

### 3. Síntesis metodológica



## 3.1.

# Elaboración de la base de datos

La información climática básica utilizada en este Atlas proviene de la amplia red de observatorios instrumentales de que dispone el Instituto Nacional de Meteorología (INM) en la Comunidad Autónoma de Aragón. La información referida a este territorio, se amplió con datos recogidos en observatorios situados en las provincias limítrofes, necesarios para el posterior desarrollo de la modelización cartográfica.

Sólo en Aragón, el número total de observatorios en los que existen datos de precipitación, temperatura o de ambas variables simultáneamente, supera los 900, cifra a la que habrían de añadirse los más de 400 considerados en las áreas limítrofes.

La disponibilidad real de estaciones meteorológicas se reduce significativamente cuando tras una evaluación preliminar de sus series temporales han de rechazarse aquellas que no cuentan con un número mínimo de registros de 15 años, así como las que muestran una elevada proporción de lagunas de información, es decir, de periodos en los que el observatorio dejó de funcionar y, por lo tanto, no registró datos meteorológicos.

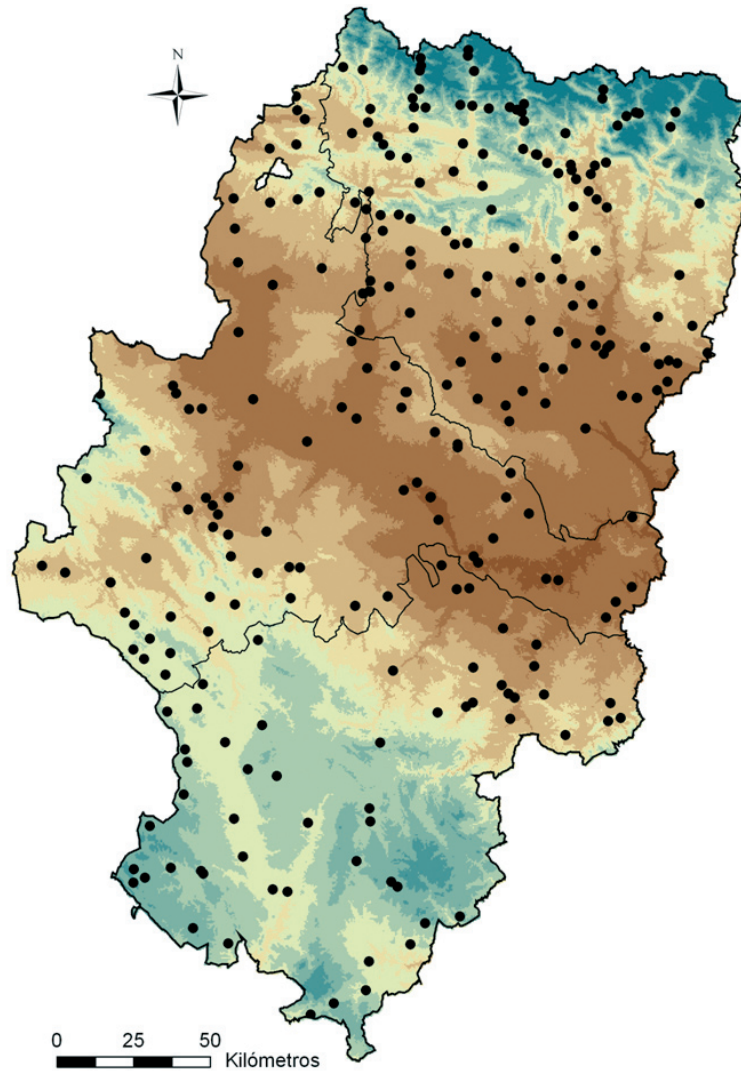
Nº de observatorios		Nº de observatorios	
Castellón	51	Navarra	53
Guadalajara	3	Soria	1
Huesca	123	Tarragona	18
La Rioja	4	Teruel	58
Lleida	23	Zaragoza	85

De esta forma, el número total quedó reducido a 419, casi un tercio de los que originalmente existían en las bases de datos del INM. En la tabla 1 se señala el número de observatorios por provincia, mientras que en las tablas 2, 3 y 4 se presenta, ordenado por provincias, un listado de los 266 observatorios localizados dentro de Aragón que registran, al menos, información sobre pluviometría.

En la figura 1 se ha cartografiado la distribución espacial de estos observatorios. Se trata de una red densa, pero no totalmente homogénea en el espacio, existiendo zonas en las que la densidad de puntos de observación es más baja.

El sector central del Valle del Ebro y los somontanos oscense e ibérico disponen de una buena red, densa y bien repartida sobre el territorio. También podemos

**Tabla 1.** ► Número total de observatorios por provincia disponibles en la base de datos utilizada para la cartografía de los elementos del clima en Aragón. El proceso de modelización cartográfica hace necesaria la utilización de datos procedentes de observatorios localizados fuera de la Comunidad Autónoma.



