la cabecera del valle de Tena. Al sur y a ambos lados de la cuenca del río Gállego se encuentra un conjunto de valles y sierras de grandes contrastes, con dos de las poblaciones más grandes del Pirineo, Sabiñánigo y Biescas y valles de montaña

## Mapa de localización del Pirineo Central



**Figura 1.** Mapa de la localización de la zona de estudio.

## Mapa de localización del Valle de Tena



**Figura 2.** Mapa de la localización del Valle de Tena.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el estudio se ha hecho uso de diversas herramientas informáticas para procesar la información: -Excel- para depurar la base de datos climatológica, -SPSS- para construir los modelos y -ArcGIS- un software propietario que genera los modelos interpolables, para la cartografía de los modelos y el cálculo de los mapas finales.

### 4.1. Pre-procesamiento: creación de la base de datos del Pirineo Central

#### 4.1.1. Análisis de la base de datos climática preexistente

Como señalábamos anteriormente, en este trabajo se intenta analizar la importancia de disponer de información en altura para desarrollar mejores modelos espaciales. La recuperación de registros de refugios de montaña y de otras instalaciones en altitudes elevadas es un objetivo prioritario dentro del área de Climatología de AEMET. En la actualidad se ha recuperado información de una red más o menos densa pero únicamente para el periodo 2011-2014. A esta información se ha podido acceder a través de la conexión al Banco Nacional de Datos de AEMET en su Delegación Territorial en Aragón.

Un observatorio meteorológico dispone de instrumental específico que varía según las diferentes variables que se midan. El observatorio más básico únicamente consta de un pluviómetro con el que se obtiene el valor de precipitación. Muchos observatorios disponen también de fenómenos de máxima y mínima, con los que podemos medir las temperaturas extremas en los periodos de 12 a 24 horas.

En la figura 3 se puede observar imágenes de una estación meteorológica situada a 1.100 msnm en Biescas localizada en el Valle de Tena.



**Figura 3.** Estación meteorológica de Biescas a 1.100 msnm. Autor: AEMET.

Los datos del Banco Nacional se han condensado en hojas de cálculo Excel, los de los observatorios del área de estudio y de las zonas limítrofes. Además de los datos en bruto se muestran los resúmenes mensuales.

En esa base de datos de 4 años (2011-2014) se observa que muchas series presentan lagunas importantes de información, ya sea por falta de personal, por error en el sistema o por la inexistencia de medición. Errores en muchos casos difíciles de subsanar en el contexto de este estudio. Puesto que el obje-

tivo de este trabajo es analizar las diferencias que hay entre el trabajo cartográfico con dos bases de datos distintas en razón de la inclusión o no de observatorios en altura, se ha delimitado el periodo de estudio al año 2012 (incluyendo diciembre de 2011 para trabajar estacionalmente sobre el invierno), el que menos problemas tiene en cuanto a la información registrada. Evidentemente no se pueden extraer conclusiones de carácter climatológico de un solo año de mediciones pero sí evaluar la calidad de las dos cartografías, objetivo fundamental del trabajo, y analizar sobre qué variables influye más la disponibilidad de observaciones en altura.

Tanto la información de precipitación como la de temperatura diaria y mensual, poseen una serie de metadatos comunes que hacen más completa la información que aportan los observatorios meteorológicos. Esta información se puede observar en la tabla 2.

**Tabla 2.** Metadatos mensuales de AEMET

<i>Campo</i>	<i>Descripción</i>
INDICATIVO	Indicativo Climatológico (código)
AÑO	Dato numérico
MES	Dato numérico
NOMBRE	Nombre estación
ALTITUD	Altitud de la estación (metros)
C_X	Coordenada X (Huso 30)
C_Y	Coordenada Y (Huso 30)
CMT	Código Delegación Territorial
NOM_PROV	Provincia
ALTA	Fecha de alta
BAJA	Fecha de baja
LONGITUD	Longitud geográfica
LATITUD	Latitud geográfica
IND_SYN	Indicativo sinóptico
NOM_EG	Entidad gestora
DATUM	Datum de referencia

A continuación, se señalan algunos aspectos metodológicos sobre la depuración de los datos originales de AEMET.

### ***Precipitación***

Para su medida se usa el pluviómetro Hellmann que consta de un vaso cilíndrico cuya boca está formada por un anillo de bronce afilado, un embudo profundo, para que las gotas que han entrado no salgan al rebotar conduciendo el agua a otro recipiente cilíndrico de boca estrecha por el que penetra el pico del embudo.

Su unidad de medida es el milímetro de altura de precipitación. En concreto, AEMET aporta datos de precipitación en décimas de milímetro, medidas de 07 a 07 horas (desde las 07 del día de la fecha hasta las 07 del día siguiente). Esa unidad les permite no trabajar con decimales, los cuales pueden complicar su digitalización y llegar a distorsionar los resultados por los procesos que llevan a cabo.

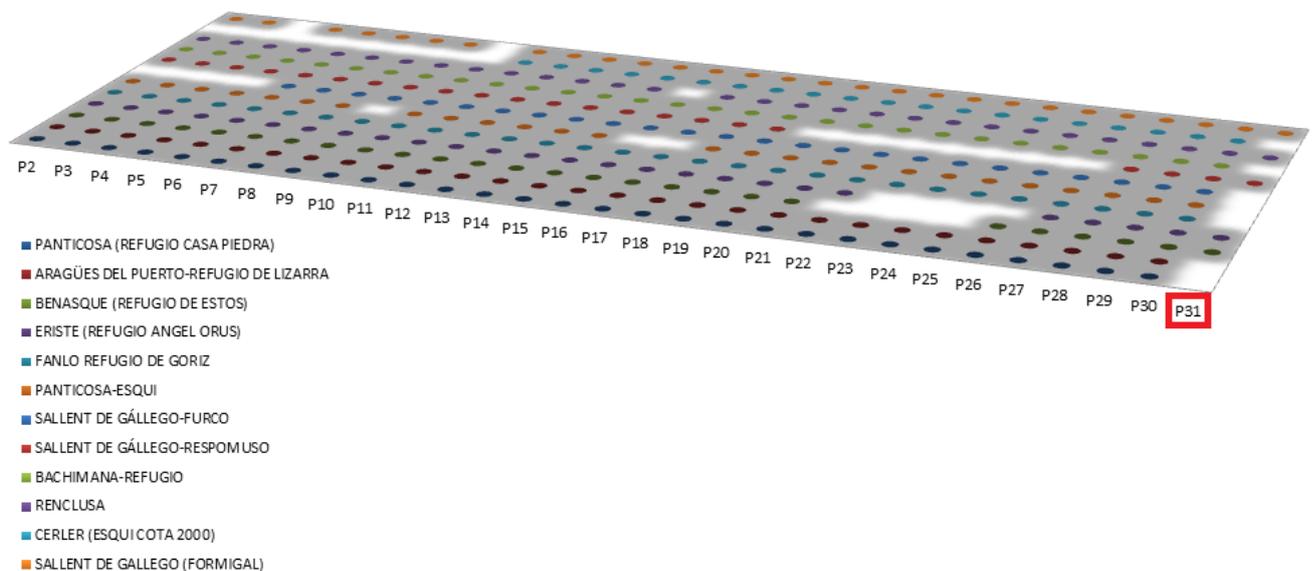
#### Dato diario

Mediante la toma de contacto con los datos originales hay que destacar algunos aspectos importantes que serán cruciales a la hora de la depuración de la base de datos. Uno de ellos es la gran cantidad de huecos vacíos en algunos de los días del año. Debido a esto, analizando minuciosamente los datos, el

año 2012 es el año más completo en cuanto a datos de precipitación diarios. A pesar de que el año 2012 es el año con más información climática disponible, sigue teniendo algún hueco vacío. Ese hecho destaca en el mes de diciembre, y en concreto el día 31. Tras consultar con el departamento de sistemas de AEMET, se ha deducido que tanto el 31 como a veces el 24 y 25 de diciembre en zonas altas de los Pirineos suelen estar vacíos debidos a las festividades. En los casos en los que la carencia de datos no se justifica con una festividad puede ser debido a la imposibilidad de medición por muy diversas causas.

Para mostrar esto, se ha realizado un gráfico donde se representan los observatorios a más de 1.500 msnm y la disponibilidad o no de dato durante este mes. La figura 4 destaca que hay ciertos días del mes de diciembre donde no se ha recogido dato, como son las festividades señaladas anteriormente. La carencia de estos datos durante el año 2012 es más o menos constante durante los años anteriores. Pero estas lagunas se agudizan a un más ya que en diciembre del 2011 solo hay un dato en alturas superiores a los 1.500 msnm: Cerler a 1.600 msnm. Esto ocurre de la misma manera con las temperaturas. En los últimos dos años, AEMET está incorporando a ese banco nacional datos de observatorios en altura que más adelante se analizarán, pero las series de datos están más incompletas. Razones principales por las que se ha elegido trabajar con el año 2012.

### Disponibilidad de datos en alturas superiores a los 1500msnm (Diciembre 2012)



**Figura 4.** Muestra de las lagunas diarias en observatorios a más de 1500 msnm.

En algunas ocasiones aparecen códigos numéricos que explican diversos hechos como se observa en la tabla 3.

**Tabla 3.** Códigos numéricos AEMET

Código	Descripción
-3	Precipitación inapreciable
-4	Precipitación acumulada

La presencia de un -3 conlleva a que la precipitación durante ese día es despreciable, es decir, ha llovido pero menos de una décima., Si se observa un valor de -4 significa que su valor que salga poste-

riormente es el acumulado de los anteriores. Un ejemplo sería como ocurre en la estación de esquí de Panticosa a 1.830 msnm los días 11,12 y 13 de noviembre el año 2011 donde sus valores son: -4, -4, 40. El valor de 40 décimas de milímetro o 4 milímetros es el valor acumulado de los dos días anteriores.

#### Dato mensual

Al igual que la información diaria, existe un resumen mensual de precipitación el cual incluye una serie de parámetros adicionales y realizando alguna operación matemática que permite observar parámetros como la precipitación total mensual.

En este caso, los huecos que se observan a lo largo de todas las medias han sido producidos por la falta de dato diario en cada una de las estaciones. AEMET si detecta que más de la mitad de los días se encuentran vacíos, no rellena la media mensual de esa estación. Debido a que no hay información suficiente, estos datos no son representativos y no los incluye en la media mensual. Se trata de una manera de aportar calidad a los datos intentando que los datos disponibles sean lo más fiables y precisos posibles.

De igual manera, en alguna ocasión las medias mensuales de algunas estaciones no han sido calculadas pero, como se explicará en la depuración de la base de datos, han tenido que ser rellenadas realizando operaciones matemáticas ya que cumplen con los requisitos. Es necesaria una depuración exhaustiva ya que será el proceso que condicionará si los resultados se ajustan a la realidad o han sido influenciados por el factor humano.

Los parámetros que incluye el resumen mensual de precipitación además de los citados en la tabla 2 se muestran en la tabla 4. En negrita se ha destacado el parámetro que se usará a la hora de hacer el estudio para la precipitación.

**Tabla 4.** Metadatos mensuales de precipitación AEMET

<i>Código</i>	<i>Descripción</i>
<b>PMES77</b>	Precipitación total mensual
PMAX77	Precipitación máxima diaria mensual
D1MAX	Primer día de la precipitación máxima
D2MAX	Segundo día de la precipitación máxima
VPMAX	Dirección del viento en la precipitación máxima
VDOMIN	Viento dominante en los días de precipitación
DINAP	Días de precipitación inapreciable
DAPRE	Días de precipitación apreciable
DP10	Días de precipitación $\geq 10$ décimas
DP100	Días de precipitación $\geq 100$ décimas
DP300	Días de precipitación $\geq 300$ décimas
DLLUZIA	Días de lluvia
DNIEVE	Días de nieve
DGRANIZO	Días de granizo
DTORMENTA	Días de tormenta
DNIEBLA	Días de niebla
DROCIO	Días de rocío
DESCARCHA	Días de escarcha
DNIEVESUE	Días de suelo cubierto de nieve
DINES	Días de meteoro precipitable no especificado
NDIAS	Número de días sin dato de precipitación
FH_ACT	Fecha de actualización

## *Temperatura*

La otra información cedida por la AEMET es la temperatura del aire medida en grados celsius. A continuación, se detalla cómo se miden dos de los tipos de temperaturas más importantes e indispensables para el trabajo.

- Temperatura Máxima

Se toma a las 07 UTC y corresponde con la temperatura más alta alcanzada en las últimas 24 horas. El valor debe medirse con una aproximación de 0.1 °C. Para su medida se usa generalmente un termómetro de máxima, que es de tipo clínico, con un estrechamiento junto al depósito de mercurio.

- Temperatura Mínima

Al igual que la máxima, la mínima se toma a las 07 UTC, y corresponde a la temperatura más baja alcanzada en las 24 horas precedentes. El valor debe medirse con una aproximación hasta la décima de grado, aunque la división de la escala será en general de 0,5 °C. Para medirla se usa el termómetro de mínima que suele ser de alcohol o de algún otro líquido orgánico, y lleva sumergido en el líquido un índice con alma metálica.

### Dato diario

AEMET proporciona además de los datos mencionados en la tabla 2, la temperatura máxima y mínima de cada uno de los días del mes a lo largo de los años disponibles (2011-2014). Al igual que ocurre con la base de datos de precipitación, existen huecos que no han sido rellenados por lo que ese día no se ha recogido información. Por motivos diversos como falta de disponibilidad de personal o dificultad de acceso algo que ya ha quedado reflejado en la figura 4.

La lectura de estas medidas se realiza dividiendo entre 10 cada dato y así calcular los grados centígrados de cada estación, esto es debido a facilitar los cálculos operando sin decimales, algo necesario para su tratamiento en AEMET.

### Dato mensual

El resumen mensual de la temperatura aporta información adicional al igual que el resumen mensual de la precipitación. Presenta los campos comunes señalados en la tabla 2 pero además incluye una serie de campos que aportan información como se observa en la tabla 5. Donde en negrita también se destacan aquella información indispensable para el estudio.