**Fig. 1.** Distribución espacial de los observatorios instrumentales disponibles en la Comunidad Autónoma de Aragón. En el mapa se han reflejado sólo aquellos que han pasado el primer control de calidad en relación al porcentaje de lagunas de información y longitud mínima de la serie de 15 años. Se trata de observatorios que recogen al menos información sobre precipitaciones.

considerar que existe una buena malla de estaciones meteorológicas en el área pirenaica, aunque apenas hay registros por encima de los 1.500 mts. Más deficiente es la cobertura que ofrece la provincia de Teruel, en especial en zonas como las Sierras de Gúdar y Javalambre así como en las serranías de menor altitud de Montalbán y Sant Just, en el centro de la provincia.

En la figura 2 se han señalado aquellos observatorios que registran información sobre temperaturas. Podemos ver cómo su número es significativamente menor que en el caso de observatorios con registros pluviométricos.

En cualquier caso, disponemos para este trabajo de datos sobre precipitación de un conjunto de 266 observatorios con series de al menos 15 años dentro de Aragón y de 121 en el caso de las temperaturas. A ellos habría de añadirse la información procedente de 153 observatorios de zonas limítrofes a la Comunidad en el caso de la precipitación y de 81 para las temperaturas.

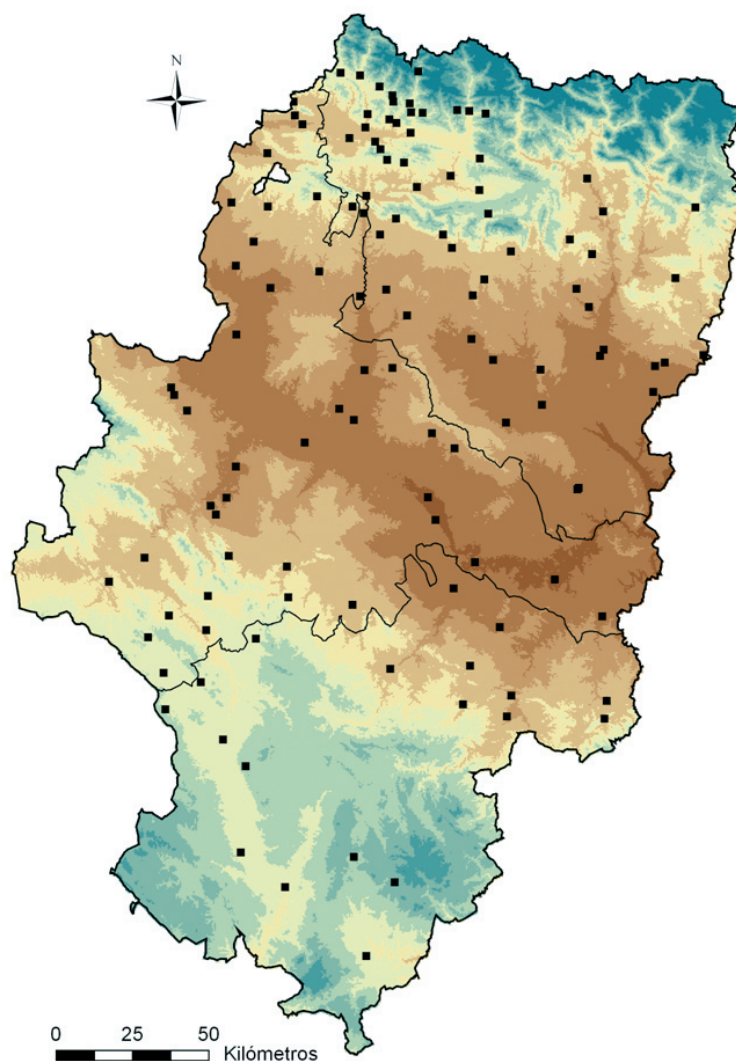
La longitud de las series es variable (el comienzo y final de las series se ha señalado en las tablas 2 a 4), si bien en un 73% estamos ante registros de más de 30 años y en un 42% series de más de 50 años. Nos encontramos así ante un volumen de datos que en el caso de las series mensuales de precipitación alcanza los 223.572 registros y 250.421 en las temperaturas (en esta variable aunque la

Cód.	Nombre del observatorio	Año Inicio	Año final	Cód.	Nombre del observatorio	Año Inicio	Año final	Cód.	Nombre del observatorio	Año Inicio	Año final
9198	Canfranc Arañones	1916	2002	9841	Sesue 'Central'	1919	2002	9480o	Gurrea de Gallego	1979	2002
9200	Bescos de Garcipollera	1955	2002	9853	Serraduy 'DGA'	1963	2002	9483a	Lupiñén	1947	2002
9201	Castiello de Jaca	1928	2002	9862	Radiquero	1954	2002	9491u	La Paul	1943	2002
9202	Jaca	1928	2002	9864	Huerta de Vero	1945	2002	9759e	Camporrels DGA	1955	2002
9206	Santa Cruz de la Seros	1969	2002	9865	Barbastro el Pueyo	1945	2001	9784e	Parzan	1941	2002
9207	Hecho	1956	2002	9866	Barbastro 'Comarcal'	1973	2002	9789a	Gistaín	1961	2002
9209	Embún	1970	2002	9870	Peralta de la Sal DGA'	1929	2000	9806e	Labuerda	1950	2002
9210	Javierregay	1955	2001	9874	Berbegal	1951	2002	9808a	Ainsa 'Comarcal'	1961	2002
9212	Ansó	1928	2001	9875	El Tormillo-Terreu	1949	2002	9814e	Frajen	1963	2002
9446	Sallent de Gállego	1953	2002	9878	Belver Cinca-Julia	1928	2002	9815i	Sarvise	1953	2002
9452	El Pueyo de Jaca	1940	2002	9885	Panzano	1969	2002	9818e	Javierre de Ara	1961	2002
9455	Yesero	1970	2002	9886	Abiego	1954	2002	9818i	Santa Olaria de Ara	1962	2002
9460	Sabiñánigo	1941	2002	9887	Angüés 'Silo'	1951	2002	9820e	San Felices	1961	2002
9461	Yebra de Basa	1970	2002	9889	Nocito	1950	2002	9821e	Campodarbe	1961	2002
9463	Hostal de Ipiés	1949	2002	9891	Sesa	1945	2002	9824i	Latorrecilla	1962	2002
9474	La Peña 'Embalse'	1961	2002	9896	San Julian de Banzo	1950	2002	9828u	Camporrotuno	1979	2002
9476	Agüero	1956	2002	9897	Apiés	1929	2002	9829e	Arcusa	1964	2002
9477	Linas de Marcuello	1954	2002	9898	Huesca Monflorite	1951	2002	9832a	Naval 'D.G.A.'	1987	2002
9478	Ayerbe	1943	2002	9900	Nueno	1961	2002	9861U	Barcabo 'DGA.'	1987	2002
9484	Aniés	1950	2002	9907	Alcubierre 'Silo'	1928	2002	9864I	Salas Bajas 'Covisa'	1940	2002
9485	Loarre	1957	2002	9908	Lanaja	1947	2002	9869E	Castejón del Puente	1967	2002
9487	Loscorrales Artasona	1950	2002	9910	Pallaruelo de Moneg.	1953	2002	9871B	Monzón Silo	1935	2002
9489	La Sotonera 'Embalse'	1918	2002	9911	Ontiñena	1961	2002	9872C	Monzón 'Comarcal'	1987	2002
9491	Almudévar-granja	1942	2002	9913	San Esteban de Litera	1912	2002	9872I	Monzón 'Icona'	1983	2002
9756	Benabarre 'comarcal'	1987	2002	9916	Altorricón	1956	2002	9874U	Monesma	1975	2002
9761	Santa Ana 'Embalse'	1913	2002	9918	Tamarite de Litera	1965	2002	9874V	Selgüa Silo	1977	2002
9782	Pineta 'Presa'	1928	2002	9195u	Aisa Rioseta	1975	2002	9888I	Pertusa	1969	2002
9787	San Juan de Plan	1962	2002	9198e	Canfranc 'Central I.P.'	1983	2002	98890	Siétamo 'D.G.A.'	1988	2002
9791	Serveto	1941	2002	9199b	Villanúa	1947	2002	9893E	Lastanosa-Lasesa	1962	2002
9792	Saravillo	1951	2002	9199d	Aratores Molino	1929	2002	9894B	Sariñena 'Comarcal'	1944	2002
9804	Buerba	1961	2002	9206e	Binacua	1969	2002	9901B	Huesca Obras Publicas	1965	2002
9807	El Pueyo de Aragüés	1962	2002	9210e	Bailo Puente La Reina	1945	2002	9904I	Grañén -Pinilla	1968	2000
9813	Linas de Broto	1961	2002	9446e	Sallent de Gallego	1961	2002	9906E	Grañén Montesusin	1954	2002
9814	Torla	1953	2002	9453i	Aso de Sobremonte	1970	2002	9907I	Grañén Monte Sodeto	1960	2002
9815	Broto	1949	2002	9454a	Biescas 'Central'	1927	2002	99080	San Juan de Flumen	1977	2002
9817	Fiscal	1951	2002	9465q	Molino de Villobas	1988	2002	9910G	Villanueva De Sigena 'Lasesa'	1983	2002
9822	Boltaña	1950	2002	9470e	Bernués	1930	2002	9914D	Tamarite de Lit 'Comarcal'	1988	2002
9823	Sieste	1961	2002	9470i	Botaya	1969	2002	9914E	Tamarite de Litera	1955	2002
9826	Los Molinos	1972	2002	9470k	Javierrelatre	1974	2002	9914I	Albelda El Saladar	1969	2002
9829	Mediano 'Embalse'	1929	2002	9478i	Eres	1979	2000	9920E	Esplu Rafales 2	1966	2002
9840	Eriste 'Central'	1912	2002	9480f	Alcala de Gurrea	1929	2002				