Al igual que ocurre con el resumen mensual de precipitación existen huecos vacíos lo que significa que en algunas estaciones no ha habido suficientes datos en una estación a lo largo del mes como para ser representativos y calcular la media. A veces esto viene representado por la presencia de ceros en el resumen mensual, en algunas ocasiones denotan fallos de medición por que en los meses de verano es imposible que sus valores medios sean cero, siendo posibles en invierno. También hay que tener en cuenta que se debe realizar una lectura minuciosa de todos los registros ya que pueden existir meses que cumplan los requisitos y no se les ha incluido. Esto último, ha sido el caso de algunos meses para estaciones como por ejemplo Eriste (Refugio de Angel Orús) a 2.115 msnm o Seira a 825 msnm.

**Tabla 5.** Metadatos mensuales de temperatura AEMET

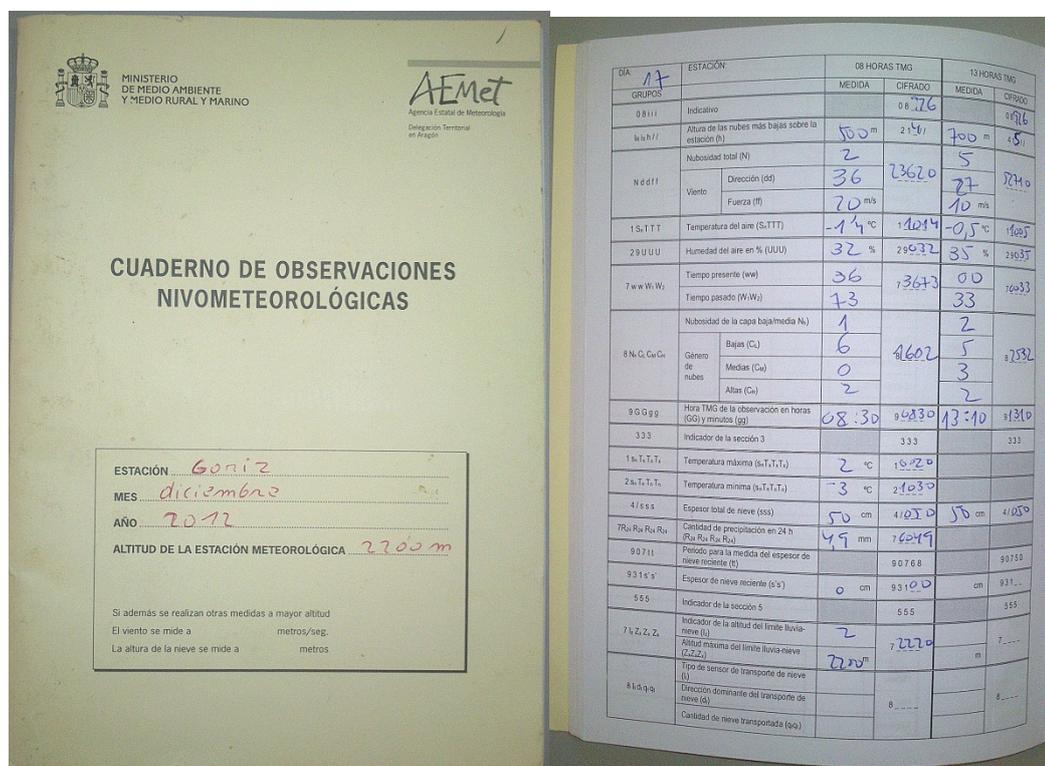
<i>Código</i>	<i>Descripción</i>
<b>T_MAX</b>	Temperatura máxima absoluta mensual
D1MAX	Primer día de la temperatura máxima absoluta
D2MAX	Segundo día de la temperatura máxima absoluta
<b>T_MIN</b>	Temperatura mínima absoluta mensual
D1MIN	Primer día de la temperatura mínima absoluta
D2MIN	Segundo día de la temperatura mínima absoluta
TM_MAX	Media mensual de la temperatura máxima diaria
TM_MIN	Media mensual de la temperatura mínima diaria
<b>TM_MES</b>	Temperatura media mensual
TM_MES_HOR	Temperatura media horaria mensual
PRIMERA_HELADA	Fecha de primera helada en el mes
ULTIMA_HELADA	Fecha de la última helada en el mes
T_MIN_MAX	Temperatura mínima de las máximas
T_MAX_MIN	Temperatura máxima de las mínimas
DIAS_TMIN_0	Días de temperatura mínima $\leq 0^{\circ}\text{C}$ (días de helada)
DIAS_TMIN_5	Días de temperatura mínima $\leq -5^{\circ}\text{C}$
DIAS_TMIN_20	Días de temperatura mínima $\geq 20^{\circ}\text{C}$ (días tropicales)
DIAS_TMAX_25	Días de temperatura máxima $\geq 25^{\circ}\text{C}$
DIAS_TMAX_30	Días de temperatura máxima $\geq 30^{\circ}\text{C}$
TMIN_JSM	Temperatura mínima absoluta junto al suelo mensual
FTMIN_JSM	Fecha de la temperatura mínima absoluta junto al suelo
TMINM_JS	Media mensual de la temperatura mínima diaria junto al suelo
NDIAS1	Número de días con datos incompletos de temperatura del aire
NDIAS2	Número de días sin dato de temperatura mínima junto al suelo
FH_ACT	Fecha de actualización

### *Observatorios en altura*

Durante los últimos años AEMET ha estado incorporando a su banco nacional de datos información de los observatorios en altura en el Pirineo. Gracias a esto la base de datos preexistente se ha ido completando con información en altura tanto con estaciones automáticas como manuales. Hace unos años no se disponía de datos con cotas superiores a los 1.500 msnm por lo que esto aporta más realismo y fiabilidad de cualquier estudio que se realice en la zona pirenaica.

En marzo del 2014, AEMET ha consolidado el mantenimiento de la red de observación nivológica en los Pirineos. Gracias a su equipo ha sido posible acceder a los cuadernos de observaciones nivometeorológicas para ver con detalle cómo se han recogido los datos de cada uno de los observatorios en altura.

En la figura 5 se puede ver uno de los cuadernos que utiliza la AEMET para recopilar datos en observatorios en altura



**Figura 5.** Cuaderno de observaciones nivometeorológicas de Goriz (dic 2012). Autor: AEMET.

Actualmente AEMET en Pirineos gestiona esta red de observación con 19 puntos en Aragón y 1 en Navarra pero para el año 2012 solo ha sido posible trabajar con 16 observatorios que sitúen por encima de los 1500m que en la tabla 6 se detallan.

**Tabla 6.** Observatorios a más de 1500m.

Indicativo	Nombre	Altitud (msnm)	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>
9812E	FANLO REFUGIO DE GORIZ	2.195	747095	4727839
9451D	BACHIMANA-REFUGIO	2.190	726772	4740083
9446I	SALLENT DE GÁLLEGO-RESPOMUSO	2.145	721050	4744004
9834E	RENCLUSA	2.140	799158	4730575
9840D	ERISTE (REFUGIO ANGEL ORUS)	2.115	783505	4725218
9839O	CERLER	2.020	790922	4718665
9660	SANT MAURICI (LLAC)	1.920	828668	4722101
9837E	BENASQUE (REFUGIO DE ESTOS)	1.890	785267	4730637
9445E	SALLENT DE GALLEGO-FURCO	1.855	713999	4737544
9452E	PANTICOSA-ESQUI	1.830	723046	4731469
9451A	PANTICOSA (REFUGIO CASA PIEDRA)	1.645	726380	4738155
9839T	CERLER	1.600	790873	4720919
9216D	ISABA, EL FERAL	1.591	679444	4758506
9195E	CANDANCHU-ETUKSA	1.560	701341	4740158
9208H	ARAGÜES DEL PUERTO-REFUGIO DE LIZARRA	1.540	694118	4737450
9445	SALLENT DE GALLEGO (FORMIGAL)	1.500	715246	4739127

Estos observatorios toman datos todo el año y cuentan con unos registros que resultan imprescindibles para otros temas como es el seguimiento del cambio climático. Pero también se consigue una base de datos más completa, con un rango altitudinal mayor.

#### 4.1.2. Depuración de la base de datos

Una vez analizado la base de datos inicial cedida por AEMET, hay que realizar una serie de pasos para obtener una correcta base de datos lo más real posible y con la menor influencia del factor humano.

Inicialmente señalar que, debido a que nos interesan observatorios con cierta altura, se han eliminado aquellos que se encuentren a menos de 400 msnm dado que no aportan información relevante. Esto se ha realizado tanto para datos de precipitación como de temperatura.

Gracias al conocimiento de la situación y características de las estaciones por parte del personal en la Delegación de AEMET consideró como conveniente la eliminación de aquellas estaciones que no aportasen datos totalmente fiables como los de Cerler situado a 1.600 msnm, 2.020 msnm o Candanchú-Etuksa a 1.560 msnm.

El tercer paso es completar el resumen mensual haciendo uso del dato diario cuando es necesario. Como hemos señalado antes, en ocasiones las series de registros carecen del dato mensual: porque no existen los suficientes datos diarios como para promediar en dato o porque simplemente no se calculó. Si la aparición de datos de temperatura máxima y mínima es igual o la mínima es superior a la máxima o la existencia de ceros en verano (en estaciones a cotas bajas), denota que algo no es normal, por lo que observando sus datos diarios en casi la totalidad de las ocasiones y se puede ver que casi ningún registro diario está completo; aportando error por fallo en la medición o carencia de la misma.

Se trata de un trabajo minucioso, debido a que hay que realizar una base de datos lo más completa posible. A modo de comprobación, se han calculado los datos mensuales de cada estación a partir de los diarios mediante funciones básicas de Excel y se ha observado que todos son correctos. Para las temperaturas se ha calculado el promedio de las máximas, mínimas y media; al igual que la temperatura máxima y mínima alcanzada durante cada mes en cada estación. En cuanto a la precipitación se ha calculado la precipitación máxima alcanzada durante cada mes en cada estación así como su precipitación total acumulada.

De esta manera se han podido incluir aquellos que cumplen con tener la gran mayoría de los datos diarios completos y se han excluidos aquellos que lo incumplían o su resumen mensual no era coherente.

Debido a que una de las cosas más importantes e imprescindibles en este estudio es esta depuración de la base de datos, el proceso ha durado más tiempo por la introducción de dichos datos. Aun así, señalar que por falta de operatividad, de funcionamiento o también porque las estaciones de esquí solo están activas en invierno; hay algunos observatorios que no aportan medidas durante algunos meses como es el caso de la Sallent de Gallego Furco, solo activa de diciembre a marzo. Bachimaña empezó a funcionar en julio del 2012 no hay ningún dato anterior y señalar también a la estación de esquí de Formigal dado que en noviembre no se ha encontrado ningún dato por la AEMET.

En este estudio se van a analizar una serie de 4 variables por lo que las bases de datos se establecen en torno a ellas. Se trata de las variables dependientes que serán cartografiadas mediante el software propietario ArcGIS. Estas variables son:

- Temperatura media
- Temperatura media de las máximas
- Temperatura media de las mínimas
- Precipitación total acumulada

Como ya se ha mencionado se va a estudiar el año 2012 pero de dos formas diferentes; de manera anual y estacional.

### **Base de datos anual**

Una vez que ya disponemos de los datos depurados; el siguiente paso es calcular la media mensual para cada observatorio en cuanto a la temperatura y la precipitación acumulada para la precipitación durante el año 2012. Esto se realiza también con Excel donde se especifica la suma de todos los meses del año disponibles de cada estación y su división por el número de meses disponibles cuando se trata de la temperatura, y solo la suma de todos los meses del año disponibles de cada estación cuando se trata de la precipitación. Lo correcto es que los 12 meses estén rellenos pero en algunas ocasiones esto no es posible debido a lo comentado en el apartado anterior. Cuando ha sucedido esto, se ha considerado aceptable solo aquellos observatorios que cumplan estrictamente la disponibilidad de los 12 datos mensuales para evitar errores o desviaciones. Esta selección estricta elimina cualquier variación de la realidad tanto para la precipitación como para la temperatura.

En las tablas 7 y 8 se puede observar que de los 16 observatorios meteorológicos disponibles inicialmente a más de 1.500 msnm solo 9 se pueden utilizar para los cálculos con precipitación y 10 para cálculos con datos de temperatura.

**Tabla 7.** Observatorios a más de 1500m para precipitación

<i>Indicativo</i>	<i>Nombre</i>	<i>Altitud (msnm)</i>	<i>C_x</i>	<i>C_y</i>
9812E	FANLO REFUGIO DE GORIZ	2.195	747095	4727839
9446I	SALLENT DE GÁLLEGO-RESPOMUSO	2.145	721050	4744004
9834E	RENCLUSA	2.140	799158	4730575
9840D	ERISTE (REFUGIO ANGEL ORUS)	2.115	783505	4725218
9660	SANT MAURICI (LLAC)	1.920	828668	4722101
9837E	BENASQUE (REFUGIO DE ESTOS)	1.890	785267	4730637
9451A	PANTICOSA (REFUGIO CASA PIEDRA)	1.645	726380	4738155
9208H	ARAGÜES DEL PUERTO-REFUGIO DE LIZARRA	1.540	694118	4737450
9445	SALLENT DE GALLEGO (FORMIGAL)	1.500	715246	4739127

**Tabla 8.** Observatorios a más de 1500m para temperatura

<i>indicativo</i>	<i>Nombre</i>	<i>Altitud (msnm)</i>	<i>C_x</i>	<i>C_y</i>
9812E	FANLO REFUGIO DE GORIZ	2.195	747095	4727839
9446I	SALLENT DE GÁLLEGO-RESPOMUSO	2.145	721050	4744004
9834E	RENCLUSA	2.140	799158	4730575
9840D	ERISTE (REFUGIO ANGEL ORUS)	2.115	783505	4725218
9660	SANT MAURICI (LLAC)	1.920	828668	4722101
9837E	BENASQUE (REFUGIO DE ESTOS)	1.890	785267	4730637
9451A	PANTICOSA (REFUGIO CASA PIEDRA)	1.645	726380	4738155
9216D	ISABA, EL FERIAL	1.591	679444	4758506
9208H	ARAGÜES DEL PUERTO-REFUGIO DE LIZARRA	1.540	694118	4737450
9445	SALLENT DE GALLEGO (FORMIGAL)	1.500	715246	4739127

Para mostrar porque han sido rechazadas algunas de las estaciones se han creado las tablas 9 y 10 donde se detalla cuantos meses de cada estación no han sido registrados y a que altura se encuentra dicho observatorio tanto para temperatura como para precipitación.

**Tabla 9.** Meses sin registrar con datos de temperatura

<i>Observatorio</i>	<i>Altitud (msnm)</i>	<i>Meses que faltan</i>
ARATORES MOLINO	920	2
<b>PANTICOSA-ESQUI</b>	<b>1.830</b>	<b>1</b>
BIESCAS-BUBAL	1.100	1
ARAGÜÉS DEL PUERTO	1.040	3
<b>SALLEN DE GÁLLEGO-FURCO</b>	<b>1.844</b>	<b>8</b>
<b>BACHIMANA-REFUGIO</b>	<b>2.190</b>	<b>6</b>
AYERBE	582	1
AINSA, LA SERRETA	610	4
BENASQUE	1.120	2
SERRADUY	775	2
BERBEGAL	475	1
ISABA	820	5
RONCESVALLES	947	9
SOS DEL REY CATÓLICO	626	9
ILUNDAIN	572	3
ARTIES	1.161	4
TALARN	807	6
ABELLA DE LA CONCA "L'ISIDRE"	760	1

**Tabla 10.** Meses sin registrar con datos de precipitación

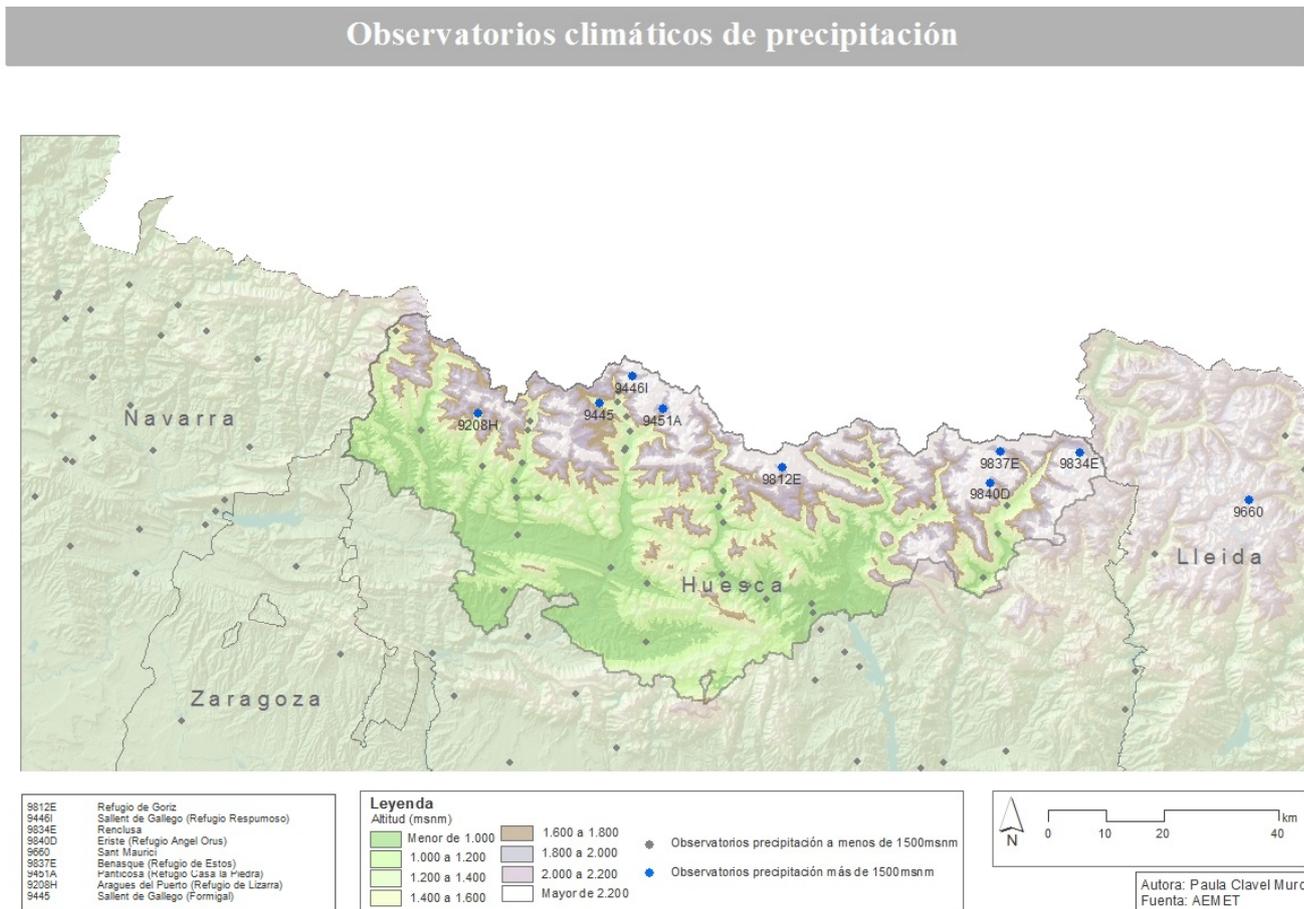
<i>Observatorio</i>	<i>Altitud (msnm)</i>	<i>Meses que faltan</i>
BAILO,PUYLATO	722	2
<b>PANTICOSA-ESQUI</b>	<b>1.830</b>	<b>1</b>
PINETA (PRESA)	1.150	1
BIELSA - REFUGIO PINETA	1.240	1
<b>SALLEN DE GÁLLEGO-FURCO</b>	<b>1.855</b>	<b>8</b>
<b>BACHIMANA-REFUGIO</b>	<b>2.190</b>	<b>6</b>
AYERBE	582	1
AINSA, LA SERRETA	610	7
LINAS DE BROTO	1.333	1
FRAJEN	1.113	3
BENASQUE (ESCUELA DE MONTAÑA)	1.150	5
SERRADUY	775	4
EL TORMILLO-TERREU	400	1
<b>ISABA, EL FERAL</b>	<b>1.591</b>	<b>1</b>
ABELLA DE LA CONCA "L'ISIDRE"	760	1
ISABA	820	1
OROZ-BETELU	635	3
RONCESVALLES	947	10
NAVASCUÉS	615	1
SOS DEL REY CATÓLICO	626	9
MURILLO DE GALLEGO	510	2
CABDELLA-CENTRAL	1.278	1
SENERADA "AJUNTAMENT"	728	1
ARTIES	1.161	2
BOSSÒST-CENTRAL	725	1

Los campos comunes que se han incluido para cada una de los observatorios en la base de datos anual tanto de precipitación y temperatura son los que se muestran en la tabla 11.

**Tabla 11.** Campos comunes en la base de datos anual

<i>Campo</i>
INDICATIVO
NOMBRE
ALTITUD
C_X
C_Y
P_TOTAL_ANUAL
T_MES_ANUAL
T_MAX_ANUAL
T_MIN_ANUAL

Se van a realizar 4 tipos de cartografías anuales, una por variable. Pero como se analiza el cambio que sufre la zona de estudio con y sin los observatorios a más de 1500 msnm; se trata de un total de 8 cartografías anuales. En las figuras 6 y 7 se muestra la localización de los observatorios tanto de precipitación como de temperatura que finalmente van a servir para el estudio a nivel anual.



**Figura 6.** Mapa de localización de los observatorios con datos de precipitación.

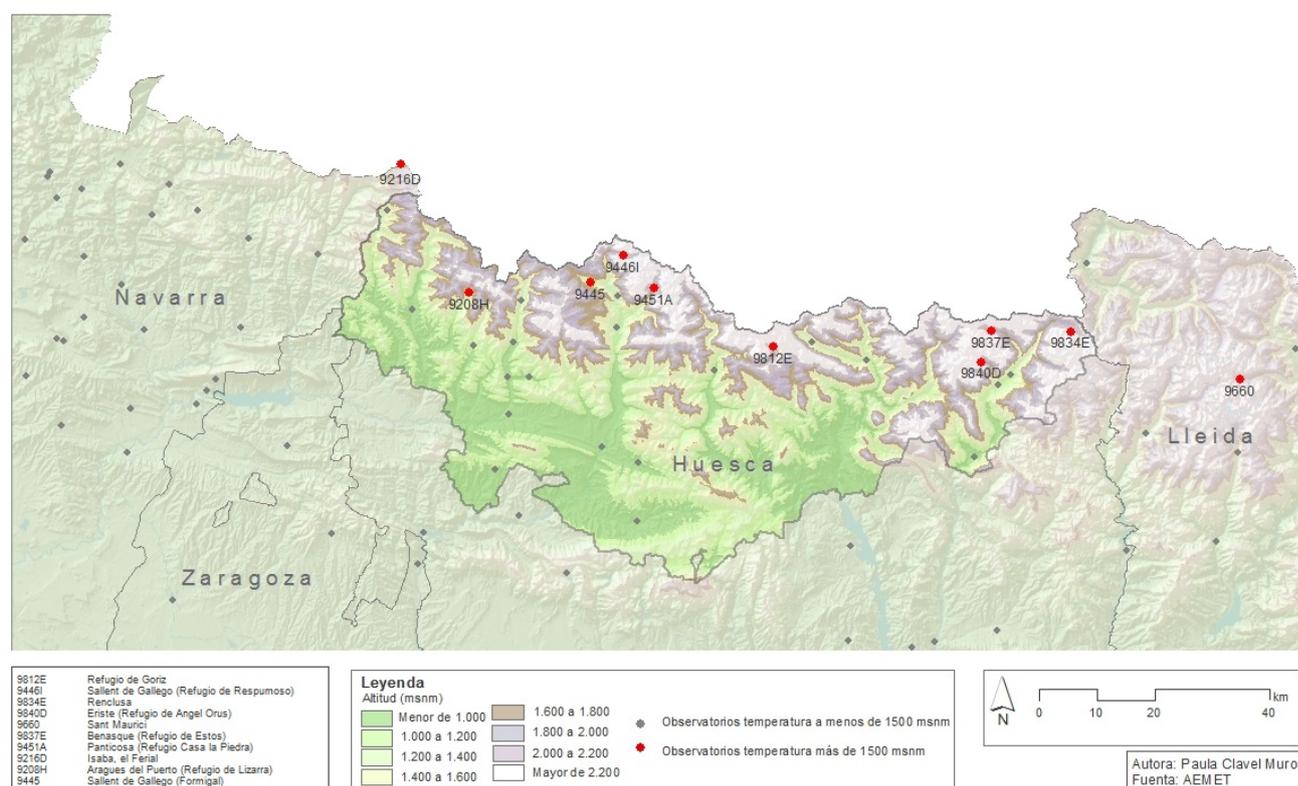


Figura 7. Mapa de localización de los observatorios con datos de temperatura.

### Base de datos estacional

Para calcular la base de datos estacional tanto para la temperatura como para la precipitación hay que tener en cuenta como se organizan las estaciones del año con el método meteorológico.

El modelo de las estaciones del año basado en la astronomía presenta limitaciones cuando se analiza el año de manera meteorológica, teniendo en cuenta indicadores como la temperatura y la precipitación. Así, el verano astronómico no coincide con la fase del año con mayor temperatura ni el invierno con la de menor temperatura, y la primavera astronómica en casi todos los casos es ligeramente más cálida que el otoño astronómico. Por tal razón, en la meteorología la división del año en estaciones es ligeramente diferente:

- Primavera: trimestre con ascenso de temperatura, en esta época empieza a florecer todo lo devastado por el invierno pasado (marzo, abril y mayo en el hemisferio norte; septiembre, octubre y noviembre en el hemisferio sur).
- Verano: trimestre con mayor temperatura (junio, julio y agosto en el hemisferio norte; diciembre, enero y febrero en el hemisferio sur).
- Otoño: trimestre con descenso de temperatura, en esta época se empiezan a caer las hojas de los árboles y plantas (septiembre, octubre y noviembre en el hemisferio norte; marzo, abril y mayo en el hemisferio sur).
- Invierno: trimestre con menor temperatura, en esta época en las zonas que están fuera del trópico cae nieve (diciembre, enero y febrero en el hemisferio norte; junio, julio y agosto en el hemisferio sur).

Por todo esto, son necesarios los datos de los observatorios de diciembre del 2011 para calcular los datos de la estación de invierno. Estos datos han sido depurados de igual manera que la señalada para el año 2012. En algunos casos este dato no estaba presente por lo que para el posterior cálculo se ha tenido en cuenta y no se ha podido calcular el valor de la temperatura para los inviernos de algunos observatorios.

Una vez recopilada y depurada la información, para calcular el valor estacional de precipitación y temperatura para cada observatorio ha sido necesario sumar el valor de cada mes que corresponde a cada estación y dividirlo por el número total de meses disponible para cada estación, 3 meses. Lo correcto es que estén disponibles los 3 meses para cada una de ellas pero en algunos casos y sobre todo en invierno a veces no sucede, debido a esto y siguiendo la metodología del estudio anual se han seleccionado estrictamente aquellos observatorios que tengan la totalidad de meses en cada observatorio relleno.

El número de cartografías estacionales que se quieren realizar son un total de 32, donde en 16 de ellas se tienen en cuenta estas zonas montañosas y en las otras 16 no.

A continuación, se muestran aquellos observatorios en zonas montañosas del Pirineo que aportan datos para estudiarlos a nivel estacional. Se trata de un total de 13 observatorios que van de los 1.500 msnm; de Formigal hasta los 2.195 msnm; del refugio de Goriz. Esta lista se incluye en la tabla 12.

**Tabla 12.** Observatorios a más de 1500 m a nivel estacional.

<i>Indicativo</i>	<i>Nombre</i>	<i>Altitud (msnm)</i>	<i>C<sub>x</sub></i>	<i>C<sub>y</sub></i>
9812E	FANLO REFUGIO DE GORIZ	2.195	747095	4727839
9451D	BACHIMANA-REFUGIO	2.190	726772	4740083
9446I	SALLENT DE GÁLLEGO-RESPOMUSO	2.145	721050	4744004
9834E	RENCLUSA	2.140	799158	4730575
9840D	ERISTE (REFUGIO ANGEL ORUS)	2.115	783505	4725218
9660	SANT MAURICI (LLAC)	1.920	828668	4722101
9837E	BENASQUE (REFUGIO DE ESTOS)	1.890	785267	4730637
9445E	SALLENT DE GALLEGO-FURCO	1.855	713999	4737544
9452E	PANTICOSA-ESQUI	1.830	723046	4731469
9451A	PANTICOSA (REFUGIO CASA PIEDRA)	1.645	726380	4738155
9216D	ISABA, EL FERIAL	1.591	679444	4758506
9208H	ARAGÜES DEL PUERTO-REFUGIO DE LIZARRA	1.540	694118	4737450
9445	SALLENT DE GALLEGO (FORMIGAL)	1.500	715246	4739127

A pesar de que 13 observatorios a más de 1.500 msnm; son utilizados para el estudio a nivel estacional, solo 11 observatorios se utilizan para casa estación. Esto es debido a que los meses no están completos en su totalidad y dependiendo del observatorio falta un mes u otro. A continuación, en la tabla 13, se detalla cuáles son los observatorios que no intervienen en cada estación del año.