**Tabla 2.** ▲ Lista de observatorios instrumentales de la provincia de Huesca.

Códig.	Nombre del Observatorio	Año Inicio	Año final	Códig	Nombre Del Observatorio	Año Inicio	Año final	Códig	Nombre Del Observatorio	Año Inicio	Año final
3010	Rodenas	1949	2002	9380	Bañón	1965	2002	8354E	Albarracín P F E	1948	2002
8206	Toril	1956	2002	9437	Cucalón	1949	2002	8356U	San Blas	1948	2002
8345	Guadalaviar	1957	2002	9521	Azaila	1950	2002	8368U	Teruel	1986	2003
8346	Griegos	1947	2002	9532	Palomar de Arroyos	1957	2002	8376C	Tormón	1957	2002
8347	Villar del Cobo	1953	2002	9537	Cueva Foradada 'Embalse'	1945	2002	8458A	Cedrillas "Ayuntamiento Dga"	1983	2002
8348	Tramacastilla C H Jucar	1953	2002	9547	La Puebla de Hajar	1975	2002	8459U	Alcalá de la Selva 'Solano De	1987	2002
8359	Ababuj	1956	2002	9548	Jatiel	1954	2002	8463A	Manzanera P F E	1957	2002
8360	Aguilar de Alfambra	1982	2002	9551	Puigmoreno-Endesa	1949	2001	8463O	Sarrión	1985	2002
8362	Argente	1953	2002	9561	Mas de las Matas	1923	2002	9374U	Sta.Eulalia del Campo	1941	2002
8364	Alfambra 'Pfe-Dga'	1948	2002	9566	Calanda 'Embalse'	1985	2002	9376I	Bueña	1973	2002
8384	Arcos de Las Salinas	1949	2002	9567	Gallipuéñ 'Embalse'	1920	2002	9379A	Monreal del Campo 'D.G.A.'	1928	2002
8460	Alcalá de la Selva	1948	2002	9571	Torrevelilla	1961	2002	9550D	Andorra 'Central Termica'	1948	2002
8462	Torrijas	1953	2002	9573	Alcañiz-Ayuntamiento	1949	2002	9565Z	Foz de Calanda-Endesa	1985	2002
8470	Rubielos de Mora	1955	2002	9927	Beceite	1968	2002	9567E	Alcorisa	1913	2002
8471	Noguera Cuevas Labradas	1980	2002	9932	Pena 'Embalse'	1919	2002	9567I	La Mata de los Olmos	1983	2002
8487	Puertomingalvo "D.G.A."	1984	2002	9998	Tornos	1943	2002	9568Y	Calanda-Endesa	1985	2002
9372	Cella	1945	2002	9999	Odón	1968	2002	9571I	Castelserás-Endesa	1985	2002
9377	Ojos Negros	1969	2002	3009E	Orihuela del Tremedal	1986	2002	9935A	Valderrobres 'Comarcal'	1967	2002
9378	Pozuel del Campo	1968	2002	8354A	Albarracín	1983	2002	9938I	Monroyo	1974	2002
								9999E	Torralba de los Sisones	1968	2002