**Tabla 13.** Observatorios que no participan en cada estación del año.

<i>Estación del año</i>	<i>Observatorios que no participan</i>
Primavera	Bachimaña y Sallent de Gallego - Furco
Verano	Bachimaña y Sallent de Gallego - Furco
Otoño	Panticosa esquí y Sallent de Gallego - Furco
Invierno	Bachimaña y Isaba el ferial

A modo de resumen, destacar que 40 son las cartografías con base climatológica del Pirineo Central y las zonas limítrofes, donde 8 son representados de manera anual y 32 de manera estacional. 20 mapas teniendo en cuenta alturas superiores a 1.500 msnm; y otros 20 mapas si tener en cuenta estos datos.

## 4.2. Creación de la cartografía base del Pirineo Central

### 4.2.1. Información disponible

Como datos de partida en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica se cuenta por un lado una capa raster, el Modelo Digital de Elevaciones de la zona noreste de España a 100 metros procedente del Instituto Geográfico Nacional de España. El formato raster divide el espacio en un conjunto regular de celdillas, cada una de estas celdillas contiene un número que puede ser el identificador de un objeto (si se trata de una capa que contiene objetos) o del valor de una variable (si la capa contiene esta variable). Un MDE es una estructura de datos numérica que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno y que solo puede aceptar una cota por localización XY. Se trata de un Modelo Digital del Terreno donde la variable representada es la altitud. Se utiliza este modelo digital de elevaciones, ya que se va a tratar de modelizar el gradiente altitudinal respecto a variables climáticas.

Con las mismas características que el MDE mencionado y obtenidas mediante herramientas SIG a partir de éste, se dispone además de otras 3 capas raster. Longitud, latitud y el coseno de la orientación.

Por otro lado, también se cuenta con dos líneas de costa, la del mar Cantábrico y la del mar Mediterráneo. Esta información está representada mediante capas Vectoriales. En el formato vectorial los diferentes objetos se representan como puntos, líneas o polígonos. En este caso se trata de líneas.

Se dispone de más capas vectoriales que forman el mapa base como son las capas poligonales de municipios y de provincias con el sistema de proyección ETRS89, en concreto 30 N.

### 4.2.2. Elaboración de cartografías base

Como se ha señalado al inicio del trabajo, la zona de estudio es el Pirineo español más concretamente el Pirineo Central por lo que se ha seleccionado un total de 39 municipios por su importancia en datos climatológicos y poseer zonas donde se disponen de datos en altura de más de 1.500 msnm. Por otro lado, ha sido necesario para dar continuidad al modelo información de las provincias limítrofes. Se ha excluido del análisis la vertiente cantábrica de la Comunidad Foral de Navarra por tener una dinámica climática muy diferente a la que se puede dar en el resto del noreste peninsular. Todas las operaciones que se van a llevar a cabo en este apartado se han realizado mediante el software propietario ArcGIS.

Gracias a la herramienta *Drawing*, se ha realizado un rectángulo para delimitar el área de estudio grande. Esta herramienta se encuentra en la barra de herramientas *Draw* del software ArcGIS. Se ha exportado como capa vectorial de tipo polígono, para así poder ir delimitando cada una de las capas que se van a ir creando y no ralentizar el proceso por poseer demasiada información y en esta ocasión innecesaria.

Una vez delimitada el área de estudio, y gracias a las capas vectoriales de ríos, se calcula sus distancias. Esto se realiza gracias a la herramienta *Euclidean Distance* que ofrece ArcGIS. Esta herramienta describe la relación de cada celda con un origen o un conjunto de orígenes basándose en la distancia de la línea recta. Proporciona la distancia desde cada celda en el raster hasta el origen más cercano. El origen identifica la ubicación de los objetos de interés, en este caso los observatorios tanto de precipi-

tación como de temperatura. Como el origen es una entidad, se transformará internamente en un raster cuando ejecute la herramienta.

La distancia euclidiana se calcula desde el centro de la celda de origen hasta el centro de cada una de las celdas circundantes.

Mediante la configuración del entorno hay que especificar la extensión de salida. Indicar que realice solo la capa raster para la zona seleccionada en este caso para el área de estudio únicamente.

La configuración del entorno de Extensión de salida define qué entidades o raster procesará una herramienta. Esta configuración es útil cuando necesita procesar sólo una parte de un Dataset más grande. En este caso se ha utilizado un rectángulo para seleccionar entidades y raster de entrada para el procesamiento.

El raster de salida de la distancia euclidiana incluye la distancia medida desde cada celda hasta el origen más cercano. Siempre señalando que la capa generada posea un tamaño de celda de 100 m como el MDE utilizado, para que todo guarde las mismas proporciones. Esto mismo se ha realizado para la línea de costa del cantábrico y del mediterráneo.

Para las capas longitud, latitud, el coseno de la orientación y las 3 nuevas capas de distancias generadas se realiza un recorte del Pirineo Central y sus alrededores, es decir, de la zona de estudio que abarca las provincias de alrededor. Esto es posible gracias a la herramienta *Extract by Mask* situada dentro de *Spatial Analyst Tools*. Esta herramienta extrae las celdas de un raster que corresponden a las áreas definidas por una máscara. En ella se detalla que capa raster quieres recortar y posteriormente la extensión de salida, donde se selecciona el área de estudio.

Una vez que todas las capas están recortadas adecuadamente se puede empezar a combinar información geográfica con climatológica ya que todos los datos están listos para las distintas operaciones.

Las variables a analizar y las variables condicionantes se muestran en la tabla 14.

**Tabla 14.** Variables que participan en el estudio

<i>Variables condicionantes</i>	<i>Variables a analizar</i>
Modelo Digital del Terreno 'MDT'	Temperatura media
Longitud	Temperatura máxima
Latitud	Temperatura mínima
Coseno de la orientación	Precipitación total acumulada
Distancia a los ríos	
Distancia a la costa Cantábrica	
Distancia a la costa Mediterránea	

#### Transformar la información numérica a una capa puntual

Una vez que disponemos de la información depurada en Excel se incorpora a ArcGIS para convertir esa información a puntos y poder ser visualizada en un mapa. Cada variable a analizar posee una hoja de cálculo Excel por lo que hay que repetir esta acción tantas veces como variables hemos considerado. Además, cada una de estas variables se ha analizado disponiendo datos en alturas superiores a los 1500m o no; por lo que este proceso se duplica.

Para ello hay que utilizar la opción “*Add XY data*” señalando el sistema de proyección adecuado que en este caso es:

*Projected Coordinate System:*

*Name: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_30N*

En esta herramienta hay que señalar cuales son dichas coordenadas en los campos de longitud y latitud que viene indicada en cada una de las hojas de cálculo Excel que se han generado. De esta manera ArcGIS procesa la información y añade una nueva capa puntual donde cada punto corresponde a una fila de la tabla añadida, es decir, a un observatorio de la zona de estudio y a una información concreta de la variable a analizar.

### Integración de los valores de las variables geográficas en cada variable a analizar

El procedimiento cartográfico comienza con la selección de las variables independientes que a priori tienen un importante papel en la explicación de la variabilidad espacial de diferentes elementos del clima. Estas variables corresponden a capas en formato raster obtenidas a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) o de diferentes procedimientos de análisis, fundamentalmente cálculo de distancias en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y se obtuvieron a una resolución espacial de 100 m de celda, cubriendo toda el área de estudio. Esta resolución espacial determina la definición de las cartografías climáticas finales.

Las variables independientes consideradas son la longitud, la latitud, la distancia al mar Mediterráneo, la distancia la mar Cantábrico, distancia a los ríos y finalmente el propio MDE.

Las variables topográficas permiten tener en cuenta la influencia de la altitud al explicar la distribución espacial de las variables climáticas, aunque otras variables del terreno también se utilizaron como predictores, principalmente la distancia a los mares Cantábrico y Mediterráneo, que explican la posición de cada celda respecto a las direcciones principales de las masas de aire que llegan a la región y que afectan de forma muy importante al clima de Aragón. También se incluyeron algunas variables relacionadas con el efecto de las inversiones térmicas (distancia a ríos), además de la latitud y longitud que de forma potencial recibe cada punto del espacio en función de su relieve, que informa sobre la exposición y permite considerar el efecto de los flujos de viento de diferente dirección sobre la distribución espacial de precipitaciones y temperaturas.

Toda la información que se ha generado a partir del MDE no sería significativa para el propósito del trabajo si no la integramos en la información existente. Como información existente señalar aquellos observatorios de precipitación y de temperatura distribuidos por el Pirineo Central y sus alrededores. Se trata de 8 bases de datos anuales de las cuales 2 son de precipitación y 6 de temperatura y 32 bases de datos estacionales donde 8 son de precipitación y 24 son de temperatura; todas ellas capas puntuales.

Para integrar la información generada a esas capas de puntos, se ha utilizado la herramienta *Extract multivalued to points* dentro de *Extraction* en el paquete de *SpatialAnalyst Tools*. Esta herramienta extrae valores de celda en ubicaciones especificadas en una clase de entidad de punto desde uno o más raster y registra los valores en la tabla de atributos de la clase de entidad de punto. Es decir, nos permite añadir la información de variables en una sola capa y en su tabla de atributos se pueden hacer operaciones entre ellas para obtener más información.

De esta forma, la información tanto de orientaciones, como de pendientes, etc, de los diferentes ráster que en el modelo aparecerán como predictores, queda añadida como atributos a la tabla de datos de cada una de las variables.

En cada uno de los observatorios se obtuvo el valor de cada una de las variables topográficas y geográficas independientes, creando una base de datos a partir de la que se realizó un análisis de regresión para cada variable de forma anual y estacional.

Después de tener la información de las 7 variables independientes dentro de la tabla de atributos de la variable a analizar, el siguiente paso es transformar esa nueva capa con formato shape en un formato

DBF. Se procede a la exportación de la tabla como DBF para que pueda ser leída por el programa estadístico SPSS y poder generar los modelos que posteriormente darán lugar a las cartografías.

En la tabla 15 se hace un recuento del número de observatorios utilizado en cada proceso cartográfico.

**Tabla 15.** Número de observatorios

<i>Variable</i>	<i>Anual</i>	<i>Invierno</i>	<i>Primavera</i>	<i>Verano</i>	<i>Otoño</i>
Temperatura media	84	96	97	95	91
Temperatura máxima	84	90	92	90	86
Temperatura mínima	84	96	97	95	91
Precipitación total acumulada	117	130	131	131	129

### **4.3. Método cartográfico**

El objetivo de este estudio se consigue desarrollando unos mapas climáticos para el Pirineo Central que presenten la máxima objetividad (usando técnicas estadísticas) y la mayor aproximación cartográfica posible (utilizando un SIG).

A la hora de elegir cual es el método adecuado para el procesamiento de los datos en este estudio, se ha tenido en cuenta el número de observatorios que disponemos para generar los modelos ya que esto es un factor clave de la fiabilidad o no de los resultados pero también de estudios anteriores en los que se explica con qué procedimiento o técnica se obtienen mejores resultados.

Es muy importante que a lo largo de toda la zona de estudio existan datos y que estén diseminados por el Pirineo Central ya que si los datos se encuentran concentrados en un mismo espacio puede lugar a error, ya que se subestima el resto del territorio dando mayor importancia un espacio de menores dimensiones. Los datos proporcionados por AEMET cumplen en gran medida esto debido a que se han podido encontrar observatorios en casi la totalidad de las altitudes de la zona.

El problema que existe es la obtención de una superficie de valores continuos a partir de los datos de estaciones meteorológicas disponibles en el territorio (estaciones de AEMET), teniendo en cuenta información geográfica como la altitud, la distancia a los ríos etc.

En el caso de variables climáticas existen un gran número de métodos de interpolación, desde los que se limitan a asignar a cada punto el valor de la observación más próxima (p.ej. vecino más cercano), hasta los que consideran explícitamente el estado sinóptico de la atmósfera en el proceso de interpolación (p.ej. interpolación condicionada, ver Hewitson y Crane, 2005; Herrera, 2011). El comportamiento de estos métodos depende principalmente de las escalas espacial y temporal, y la densidad de la red de estaciones considerada (Hofstra et al., 2008).

Diferentes técnicas de interpolación han sido desarrolladas para resolver algo tan común. En este caso basándose en estudios que apoyan el uso del análisis de regresión múltiple ya que proporciona información interesante sobre la relación entre factores geográficos y climáticos en el terreno del área de estudio. Por todo ello, se ha optado por utilizar con éxito una metodología de interpolación espacial basada en el análisis de regresión múltiple y corrección por residuales.

#### **4.3.1. Geoestadística y modelos de predicción espacial**

La cartografía geoestadística se basa en el uso de algoritmos semi-automatizados aplicando técnicas estadísticas cuantitativas. La cartografía geoestadística se define como una producción analítica de mapas utilizando observaciones de campo, parámetros definitorios, y un software informático que calcula los valores en las ubicaciones requeridas del área de estudio (Hengl, 2009).

En este modelo se predice el valor de temperatura o precipitación que tiene una celda en el terreno en base a las principales variables geográficas susceptibles de influir en el clima y de las que existe in-

formación en el SIG. Hay que tener muy presente que en el campo de la interpolación espacial no existe una solución única y dependiendo de la variable a interpolar, la complejidad geográfica del terreno... los métodos ofrecen resultados más o menos satisfactorios.

Los modelos geoestadísticos asumen que la variación espacial de una variable climática continua es demasiado irregular para ser modelada por una función matemática, y su variación espacial podría ser mejor predicha por una superficie probabilística. La ventaja frente a otros métodos es que tienen en cuenta la autocorrelación espacial de los datos.

Se han usado métodos globales y concretamente modelos de regresión múltiple. El análisis de regresión múltiple es una técnica de análisis multivariable en la que se establece una relación funcional entre una variable dependiente a explicar y una serie de variables independientes o explicativas, en la que se estiman los coeficientes de regresión que determinan el efecto que las variaciones de las variables independientes tienen sobre el comportamiento de la variable dependiente (Weisberg, S. 1985). Los métodos globales usan todos los observatorios. Crean modelos de dependencia entre los datos climáticos y otras variables independientes. Son inexactos porque los valores predichos no coinciden con los datos climáticos medidos sobre el terreno (Borrough & McDonnell, 1998). Para los Modelos de regresión múltiple, la elevación suele ser la variable independiente que un mayor porcentaje de varianza explica, en el caso de las variables climáticas. Junto a ella, es habitual incluir como variables explicativas la latitud, la longitud y la distancia al mar.

Para llevarlo a cabo se ha utilizado un software estadístico SPSS. El software de analítica perspectiva SPSS es uno de los programas estadísticos más conocidos teniendo en cuenta su capacidad para trabajar con grandes bases de datos y un sencillo interface para la mayoría de los análisis. En concreto se ha utilizado el módulo de modelos de regresión para calcular el modelo y los coeficientes para cada variable que se quiere representar.

SPSS también da la oportunidad de elaborar el histograma de cada modelo, que permite observar que la totalidad de los modelos siguen una distribución normal en forma de campana de Gauss. Y el gráfico de probabilidad normal de residuo tipificado.

Una vez que disponemos del DBF anterior dentro de SPSS, concretamente, en '*analizar-regresión lineal*' se encuentra una ventana donde se deben rellenar las variables que intervienen en el modelo y su método. Como variable dependiente se eligen las 4 señaladas anteriormente como variables a analizar y como variables independientes las 7 variables condicionantes señaladas en la tabla 14. También hay que indicar que el modelo lo realice mediante pasos sucesivos 'stepwise' para que vaya mostrando la importancia de cada variable en el modelo o si alguna ha sido eliminada en el proceso.

El análisis de regresión múltiple se ha realizado mediante el método de stepwise, o regresión por pasos (Draper, N. and Smith, H, 1981), el cual es una versión modificada del proceso de regresión hacia adelante en la que en cada nuevo paso, cuando se incluye una nueva variable, además se reconsidera el mantener las que ya se habían añadido previamente, es decir que no sólo puede entrar una nueva variable en cada paso sino que puede salir alguna de las que ya estaban en la ecuación. El proceso finaliza cuando ninguna variable de las que no están en la ecuación cumple la condición para entrar y de las incorporadas a la ecuación ninguna cumple la condición para salir. En la tabla 16 se muestran todas las variables empleadas, tanto dependientes como independientes.

Posteriormente, dentro del apartado de resultados, se mostrarán los coeficientes obtenidos para cada modelo y cómo se han utilizado para generar las cartografías.

**Tabla 16.** Variables dependientes e independientes en SPSS

<i>Variables dependientes</i>	<i>Variables independientes</i>
T <sup>a</sup> media Invierno con >1.500 msnm	Modelo Digital del Elevaciones 'MDE'
T <sup>a</sup> máxima Invierno con >1.500 msnm	Longitud
T <sup>a</sup> mínima Invierno con >1.500 msnm	Latitud
T <sup>a</sup> media Primavera con >1.500 msnm	Coseno de la orientación
T <sup>a</sup> máxima Primavera con >1.500 msnm	Distancia a los ríos
T <sup>a</sup> mínima Primavera con >1.500 msnm	Distancia a la costa Cantábrica
T <sup>a</sup> media Verano con >1.500 msnm	Distancia a la costa Mediterránea
T <sup>a</sup> máxima Verano con >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> mínima Verano con >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> media Otoño con >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> máxima Otoño con >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> mínima Otoño con >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> media Invierno sin >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> máxima Invierno sin >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> mínima Invierno sin >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> media Primavera sin >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> máxima Primavera sin >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> mínima Primavera sin >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> media Verano sin >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> máxima Verano sin >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> mínima Verano sin >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> media Otoño sin >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> máxima Otoño sin >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> mínima Otoño sin >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> media anual con >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> media anual sin >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> máxima anual con >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> máxima anual sin >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> mínima anual con >1.500 msnm	
T <sup>a</sup> mínima anual sin >1.500 msnm	
Precip acumulada anual con >1.500 msnm	
Precip acumulada anual sin >1.500 msnm	
Precip acumulada invierno con >1.500 msnm	
Precip acumulada invierno sin >1.500 msnm	
Precip acumulada Primavera sin >1.500 msnm	
Precip acumulada Primavera con >1.500 msnm	
Precip acumulada Verano sin >1.500 msnm	
Precip acumulada Verano con >1.500 msnm	
Precip acumulada Otoño sin >1.500 msnm	
Precip acumulada Otoño con >1.500 msnm	

Este proceso se repite un total de 40 veces ya que se quieren representar 4 variables pero de forma anual, estacional y con observatorios a las de 1.500 msnm. El resultado es un conjunto de tablas que explican el proceso seguido. Las tres tablas más importantes son las variables inducidas o eliminadas, el resumen del modelo y los coeficientes de la regresión.

La tabla de las variables inducidas o eliminadas indica cuales de las variables independientes toman mayor partido en el modelo o si alguna de ellas ha sido eliminada por su nula influencia.

El resumen del modelo hace un balance de como de explicado ha sido el modelo y con qué número de variables variable ha sido capaz de explicarlo así como sus nombres. Esto lo indica con su error cuadrático medio.

Por último, la tabla de los coeficientes ofrece los valores que van a ser incluidos en una ecuación para calcular su mapa de regresión, se trata de los coeficientes no estandarizados.

De acuerdo al procedimiento previamente explicado, el valor de la variable climática en los puntos donde no existe información se obtiene mediante la siguiente función de transferencia:

$$z(x) = b_0 + b_1P_1 + b_2P_2 + \varepsilon$$

Z(x) = Valor a estimar en un punto x,y

b0 = Constante

b1 y b2 = Coeficientes de la regresión

P1= Valor de la variable 1 en el punto x,y

P2 = valor de la variable 2 en el punto x,y

Esta ecuación varía para las diferentes variables climáticas que se analizan con mayor o menor número de coeficientes de regresión.

Como ejemplo, se muestra una ecuación resultante, correspondiente a la temperatura máxima anual incluyendo los observatorios a más de 1.500 msnm, que se utiliza para la predicción de forma especializada mediante álgebra de capas en un entorno SIG que da lugar a un mapa de regresión:

$$TMAX\_C=34,649+ (-0,0069667*MDE)+( 0,0000121619* Distancia al Mediterráneo)$$

Para insertar estos coeficientes en el SIG, debemos utilizar nuevamente el paquete de *ArcMap Spatial Analyst Tools* dentro del cual se elige la herramienta *Map Algebra y Raster calculator*. El software ofrece una herramienta que permite realizar operaciones algebraicas con capas raster. La herramienta de la calculadora raster construye y ejecuta una expresión simple de álgebra de mapas utilizando la sintaxis de Python en una interfaz símil calculadora. Permite crear y ejecutar una expresión de Álgebra de mapas que generará como salida un raster. Como resultado se ha obtenido mapas potenciales, puesto que hasta el momento no han sido corregidos mediante residuos de regresión.

Dado que los resultados de la modelización no son exactos, es decir, que la aplicación de los modelos de regresión múltiple hace que las predicciones no coinciden con el valor medido en los observatorios meteorológicos. Existe un error conocido en la predicción final, denominada residual, causada por las variaciones locales del clima que no reproducen bien los modelos generales obtenidos mediante regresión múltiple. Este error se corregirá posteriormente.

#### 4.3.2. Técnica de interpolación

Una vez que disponemos de los mapas procedentes del modelo de regresión se ha creído conveniente corregirlos usando los residuales, proceso destacado en estudios como los de Ninyerola *et al.* (2007). Estos procesos son aquellos denominados como mixtos, que combinan las ventajas de la aplicación de los métodos globales y su capacidad para mostrar las variaciones a escala regional del atributo cartografiado, con los métodos locales y sus ventajas a la hora de captar las variaciones debidas a factores locales. En este punto podemos recordar lo señalado antes para laderas a barlovento y sotavento. La corrección por residuales se basa en la diferencia entre observados y predichos, mediante la resta de la interpolación de éstos a los valores predichos iniciales.

#### Corrección de residuales

Para obtener los residuales se ha restado a los valores observados (capa vectorial de las estaciones meteorológicas) los valores predichos por el modelo de regresión (capa raster de los mapas procedentes del modelo de regresión) usando los operadores matemáticos de ArcGIS. Puesto que el resultado es una matriz raster, se ha enriquecido la capa vectorial de las estaciones meteorológicas con los valores residuales. Estos valores residuales se han interpolado espacialmente para la zona de estudio, usando

interpoladores que priman la variabilidad local como las funciones radiales (Radial Basis Functions). De este modo, se conserva el valor exacto calculado en la base de datos para cada observatorio y una distribución coherente de la variable en la zona de estudio, incluyendo la variabilidad local del clima en esas pautas espaciales globales.

Las funciones radiales son métodos locales que no utilizan información auxiliar y únicamente se sirven de los datos climáticos de los observatorios existentes en la base de datos. Captan bien la variabilidad de alta frecuencia, es decir, las variaciones del clima debidas a factores de carácter más local. Las funciones radiales poseen un ajuste similar al de ajustarse una membrana de goma a lo largo de los puntos observados, minimizando el total de la curvatura de la superficie. Según la función de las cinco elegidas, el ajuste a los valores observados será diferente.

Los residuos del ajuste de regresión, en cada estación meteorológica, reflejan la variación inexplicada (variables no consideradas) como errores metodológicos acumulados producidos en la obtención de los valores en las estaciones o en el proceso realizado posteriormente.

Finalmente, estos mapas de residuos se han agregado a los mapas resultantes de la regresión mediante álgebra de mapas para conseguir mejorar el modelo.

Una vez generados los mapas finales se ha creído necesario elaborar mapas donde se muestren las diferencias térmicas y pluviométricas que surgen al elaborar los dos tipos de cartografía, este tipo de mapa en el anexo se denomina mapa de diferencias. De esta manera se obtendrá un resultado visual de la importancia de utilizar datos en observatorios en altura. Para ello se ha restado a cada mapa obtenido sin tener en cuenta observatorios a más de 1.500 msnm los mapas que si los tienen en cuenta gracias a la calculadora de mapas de ArcGIS que se ha mencionado anteriormente.

#### **4.4. Análisis de casos particulares: inversiones térmicas**

El Valle de Tena ha sido el área elegida para estudiar fenómenos, concretamente, inversiones térmicas por las características que se han detallado en el apartado 3 del trabajo.

Inicialmente, diferencias altitudinales como las de Goriz a 2.195 msnm y Pineta a 1.300 msnm en apenas 7 km (en distancia euclidiana) y la orientación de las laderas de los diferentes valles, fueron estudiadas debido a que generan una enorme variedad climática. El problema de esta zona es la carencia de observatorios, por lo que el modelo no es viable. Goriz y Pineta únicamente poseen 3 observatorios cercanos, el de Torla a 1.053 msnm y los de Bielsa a 1.095 msnm y a 990 msnm. Por todo esto, el Valle de Tena con 9 observatorios meteorológicos, 6 de ellos a más de 1.500 msnm es el área más adecuada para este estudio.

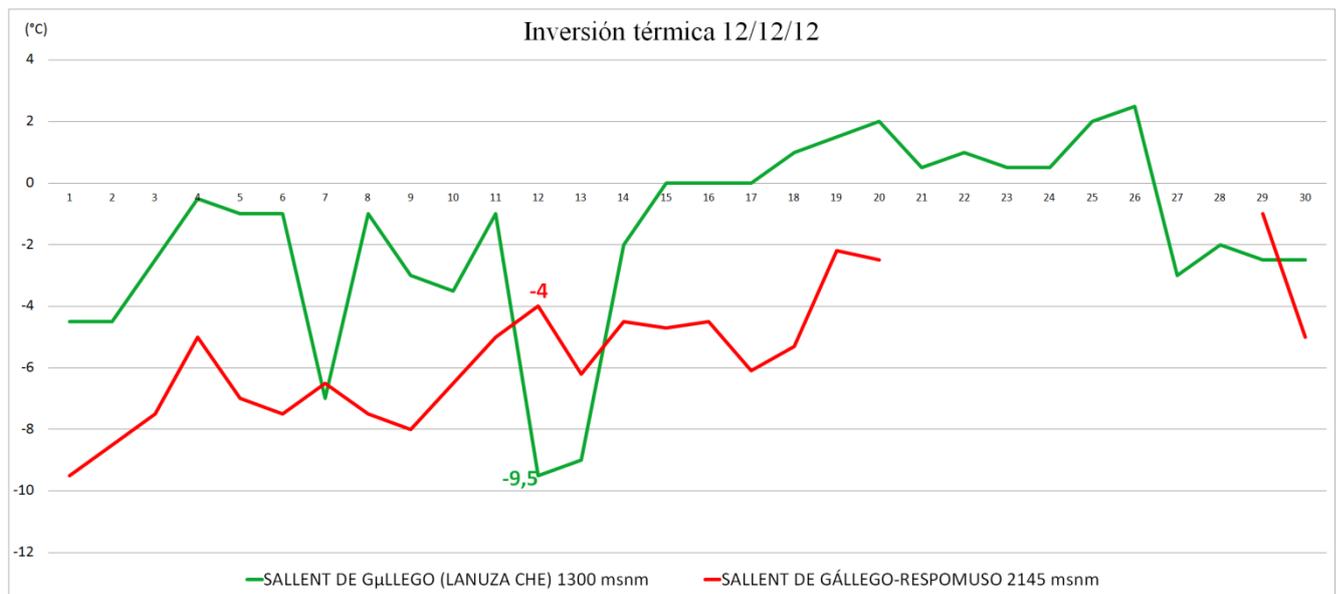
##### *Inversión térmica*

En una situación climatológica normal, el aire de las capas bajas es más caliente que el de las superiores, lo cual le lleva a ascender hasta enfriarse. Ello permite una continua circulación atmosférica en sentido vertical que renueva el aire de las diferentes capas. La temperatura del aire disminuye con la altura, de tal manera que en una atmósfera normal libre hay una disminución de 0.64 a 1°C cada 100 metros en la zona más próxima a la superficie de la tierra, llamada tropósfera; por encima de ella la temperatura disminuye más rápidamente. Cuando hay inversión térmica ocurre lo contrario, la temperatura del aire aumenta según ascendemos. Esto ocurre especialmente en invierno. En las noches des-