Códig.	Nombre Del Observatorio	Año Inicio	Año final	Códig	Nombre Del Observatorio	Año Inicio	Año final	Códig	Nombre Del Observatorio	Año Inicio	Año final
9215	Artieda	1929	2001	9522	Sástago Central Electrica	1945	2002	9416A	Ricla	1949	2002
9220	Sigüés	1970	2002	9523	Escatrón	1947	2000	9425C	La Almunia	1979	2002
9322	Biel	1950	2002	9574	Caspe-Ayuntamiento	1951	2002	9425F	Almonacid de la Sierra Cooperativa	1968	2002
9329	Uncastillo	1929	2002	9576	La Almolda	1965	2002	9426A	Longares 2	1969	2002
9330	Sádaba	1950	2002	9579	Mequinenza	1949	2002	9427B	La Almunia Eita	1949	2002
9354	Cetina	1928	2002	9943	Fabara	1949	2002	9428E	Calatorao Cooperativa	1914	2002
9359	Cubel (Casas Altas)	1963	2002	9219I	Salvaterra de Escá	1969	2002	9432B	Épila 'D.G.A.'	1988	2002
9360	Monterde P F E	1950	2002	9222I	Los Pintanos	1949	2002	9440E	Mainar	1944	2002
9366	La Tranquera 'Embalse'	1950	2002	9243O	Urriés	1929	2002	9442A	Aguilón	1988	2002
9390	Daroca Observatorio	1909	2002	9245A	Castiliscar D.G.A.	1986	2002	9476U	Murillo de Gallego	1975	2002
9392	Átea	1954	2002	9306B	Tarazona 'Casa Blanca'	1986	2002	9495F	Leciñena	1969	2002
9399	Malanquilla	1941	2002	9310I	Ainzón 'Comarcal'	1945	2002	9495G	Leciñena 'D.G.A.'	1987	2002
9412	Trasobares	1987	2001	9311C	Borja 'Ayuntamiento'	1929	2002	9495U	Zuera Aspasa	1949	2002
9414	Nigüella	1965	2002	9316A	Luesia 'D.G.A.'	1988	2002	9498G	Zaragoza 'El Zorongo' 'D.G.A.'	1948	2002
9421	Paniza	1928	2002	9321B	Ejea de los Caballeros	1951	2002	9503U	Fuentes de Ebro	1968	2002
9422	Aguarón P F E	1936	2002	9324B	Luna 'D.G.A.'	1950	2002	9506U	Farlete	1981	2002
9425	Alpartir	1949	2002	9331F	El Bayo	1941	2002	9507A	Monegrillo '2'	1986	2002
9434	Zaragoza Aeropuerto	1900	2003	9335K	Sancho Abarca 'D.G.A.'	1988	2002	9509D	Bujaraloz 'Rozas'	1950	2002
9442	Las Torcas-Embalse	1929	2002	9336L	Fuendejalón 'D.G.A.'	1988	2002	9510A	Pina de Ebro P F E	1945	2002
9481	Marracos	1945	2002	9336O	Pozuelo de Aragón	1976	2002	9510B	Pina de Ebro 'D.G.A.'	1987	2002
9495	Zuera El Vedado	1962	2002	9336U	Pedrola	1967	2002	9510G	Quinto 'Comarcal'	1988	2002
9496	Zuera 'Casa Pérez'	1966	2002	9350A	Ariza P F E	1945	2002	9518A	Herrera de Navarros 'D.G.A'	1988	2002
9497	Perdiguera	1951	2002	9358G	Torralba de los Frailes	1983	2002	9521R	Sástago La Balsa	1974	2002
9499	Zaragoza Aula Dei	1944	2002	9358I	Aldehuela de Liestos	1976	2002	9552O	Bujaraloz 'Petris'	1973	2002
9507	Monegrillo	1940	2002	9359E	Abanto	1976	2002	9553E	Caspe-Forcaballes	1949	2002
9509	Osera de Ebro	1965	2002	9394U	Calatayud Aguas	1922	2002	9942A	Maella 'D.G.A.'	1948	2002
9515	Moneva-Embalse	1972	2002	9395F	Langa del Castillo 'D.G.A.'	1976	2002	9943I	Nonaspe	1982	2002
9520	Lécera	1928	2002	9405E	Morata de Jalon	1928	2002	9997E	Used	1968	2002
								9997U	Las Cuerlas 'Gasolinera'	1975	2002



densidad de observatorios es menor han de considerarse dos datos por mes: el de la media de las máximas y el de la mínimas). Trasladando estas cifras al dato diario, información necesaria para la realización de algunas de las cartografías que se presentan en este Atlas Climático de Aragón, tenemos que el volumen total de datos manejado supera los 14 millones de registros.

Ese notable volumen de información fue sometido, siguiendo las tendencias metodológicas de más reciente introducción en los estudios climatológicos a nivel mundial, a un proceso de control de calidad en el que se depuró la presencia de datos anómalos, se calcularon los datos en los meses en los que no existía valor térmico o pluviométrico registrado (relleno de lagunas de información) y se procedió a la evaluación de la homogeneidad de las series climáticas y a la corrección de las inhomogeneidades detectadas.

El resultado final deseable de este proceso es la obtención de una base de datos climáticos de calidad, con una buena densidad espacial y de una longitud que en casi tres cuartas partes de los casos cubriría las últimas tres décadas del siglo XX (1971-2000), periodo cuya duración es considerada idónea para los análisis climáticos según la Organización Meteorológica Mundial y que está siendo actualmente utilizado como periodo de referencia y de comparación entre valores.

**Fig. 2.** ▽ Distribución espacial de los observatorios disponibles en la Comunidad Autónoma de Aragón con información sobre temperaturas. En el mapa se han reflejado sólo aquellos que han pasado el primer control de calidad en relación al porcentaje de lagunas de información y longitud mínima de la serie de al menos 15 años.