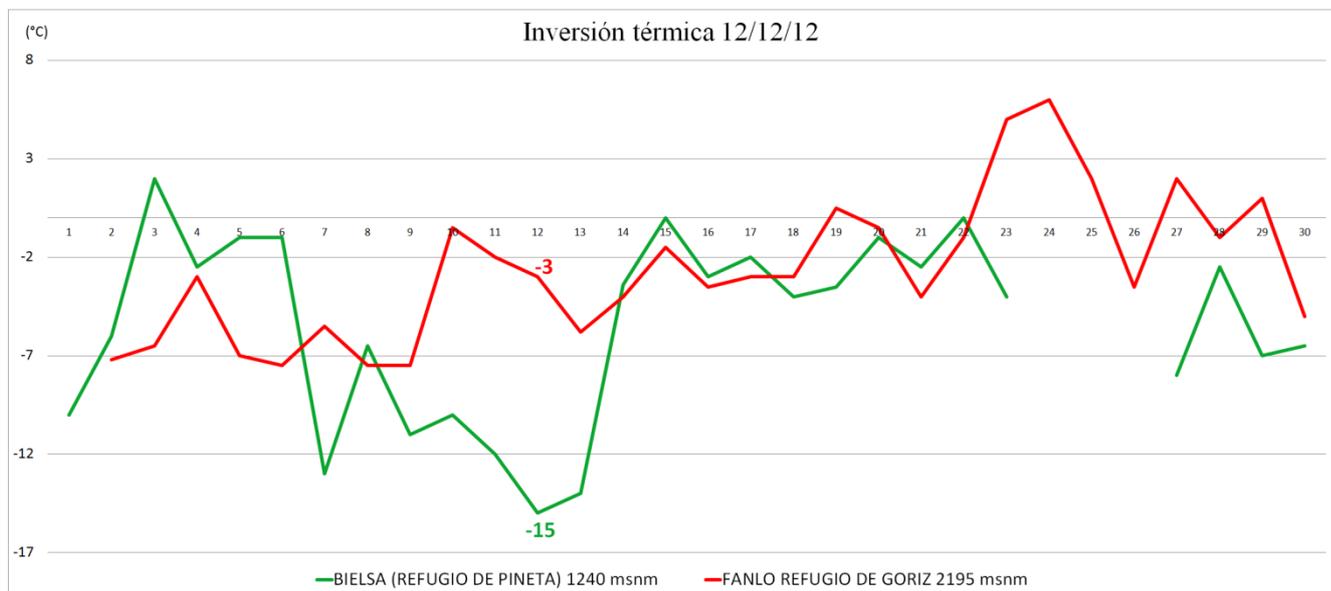
pejadas bajo condiciones de estabilidad atmosférica el suelo se enfría rápidamente y por consiguiente pierde calor por radiación, a su vez enfría el aire que entra en contacto con él haciéndolo más frío que el que está en las capas superiores cercanas a él, lo cual ocasiona que se genere una temperatura positiva con respecto a la altitud. Esto provoca que la capa de aire caliente quede atrapada entre las 2 capas de aire frío sin poder circular, ya que la presencia de la capa de aire frío cerca del suelo le da gran estabilidad. Este aire frío pesa más, no puede ascender y no se mezcla. Generalmente, la inversión térmica se termina cuando se calienta el suelo, con lo cual, restablece la circulación normal en la tropósfera. El fenómeno climatológico se presenta normalmente en las mañanas frías sobre los valles de escasa circulación de aire en todos los ecosistemas terrestres.

Debido a las características de una inversión térmica, se han analizado los datos diarios de invierno de los observatorios del Valle de Tena para el año 2012. Diciembre, por la persistencia de situaciones anticiclónicas, ha resultado ser el mes con una mayor frecuencia de días de inversión térmica y en concreto se ha elegido el día 12. En la figura 8, se observa como ha sido la dinámica en dos de los observatorios de la zona: Sallent de Gállego-Respomuso 2.145 msnm y Sallent de Gullego (Lanuza che) 1.300 msnm; y como el día 12 de diciembre del 2012 existe una diferencia entre ellos de 5,5°C, donde a 2.145 msnm existe una temperatura de -4°C y a 1300 msnm -9,5°C.

Para corroborar que ese día es donde se ha producido una inversión térmica más notable, se ha realizado otro gráfico, la figura 9, de otra zona donde se observa una diferencia muy destacable de 12 grados entre Bielsa (Refugio de Pineta) a 1.240 msnm y el Refugio de Goriz a 2.195 msnm. Donde a 2.195 msnm existe una temperatura de -3°C y a 1.240 msnm -15°C.



**Figura 8.** Gráfico de inversión térmica el día 12/12/12 en el Valle de Tena.



**Figura 9.** Gráfico de inversión térmica el día 12/12/12 fuera del Valle de Tena.

## 5. RESULTADOS

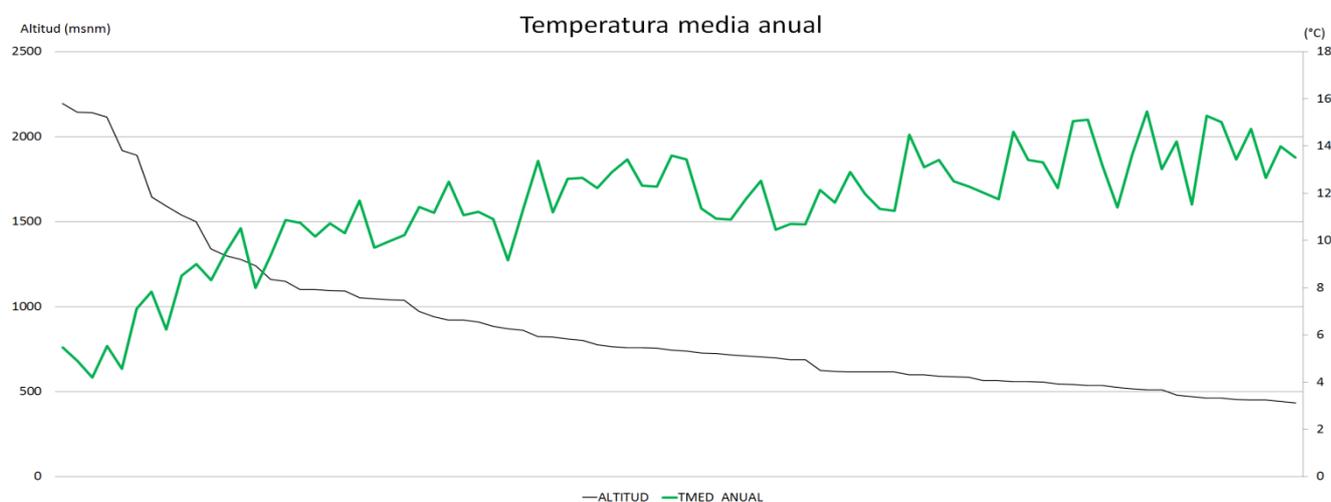
Dentro de este apartado se van a ir mostrando cada uno de los resultados logrados. Además, las cartografías finales no hubieran sido posibles si en cada uno de los objetivos anteriores no se hubieran conseguido resultados satisfactorios.

### *Gráficos tendencias*

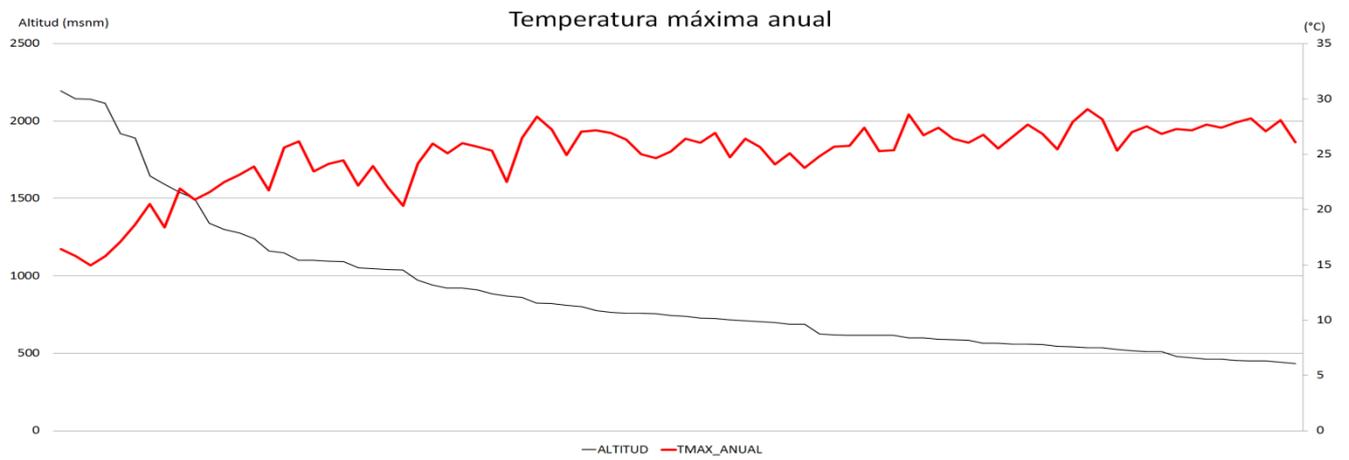
Como rasgos generales para observar cual es la tendencia de las 4 variables en función de la altura se han realizado gráficos que se muestran en las figuras 8, 9, 10 y 11 donde se puede comprobar que a lo largo del año analizado la tendencia común esperada para cada una de ellas se cumple.

Se trata de mostrar la relación que existe entre cada variable y la altura, incluyendo cada uno de los observatorios meteorológicos.

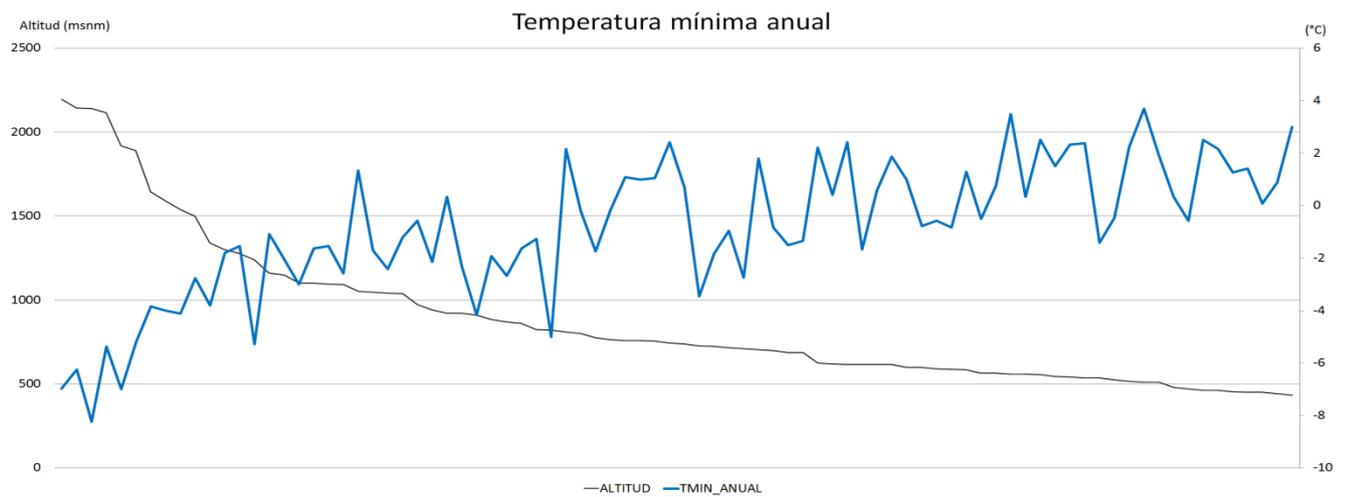
Para las temperaturas se confirma que a mayores altitudes como son las montañas del Pirineo Central más baja es la temperatura debido a las condiciones climáticas y geográficas del terreno como se puede observar en la figura 8. Por ello, en la gráfica 9 se puede ver que las temperaturas máximas anuales van aumentando a medida que disminuimos en altitud. Lo mismo ocurre con las mínimas, en la figura 10 se corrobora que a mayores altitudes, mayor es la temperatura mínima en los observatorios.



**Figura 8.** Tendencia de la temperatura media anual

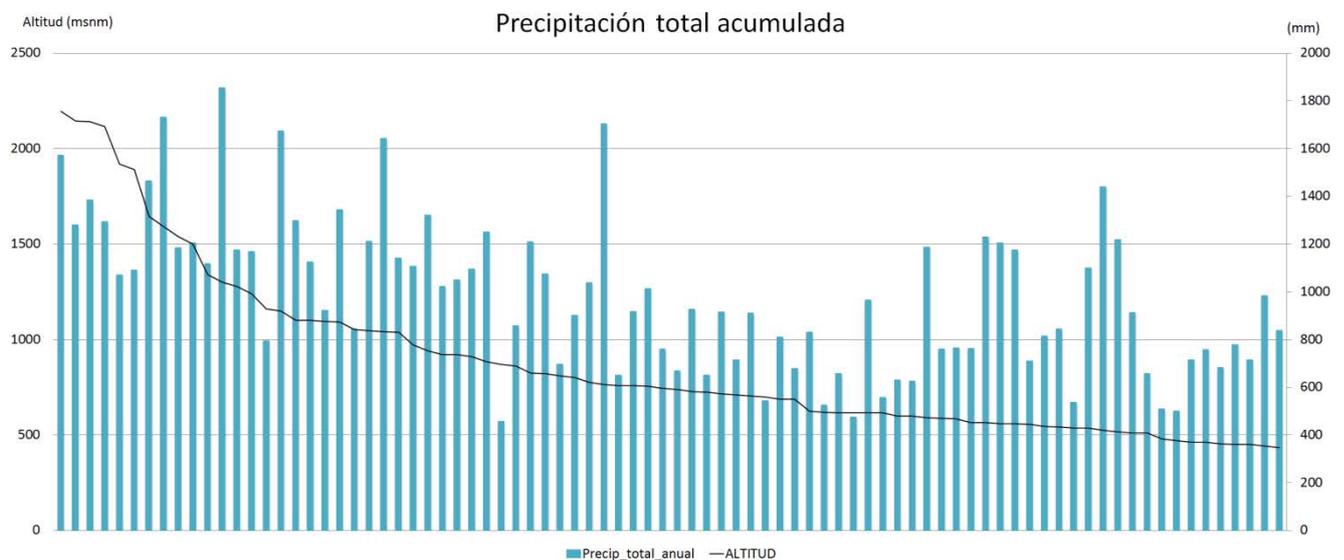


**Figura 9.** Tendencia de la temperatura máxima anual



**Figura 10.** Tendencia de la temperatura mínima anual

En cuanto a la precipitación, los grandes sistemas montañosos siempre se han caracterizado por ser zonas de abundantes lluvias por efecto de la topografía sobre las masas de aire cargadas de humedad y la convección. A medida que se disminuye en altitud estas precipitaciones tienden a ser menores. Este hecho se corrobora en la figura 11. Aunque esto se cumple, existen observatorios a menor altura donde las precipitaciones son mayores; esto es debido a situaciones que se han explicado anteriormente relacionada con los vientos.