**Tabla 3.** ▽ Lista de observatorios instrumentales de la provincia de Teruel.

**Tabla 4.** ◀ Lista de observatorios instrumentales de la provincia de Zaragoza.

En relación con la identificación de datos anómalos, el proceso se realizó en dos fases. En la primera se evaluó en cada serie mensual de cada observatorio la presencia de datos extremos, es decir, de registros que por su magnitud podríamos considerar como sospechosos de ser errores de observación o transcripción. Así, se señalaron como tales aquellos registros que se separaban del valor de la media mensual de la serie en más de 4 veces el valor de la desviación estándar. En una segunda fase, el dato mensual identificado como sospechoso era comparado con el registrado en un conjunto de observatorios vecinos situados a una distancia no superior a los 20 km. El objeto de la comparación no es otro que el de comprobar la coherencia del registro en función de los valores observados y registrados en estaciones cercanas. En caso de que el registro sospechoso no muestre coherencia en cuanto a magnitud con los de los observatorios vecinos, es considerado como un dato anómalo y tratado en fases posteriores como una laguna de información.

El paso siguiente en el proceso de control de calidad de las series climáticas consistía en el relleno de lagunas, es decir, en la estimación mediante un procedimiento estadístico normalizado de los datos mensuales no registrados en las series climáticas disponibles o eliminados por ser considerados sospechosos de ser erróneos.

Para ello se utilizaron todas las estaciones, tanto las que contaban con series de al menos 15 años como aquellas con series más cortas pero que podían servir de apoyo para el proceso. Existen metodologías complejas para el relleno de este tipo de lagunas de información en las series climáticas. Sin embargo, las diferencias entre los métodos suelen ser escasas y los errores asumibles. La mayor parte de métodos están basados en registros de la propia serie de observaciones o en los datos de observatorios cercanos a la serie que se pretende completar, de tal forma que se puede inferir el dato mensual a partir del dato de otro observatorio.

En nuestro caso, el relleno se realizó mediante regresión simple con el observatorio que presentara una mayor correlación entre los que se localizaran a una distancia menor a 20 km y en los que la serie común fuera de más de 10 años, utilizándose así algunos observatorios rechazados en una primera fase para su incorporación a la base de datos definitiva, pero que como ya señalábamos se reservaban para fases de depuración de ésta.

Se realizó una matriz de distancia entre los observatorios y una matriz de correlaciones entre todas las series disponibles (las localizadas en Aragón más las de las zonas limítrofes) para seleccionar aquellas más adecuadas en el relleno. A partir de esa información y mediante regresiones simples, se procedió a la estimación del valor climático no registrado utilizando la ecuación del modelo lineal resultante de esa regresión. En el caso de las temperaturas, el valor de correlación mínimo ha de ser superior a 0,8, siendo este umbral de 0,7 para las series pluviométricas.

Tras esta fase se dispone ya de series climáticas de precipitación y temperatura mensual de longitud variable pero completas, es decir, sin lagunas de información. Sin embargo, antes de desarrollar la cartografía de las variables climáticas es necesario comprobar que esas series no contengan inhomogeneidades que puedan introducir un sesgo en los registros no relacionado con el clima, lo que pueda invalidar los resultados del proceso estadístico que conduce a su representación cartográfica.

Las inhomogeneidades pueden estar relacionadas con cambios de localización del observatorio, cambios en el instrumental, tendencias por efecto del crecimiento urbano, deforestación, crecimiento vegetal en torno al observatorio, etc. En general, cualquier cambio en las condiciones ambientales o de medición de los parámetros climáticos, puede introducir inhomogeneidades en las series de registros que introduzcan variaciones no climáticas en la serie temporal de información instrumental.

Existe una gran diversidad de métodos para resolver este problema en las series climáticas. Uno de los más utilizados entre la comunidad científica es el SNHT (*Standard*



*Normal Homogeneity Test*). Según esa metodología, antes de testar la homogeneidad de las series climáticas, es necesario crear una serie de referencia para cada uno de los observatorios de la base de datos, que se realizó a partir de los datos de varios observatorios cercanos y bien correlacionados entre sí. La serie resultante servirá como modelo a partir del cual se corregirá la serie candidata.

Para llevar a cabo la selección de los observatorios con los que se construirá esa serie de referencia, las series climáticas se convirtieron en series de diferencias (dP/dp) para disminuir los efectos de las posibles discontinuidades en las estaciones que deben formar parte de la serie de referencia:

$$\left( \frac{dP}{dp} \right) = P_{i+1} - P_i$$

Se calcularon las dP/dp de cada una de las series completas disponibles y se obtuvo la matriz de correlación entre todas ellas para seleccionar en cada serie los cinco observatorios más correlacionados para la elaboración de la serie de referencia. Esta serie de referencia de cada estación se calculó mediante la media ponderada por el cuadrado del coeficiente de correlación de las cinco estaciones mejor correlacionadas. Para convertir las dP/dp series a valores de precipitación o temperaturas reales se tomó el valor final de la serie candidata como punto de partida y a ese valor se le restaron los obtenidos de la dP/dp serie (Peterson *et al.*, 1998).

El siguiente paso fue testar la homogeneidad de las series climáticas de todos los observatorios de la base de datos mediante la comparación estadística con las series de referencia.

El SNHT detecta inhomogeneidades relativas en la serie candidata a homogeneizar respecto a la serie de referencia. El método se basa en el análisis de una serie de valores observados en la serie candidata a homogeneizar y los valores de la serie de referencia calculada con anterioridad. Posteriormente, esta serie se normaliza para obtener una Z-serie a partir de la cual se determinarán las inhomogeneidades existentes, así como su magnitud y significación. Para cada uno de los valores de la Z-serie se plantea una hipótesis alternativa: la variable aleatoria Z es normal de varianza 1 y media  $m^1$  hasta ese momento, y varianza 1 y media  $m^2$  a partir del dato posterior. Así se calculan los estadísticos correspondientes (T), que cuando superan un nivel crítico determinan que la serie es inhomogénea en ese punto, procediéndose a su corrección a partir de la multiplicación por un coeficiente o la suma de una constante.

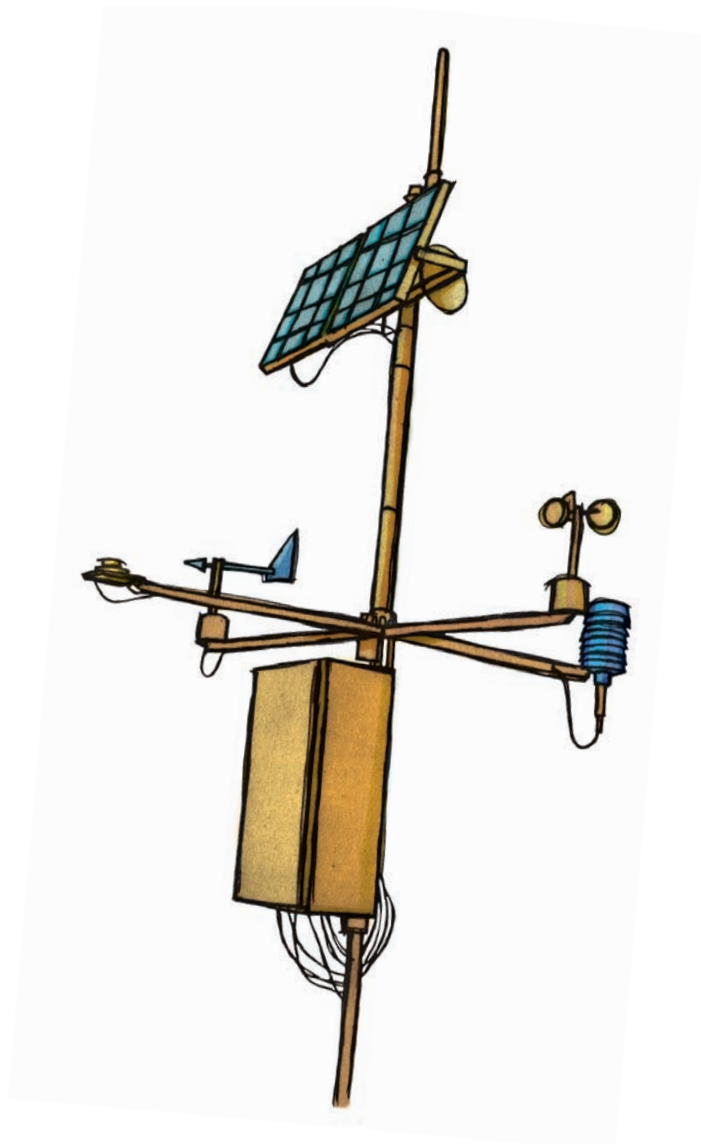
Cuando encontramos una inhomogeneidad estadística en una serie climática ha de decidirse si esta se corrige o no, lo que implica decidir si modificamos la serie de datos originales a partir de una información estadística sobre su calidad como serie temporal homogénea o la dejamos como está.

La ausencia de metadatos, es decir, de información sobre los cambios que ha experimentado la estación meteorológica en sus condiciones de observación, dificulta esta decisión, ya que no sabemos si las variaciones observadas son naturales o están inducidas por perturbaciones humanas. Por esta razón hemos de ser muy cuidadosos a la hora de corregir las inhomogeneidades.

No existen así para ello parámetros generales establecidos por la investigación climática, simplemente el criterio del investigador podrá decidir si una inhomogeneidad es susceptible de ser corregida o no de acuerdo al conocimiento que se tiene de las series de datos o de la evolución experimentada por otros observatorios.