**Figura 11.** Tendencia de la precipitación total acumulada anual

El primer análisis se centra en discernir la significación de las variables predictivas utilizadas en nuestra cartografía final e identificar aquellas que tienen más relevancia en la distribución de las variables. El segundo se va a subdividir en función de las variables cartografiadas; las precipitaciones y las temperaturas; en dónde se hará un análisis general de las tendencias comunes de manera anual y estacional, centrándonos en los patrones espaciales que se generan y las diferencias que se producen teniendo en cuenta los observatorios en zonas más elevadas que muestran las cartografías.

### 5.1 Análisis de las variables predictivas

Como se ha explicado en la metodología, SPSS hace un proceso correlativo de regresión por pasos para identificar las variables predictivas que mejor se adaptan a esa variable dependiente en ese espacio de tiempo. Se quieren identificar las variables predictivas más significativas de manera estacional y anual; y si estas variables incorporadas se perciben en la cartografía final generada de la misma manera en todas ellas. A todo esto hacen referencia las tablas 17 y 18.

**Tabla 17.** Variables predictivas integradas en los modelos.

	<i>Tª media</i>	<i>Tª máxima</i>	<i>Tª mínima</i>	<i>Precip Total acumulada</i>
<i>Con obs &gt;1500 msnm</i>	MDE Dist. Atlántico Dist. Ríos	MDE Longitud Latitud	MDE Dist. Ríos Dist. mediterráneo	MDE Dist. Atlántico Longitud Dist. mediterráneo
<i>Sin obs &gt;1500 msnm</i>	MDE Dist. Atlántico Dist. Ríos	MDE Latitud Longitud	MDE Dist. Ríos Dist. mediterráneo	MDE Dist. Atlántico Longitud Dist. mediterráneo

**Tabla 18.** Variables predictivas integradas en los modelo.

	<i>Tª media</i>	<i>Tª máxima</i>	<i>Tª mínima</i>	<i>Precip Total acumulada</i>
<i>Invierno Con obs &gt;1500 msnm</i>	MDE Latitud	MDE Dist. mediterráneo	MDE	Longitud MDE Dist. Ríos
<i>Invierno Sin obs &gt;1500 msnm</i>	MDE Latitud	Dist. Mediterráneo MDE	MDE	Longitud MDE Dist. Ríos
<i>Primavera Con obs &gt;1500 msnm</i>	MDE Dist. Atlántico Longitud Dist. Mediterráneo	MDE Longitud	MDE Longitud	MDE Dist. Atlántico Dist. Mediterráneo
<i>Primavera Sin obs &gt;1500 msnm</i>	MDE Dist. Atlántico Longitud Dist. Ríos	MDE Longitud	MDE Longitud	MDE Dist. Atlántico Dist. Mediterráneo
<i>Verano Con obs &gt;1500 msnm</i>	MDE Latitud	MDE Latitud	MDE Latitud Dist. Ríos	MDE Longitud Dist. Mediterráneo
<i>Verano Sin obs &gt;1500 msnm</i>	Latitud MDE	MDE Latitud	MDE Latitud Dist. Ríos	MDE Longitud Dist. Mediterráneo
<i>Otoño Con obs &gt;1500 msnm</i>	MDE Latitud	MDE Longitud	MDE Dist. Ríos Longitud	Latitud MDE Dist. Atlántico Dist. Mediterráneo

<i>Otoño Sin obs &gt;1500 msnm</i>	MDE Latitud	MDE Longitud	MDE Longitud Dist. Rios	Latitud MDE Dist. Atlántico Dist. Mediterráneo
------------------------------------	----------------	-----------------	-------------------------------	---

En primer lugar, señalar que hay diferencias en función en las variables explicativas del modelo tanto a nivel anual como estacional, y como en función de la estación del año incide además del MDE y la latitud o longitud, la distancia al Mediterráneo, al Atlántico y a los ríos.

Es importante destacar que en todos los modelos generados aparece como variable explicativa principal el Modelo Digital de Elevaciones (MDE); pudiéndose discernir los fondos de valle y zonas de montaña. A pesar de esto hay alguna ocasión que el MDE ocupa una posición secundaria en razón de su importancia cuantitativa en el modelo, como es el caso de la precipitación estacional de invierno y otoño, precipitación frontal muy condicionada por la orientación y la potencia de la perturbación y por tanto por la longitud o la distancia a los mares.

Por otro lado, las variables significativas teniendo en cuenta los observatorios a más y menos 1.500 msnm son prácticamente las mismas y no se encuentran diferencias significativas a la hora de explicar los modelos con excepciones de orden en alguna de ellas como ocurre con la temperatura media de verano. Por lo tanto, esto no aporta información clara de si existe alguna variable que explica mejor los modelos teniendo en cuenta observatorios en zonas altas. A pesar de esto, como se verá con el valor de R obtenido en cada modelo, no poseen la misma precisión en cuanto al porcentaje de varianza explicada que presenta el modelo si tenemos en cuenta el R<sup>2</sup>.

El número de variables significativas para cada modelo varía desde una, en el caso de las temperaturas mínimas de invierno, hasta cuatro de las precipitaciones anuales, la precipitación en otoño o la temperatura media de primavera.

A nivel estacional las variables que explicaban los modelos a nivel anual se siguen manteniendo a nivel estacional pero con matices. Para la temperatura media destaca primavera que explica el modelo con 4 variables y no con dos como el resto. Esto quiere decir que es capaz de explicar el modelo con más precisión que las anteriores y generará un R mayor como se verá en la tabla 20.

La temperatura mínima estacional destaca porque en invierno únicamente utiliza el MDE para explicar el modelo tanto con o sin observatorios a más de 1500 msnm lo que denotará un R menor con la consiguiente baja exactitud del modelo. En cambio en el resto de estaciones las variables son 2, 3 o incluso 4. Los valores de R se muestran en la tabla 19 y 20.

**Tabla 19.** Valor de R para los datos anuales

	T <sup>a</sup> media	T <sup>a</sup> máxima	T <sup>a</sup> mínima	Precip Total acumulada
<i>Con obs &gt;1500 msnm</i>	0,95	0,943	0,85	0,820
<i>Sin obs &gt;1500 msnm</i>	0,894	0,818	0,710	0,822

**Tabla 20.** Valor de R para los datos estacionales

	T <sup>a</sup> media	T <sup>a</sup> máxima	T <sup>a</sup> mínima	Precip Total acumulada
<i>Invierno Con obs &gt;1500 msnm</i>	0,86	0,746	0,668	0,636
<i>Invierno Sin obs &gt;1500 msnm</i>	0,65	0,589	0,302	0,649
<i>Primavera Con obs &gt;1500 msnm</i>	0,964	0,943	0,859	0,803
<i>Primavera Sin obs &gt;1500 msnm</i>	0,913	0,775	0,663	0,847
<i>Verano Con obs &gt;1500 msnm</i>	0,966	0,952	0,809	0,8
<i>Verano Sin obs &gt;1500 msnm</i>	0,93	0,849	0,732	0,761
<i>Otoño Con obs &gt;1500 msnm</i>	0,962	0,923	0,864	0,799
<i>Otoño Sin obs &gt;1500 msnm</i>	0,892	0,741	0,711	0,831

La modelización, muestran los mejores resultados para los datos anuales donde los valores de R superan siempre el 0.7, un 70% del modelo explicado.

Las temperaturas medias, tanto a nivel estacional como anual, son las que mayor R ofrecen en sus modelos. Las máximas también ofrecen elevados valores de R pero no tanto las mínimas, con valores de R de 0,302. Este tipo de temperaturas en invierno sobre todo en zonas de montaña como la aquí analizada, experimentan a menudo fenómenos de inversión térmica que complican la construcción de modelos en los que la variable predictiva fundamental es la altitud.

Normalmente, considerando los observatorios con alturas superiores a 1500 msnm el ajuste y grado de explicación del modelo es superior que cuando no se les ha tenido en cuenta. Esto sucede siempre a nivel anual pero a nivel estacional existen una excepción: la precipitación. La precipitación estacional sin y con observatorios a más de 1500 msnm, tiene valores de R muy similares entre sí. A diferencia de la temperatura, en la precipitación no se puede asegurar que los modelos que tienen en cuenta valores de observatorios en altura son mejores. A pesar de eso, la precipitación acumulada anual, posee unos ajustes buenos ya se explica más de 70% del modelo en casi la totalidad de los modelos a excepción de invierno.

La explicación puede estar relacionada con una atmosfera más libre sin superficie terrestre alrededor y con menos masa para ser calentada o enfriada, a medida que aumentamos en altura, debido a que el aire se empieza a calentar desde el suelo.

#### *Eventos particulares*

En el caso del Valle de Tena, la zona de estudio para analizar las inversiones térmicas, el ajuste del modelo, en concreto para el día 12 de diciembre del 2012, es inferior a la situación que representan las medias estacionales y anuales. Esta diferencia viene dada por el aumento variabilidad del clima con el aumento de la escala temporal. Se obtiene un valor de R para la temperatura mínima de invierno con observatorios a más de 1.500 msnm de 0.798 con y de 0.709 sin tenerlo en cuenta. Un ajuste bastante alto aunque teniendo en cuenta que se trata de dato diario. El dato diario introduce mucha más incertidumbre y variabilidad, con un porcentaje mucho mayor de aparición de datos extremos, que a escala mensual podrían considerarse datos anómalos. Aun así, el ajuste teniendo en cuenta los datos de observatorios en altura sigue siendo superior por lo que la hipótesis inicial se corrobora.

**Tabla 21.** Valor de R y variables explicativas para el Valle de Tena

	T <sup>a</sup> mínima R	T <sup>a</sup> mínima (variables explicativas)
<i>Con obs &gt;1500 msnm</i>	0,798	Longitud Dist. Atlántico Dist. Ríos
<i>Sin obs &gt;1500 msnm</i>	0,709	Longitud Dist. Atlántico Dist. Ríos

En la tabla 21 es significativamente importante la ausencia de la altitud como variable explicativa del modelo. Esta variable no aparece en ninguno de los dos casos y puede ser debido a que existen situaciones climáticas donde la temperatura está más condicionada por aspectos como son el viento, la humedad del aire o la radiación que por la altitud, situación característica de las inversiones térmica. El día analizado es un día de invierno (12-12-12), caracterizado por presentar situaciones anticiclónicas fuertes que impiden el ascenso del aire y concentran la poca humedad en los valles y cuencas, dando lugar a nieblas persistentes y heladas. Es frecuente en las mañanas frías sobre los valles de escasa circulación de aire en todos los ecosistemas terrestres. También se presenta en las cuencas cercanas a las laderas de las montañas en noches frías debido a que el aire frío de las laderas desplaza al aire caliente de la cuenca provocando el gradiente positivo de temperatura.

## **5.2 Diferencias espaciales en la cartografía de variables climáticas al incluir observatorios por encima de los 1.500 msnm.**

En este apartado vamos a mostrar los resultados obtenidos de la comparación entre los mapas finales obtenidos para las distintas variables climáticas considerando una red de observatorios en la que no existen registros en altura y otra en la que se incluyen todos aquellos con información fiable por encima de los 1.500 msnm. Como veremos en los párrafos siguientes hay variables en la que aún existiendo diferencias entre ambos mapas no son significativas. Sin embargo, en ocasiones, determinadas variables sí muestran diferencias que justificarían la necesidad de trabajar con esta información y la tarea de su recuperación.

Para el cálculo del *error residual* que se muestran las anomalías en cada modelo, se ha ejecutado la siguiente expresión que se ha mencionado anteriormente:

$$\text{Precip. Observada AEMET} - \text{Precip. Predicha regresión múltiple}$$

Dónde:

- *Valores positivos*: La precipitación o temperatura está subestimada (color azul)
- *Valores negativos*: La precipitación o temperatura está sobrestimada (color rojo)

El objetivo de estas cartografías es el de realizar la corrección del modelo de regresión múltiple mediante los residuales. Sin embargo la distribución espacial de estos errores y su análisis comparada en las dos bases de datos aporta información a nuestro juicio relevante sobre el resultado de la modelización espacial.

Los mapas de diferencias ofrecen una comparación cuantificada entre los mapas obtenidos de las dos bases de datos. Para su obtención ha utilizado la siguiente expresión:

Dónde:

- *Valores positivos:* anomalía positiva. Sin tener en cuenta los observatorios en altura la precipitación es mayor y las temperaturas son más cálidas (color azul)
- *Valores negativos:* anomalía negativa. Sin tener en cuenta los observatorios en altura la precipitación es menor y las temperaturas son más frías (color amarillo).

Los mapas tanto residuales, reales o de diferencias para cada variable, en la gran mayoría de las ocasiones poseen su propia escala, dado que así se facilita el análisis de la variabilidad espacial del error y de las diferencias en la zona de estudio a partir de las dos cartografías (con más o menos observatorios). No ha resultado operativo que las escalas fueran las mismas en todas las variables debido a que los efectos producidos en las zonas montañosas no eran visibles de esa manera. Por lo que se ha optado por crear escalas diferentes para cada variable y periodo de tiempo, pero iguales entre si cuando se analiza una misma variable. Por ejemplo: la temperatura media de las mínimas de invierno con observatorios a más de 1.500 m y sin ellos poseen la misma escala. De esta manera, se observan adecuadamente los cambios generados en esas zonas.

### ***Precipitación: análisis de los residuales de los modelos y de los mapas de diferencias***

En una primera aproximación se observa que se genera un mayor error residual cuando no se han tenido en cuenta observatorios a más de 1.500 msnm, hecho que puede traducirse en una mejor construcción de los modelos, al menos a la hora de la plasmación espacial de la variable analizada, cuando se dispone de esos datos en altura.

En cuanto a los mapas de precipitación total acumulada tras la corrección por residuales, destaca que cuando se tiene en cuenta información de los observatorios en altura la cantidad de precipitación detectada es menor tanto a nivel anual y estacional. Esto se observa sobre todo en las zonas montañosas cuando se analiza el mapa diferencial. La modelización sin observatorios en altura parece pues sobrestimar los valores predichos de precipitación en esas zonas, lo que en principio puede llevar a errores en cuanto a la cuantificación del recurso agua en las cabeceras de los ríos, fundamental para una adecuada planificación hidrológica.

A nivel estacional, los resultados muestran una señal similar, evidenciándose una menor precipitación en zonas de montaña sobre todo en verano con diferencias en torno a los 75 mm, cuando utilizamos información en altura. Pero existen 4 zonas donde se localizan 4 observatorios en altura que muestran una mayor cantidad de precipitación si estos se incluyen, entre 50 y 100 mm. En primavera destaca el mismo observatorio que de manera anual pero en invierno la zona se localiza en torno al Refugio de Casa la Piedra a 1642 msnm. Por último, en otoño se localiza en dos zonas, a 2.140 msnm en Renclusa y a 1.642 msnm en el refugio de Casa la Piedra.

### ***Temperatura: análisis de los residuales de los modelos y de los mapas de diferencias***

Existen 3 variables para evaluar la temperatura: temperatura media, máxima y mínima. La magnitud del error residual es bastante similar de manera anual y estacional a excepción de la temperatura mínima que posee los valores residuales más altos. En concreto, hay que destacar la temperatura mínima de invierno donde se producen más sobrestimaciones y subestimaciones de la temperatura algo que

justifica que posea bajos valores de R. Por otro lado, las temperaturas medias destacan por tener el error residual más bajo.

En cuanto a los mapas finales se observan tendencias para cada variable. A nivel anual cuando no se tiene en cuenta observatorios a más de 1.500 msnm las temperaturas suelen ser más cálidas en las zonas montañosas. En torno a 1°C más en las temperaturas medias, 2°C o más en las temperaturas máximas y 1°C o más en las mínimas. Pero existen excepciones como se dan en Sallent de Gallego (Formigal), en el refugio de Goriz o de Ángel Orus en Eriste donde las temperaturas sin tener en cuenta a los observatorios en altura son más frías, en torno a un grado. Estos últimos están a más de 2.100 msnm.

A nivel estacional las evidencias son más visibles. Para la temperatura media estacional se observan normalmente anomalías positivas en entornos de montaña que varían en magnitud según la estación del año. Durante el invierno hay zonas como Renclusa a 2.140 msnm que teniendo en cuenta los observatorios en alturas, se obtienen temperaturas más de 3 °C inferiores que si no se les tiene en cuenta. Esto mismo ocurre en primavera y en verano en Sallent de Gallego- Respumoso con hasta 2°C inferiores.

En contraposición, el refugio de Lizarra a 1.540 msnm destaca por poseer una anomalía negativa con temperaturas hasta 2 °C superiores cuando se tiene en cuenta dichos observatorios en altura.

En lo que se refiere a las temperaturas máximas como rasgos generales, cuando se utilizan datos de observatorios en altura la temperatura máxima es más fría en todas las estaciones a excepción de invierno que sucede el caso opuesto y en otoño en una localización concreta de la zona de estudio.

Durante primavera y verano destacan las anomalías positivas en las zonas montañosas pero durante otoño y sobretodo en invierno estas anomalías se convierten en negativas. Destaca como anomalía positiva más fuerte los observatorios en altura de Ángel Orus y de Estos donde se obtiene una temperatura máxima hasta 4°C más baja cuando se tienen en cuenta los observatorios en altura. Como anomalía negativa más fuerte, se encuentra la zona donde se localiza el refugio de Lizarra con una temperatura máxima de hasta 4°C más alta cuando se tienen en cuenta dichos observatorios en alturas. Pero también sufren anomalías positivas en invierno Sallent de Gallego Formigal, Respumoso y el refugio de Casa la Piedra.

Las temperaturas mínimas estacionales también tienden a ser más frías cuando se analizan alturas superiores a los 1.500 msnm pero existe otra excepción, verano.

En el mapa de diferencias de la temperatura mínima de invierno se observa una anomalía positiva en Panticosa a 1.830 msnm. Esto se refleja en que sin tener en cuenta observatorios en las zonas montañosas se obtiene una temperatura mínima hasta 4°C mayor que teniéndolos en cuenta. En primavera ocurre lo mismo pero con el observatorio de Respumoso por lo que se comprueba que es necesario utilizar estos datos ya que si no se subestima la temperatura mínima de invierno.

En otoño se observa lo contrario, una anomalía negativa en el refugio de Angel Orus con una temperatura mínima hasta 2 °C menor que teniéndolos en cuenta. Pero si hay algo que llama la atención son las mínimas de verano con una marcada anomalía negativa en la zona del Valle de Tena. Sin tener en cuenta los observatorios en altura, se estima una temperatura mínima hasta 12°C inferior en Sallent de Gallego Respumoso que teniéndolos en cuenta. Algo que se extiende a lo largo de todo el complejo montañoso en verano.

## *Inversión térmica*

Los resultados en lo que a la inversión térmica se refiere son muy evidentes. De los observatorios en altura incluidos en la zona de estudio, 4 de ellos han sufrido la anomalía negativa. En las zonas donde se encuentran Sallent de Gálleo Furco (1.855 msnm), el refugio de Bachimaña (2.190 msnm) y Pantico-sa esquí (1.830 msnm) obtienen una temperatura mínima hasta 4°C superiores que cuando estos observatorios en altura no se incluyen en el estudio. Pero sobretodo destaca Sallent de Gallego Respumoso (2.145 msnm) llegando a tener hasta 6°C de diferencia. La inversión es evidente dado a que 3 observatorios que se encuentran a menos de 1.500 msnm poseen temperaturas inferiores de hasta 6 grados de diferencia con los observatorios en altura.

## 6. CONCLUSIONES

### *Conclusiones respecto a los resultados obtenidos*

En altura **sin datos de observatorios a más de 1.500 msnm, la temperatura y la precipitación tiende a sobrestimarse respecto a los valles** algo que se percibe mejor de manera estacional. Las temperaturas máximas tienden a sobreestimarse especialmente en verano respecto a los valles. En cuanto a las temperaturas mínimas sucede algo similar, que tienden a sobreestimarse en los valles excepto en situaciones de inversiones térmicas en Invierno, Otoño y Primavera. En cambio en verano, las temperaturas mínimas sin observatorios a más de 1.500 msnm son más frías que cuando se tiene en cuenta dichos observatorios.

En cuanto a lo que se refiere las inversiones térmicas señalar que el resultado es bueno pero sería positivo que se incluyera un **mayor número de estaciones meteorológicas**, incluso en alturas superiores. De esa manera, serían mucho más evidentes los resultados. Así, podría modelarse las inversiones térmicas para la totalidad del área de estudio y mostrar grandes contrastes como se producen entre el refugio de Goriz y Pineta que en ocasiones explican cambios notables en la ocupación del suelo.

Por otro lado, también sería **aventurado** decir que **la linealidad en los gradientes climáticos se desplaza indefinidamente en altura**. En relación a la precipitación, un aumento en altura lleva aparejado una disminución en la cantidad de agua precipitable. El efecto orográfico hace que se potencie la inestabilidad de las masas de aire y que por tanto precipite un volumen mayor. Sin embargo llega un momento en el que el gradiente ha de estabilizarse, algo que puede desprenderse de los resultados de este trabajo cuando hemos visto como las modelizaciones sin información en altura sobreestiman los datos de precipitación. También la temperatura puede ofrecer incertidumbres. En relación con la humedad relativa del aire y las diferencias en su composición, la variación en la temperatura no puede ser lineal, ni en el caso de un gradiente térmico vertical “normal”, caracterizado por el descenso térmico, ni en el de una inversión térmica. De ahí la necesidad de observaciones en altura que nos ayuden a acotar los gradientes, irreales por lo elevados en algunos casos según se desprende de la comparación entre los resultados de las cartografías de las dos bases de datos.

### *Futuras líneas de trabajo*

Como hemos visto, los mapas que aquí se presentan son fruto de la modelización de los distintos parámetros climáticos en un entorno SIG de trabajo con objeto de convertir una información puntual, registrada en observatorios climáticos instrumentales, en capas de información continua cuya expresión territorial viene determinada por un conjunto de factores que se han tenido en cuenta en el proceso metodológico que lleva hasta el mapa final.

El resultado son capas digitales que en nuestro caso tienen una resolución espacial de 100 m y que nos permiten visualizar gráficamente y con un alto grado de fiabilidad la distribución espacial de las variables climáticas sobre el territorio, pero nos posibilita además integrar esa información relativa al clima junto a otras variables de tipo ambiental en diferentes estudios que sobre el medio natural aragonés puedan a posteriori desarrollarse.

Destacar como mejoras gracias a la introducción de observatorios a más de 1.500 msnm, la posibilidad de **estudiar eventos particulares** como son inversiones térmicas. Este estudio es novedoso a nivel cartográfico aunque hay que tener en cuenta que con unas series climáticas más largas los resultados se evidenciarían a un más.

Por otro lado, su introducción facilita el estudio de variables climáticas en entornos de montaña con una geografía tan diversa y ayuda a perfeccionar su estudio. De manera general, a medida que aumenta la altura, la precipitación aumenta y la temperatura disminuye; pero esto puede ser seriamente modificado por las condiciones del terreno sobre todo por las geográficas. En este trabajo se ha demostrado que esto a veces no se cumple y de no poseer datos en altura no se podría demostrar.

Existe actualmente la necesidad de seguir trabajando en ello para **conseguir mejores bases de datos que son la clave para un buen estudio**. Debido a los resultados que se han obtenido con la introducción de datos de observatorios en altura, se cree imprescindible introducir mayor número de observatorios en altura para que los modelos posean un porcentaje de explicación mayor y que su ajuste con la realidad sea máximo. Durante este año se han ido introduciendo mayor número de observatorios en altura, 19 en total en el Pirineo Aragonés, que facilitan el estudio de la zona. De esta manera ayudará a conseguir unas bases de datos más reales y con mayor fiabilidad de lo que de verdad ocurre en el área de estudio.

Todos estos cambios son perceptibles en Benasque y en el Valle de Tena, de lo que se deduce que **es necesario al menos 5 observatorios a más de 1.500 msnm por valle para un adecuado GIS**.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Beck C, Grieser J y Rudolf B (2005). A new monthly precipitation climatology for the global land areas for the period 1951 to 2000. *Climate Status Report, 2004. German Meteorological Service*: 181-190.

Begert M, Schlegel T y Kirchhofer W (2005). Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. *International Journal of Climatology, 25*: 65-80.

Böhm R, Auer I, Schöner W, Ganekind M, Gruber C, Jurkovic C, Orlik A y Ungersböck M (2009). Eine neue Webseite mit instrumentellen Qualitäts Klimadaten für den Grossraum Alpen zurück bis 1760. *Wiener Mitteilungen Band 216*: Hochwässer: Bmessung, Risikoanalyse und Vorhersage.

Borrough PA y McDonnell RA (1998). Principles of Geographical Information Systems. *Oxford University Press, Oxford*

- Brunetti M, Buffoni L, Maugueri M y Nanni T (2006). Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology*, 26: 345-381.
- Draper NR y Smith H (1966). Applied regression analysis. New York: Wiley, 407 p.
- Espejo F, Ferraz J y Palomo M (2008). Tendencias recientes en las series de temperatura del Pirineo Central y Occidental. *VI Congreso Internacional de la AEC*, serie A, 6: 99-108.
- Esteban P, Prohom M y Aguilar E (2012). Tendencias recientes e índices de cambio climático de la temperatura y la precipitación en Andorra (1935-2008). *Pirineos*, 167: 71-88.
- González Hidalgo C, Brunetti M y de Luís M (2011). A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945-November 2005). *International Journal of Climatology*, 31: 715-731.
- Hengl T (2009). A practical guide to geostatistical mapping. *Office for Official Publications of the European Communities*, Luxembourg.
- Herrera, S. (2011): “Desarrollo, validación y aplicaciones de Spain02: Una rejilla de alta resolución de observaciones interpoladas para precipitación y temperatura en España”. *Tesis doctoral*. <http://www.meteo.unican.es/en/tesis/herrera>
- Hewitson B C y Crane R (2005). “Gridded area-averaged daily precipitation via conditional interpolation”. *J. Climate*, 18:41–57.
- Hofstra N, Haylock M, New M, Jones P, y Frei C (2008). “The comparison of six methods for the interpolation of daily european climate data”. *J. Geophys. Res.*, 113:D21110
- JCR (2010). Climate of the Carpathian Region. *European Commission Joint Research Centre*. <http://desert.jcr.ec.europa.eu/action/php/index.php>
- Klok, E.J. y Klein Tank, A. (2009): Updated and extended European dataset of daily climate observations. *International Journal of Climatology*, 29: 1182-1191.
- Mitchell TD y Jones PD (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology* 25, 693-712.
- Ninyerola M, Pons X y Roure J.M (2007). Objective air temperature mapping for the Iberian Peninsula using spatial interpolation and GIS. *International Journal of Climatology*.
- Soubeyroux JM, Jourdain S, Grimal D, Espejo F, Esteban P y Merz T (2011). Approche transfrontalière pour l’inventaire et la valorisation des données climatologiques sur le Massif des Pyrénées. *Colloque SHF “Eaux en montagne”*. Lyon.

Vicente Serrano SM, Saz Sánchez MA y Cuadrat JM (2003). Comparative-analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. *Climate research*. Vol. 24:161-189.

Weisberg S (1985). *Applied Linear Regression*, 2nd ed., *John Wiley, New York*, 324 pp.