Si se decide corregir una inhomogeneidad, ésta se realiza siempre antes de la ruptura, ya que se supone que las mediciones más fiables serán aquellas más cercanas en el tiempo. Aquellas inhomogeneidades que aparecen en los 10 años finales o iniciales de cada serie no se tuvieron en cuenta. Igualmente, tampoco se aceptaron las inhomogeneidades de las series de precipitación mensual de julio y agosto, debido a la elevada variabilidad que suele tener la pluviometría en estos meses.

Sólo una vez finalizado este laborioso proceso es cuando, realmente, disponemos de series climáticas de calidad con las que desarrollar las cartografías climáticas que van a presentarse en este Atlas.



## 3.2.

# Realización y validación de los mapas

La información de base en la cartografía climática son los registros puntuales de las variables climáticas medidas en estaciones meteorológicas, series que en nuestro caso y según hemos visto en el apartado anterior es preciso sean sometidas a un riguroso control previo de calidad.

Frente a la cartografía de otro tipo de variables ambientales de las que se dispone de información en todo el territorio, el carácter puntual de la información climática dificulta la elaboración de mapas. Aunque las variables climáticas sean continuas en el espacio, solamente conocemos los registros en pocos puntos y es a partir de esos pocos puntos desde los que debemos de espacializar los registros al resto del territorio. Así, en los puntos en los que no se dispone de información se ha de estimar el valor de la variable climática a cartografiar, siendo en definitiva los mapas climáticos predicciones que se pretende tengan un elevado grado de ajuste con la realidad.

Existen diferentes métodos para la realización de cartografías climáticas. Los métodos tradicionales, basados en un criterio experto y realización manual de las cartografías, han dejado paso a técnicas modernas basadas en procedimientos estadísticos y técnicas de cartografía automática. La gran capacidad de cálculo de los actuales sistemas informáticos permite la realización de análisis encaminados a la predicción de los registros climáticos en aquellos puntos del espacio en los que no se dispone de información.

También entre estos métodos automáticos existen distintas opciones, que difieren entre sí tanto en su concepción teórica como en su formulación matemática. Estos métodos se pueden dividir en métodos locales, que únicamente tienen en cuenta los datos de la variable climática registrada en los observatorios meteorológicos, y en globales, que además de los datos anteriores, utilizan información auxiliar de carácter geográfico y/o topográfico.

Los métodos locales llevan a cabo la predicción climática en un punto del espacio a partir de la información de los puntos de muestreo más cercanos, estimando el valor de la variable cartografiada en función de los datos de los observatorios vecinos.

El proceso es espacialmente continuo y finaliza cuando se ha obtenido una predicción en todos los puntos. En cambio, los métodos globales utilizan la información de todas las estaciones meteorológicas disponibles en el territorio para la predicción de la variable climática en cualquier punto de éste. Para la estimación se genera un modelo de dependencia entre los datos climáticos y otras variables independientes.

Ambos tipos de métodos, por si solos, presentan algunas ventajas e inconvenientes. En el caso de los métodos globales, la interpolación obtiene el patrón general de variación espacial de la variable climática, siendo los resultados menos independientes de la distribución espacial de la red de muestreo. Por el contrario, este tipo de métodos registran mal las variaciones locales del clima. En cambio, los métodos locales registran mejor las variaciones de carácter local, aunque los resultados están mucho más condicionados por la distribución espacial de la red de muestreo, con errores importantes ante la presencia de accidentes geográficos pronunciados y redes de muestreo poco densas.

Para contar con las ventajas que ofrecen ambos tipos de métodos y evitar sus inconvenientes, es posible su combinación, planteando un procedimiento mixto en el que inicialmente se examinan las relaciones físicas entre los datos climáticos y diferentes variables geográficas y topográficas, y posteriormente se tiene en cuenta la correlación espacial entre la información recogida en los observatorios meteorológicos.

El procedimiento cartográfico comienza con la selección de una serie de variables independientes que tiene un importante papel en la explicación de la variabilidad espacial de diferentes elementos del clima. Estas variables corresponden a capas en formato ráster 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 metros de celda, cubriendo todo el territorio aragonés. 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, la elevación media con un radio de 1, 2.5, 5 y 10 Km, la radiación solar incidente con un radio de 1, 2.5, 5 y 10 Km y finalmente la distancia a los ríos.

Las variables topográficas permiten tener en cuenta la influencia de la altitud y de la exposición 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, longitud y la radiación solar 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 las flujos de viento de diferente dirección sobre la distribución espacial de precipitaciones y temperaturas. Los efectos orográficos a diferentes escalas espaciales también se tuvieron en cuenta mediante la aplicación de filtros de paso bajo (2.5, 5 y 10 km) a las variables topográficas.

En la figura 3 se muestra la distribución espacial de cuatro de estas variables independientes como ejemplo: distancia al mar Mediterráneo, distancia a los ríos principales, elevación y elevación filtrada a 10 km. Se puede observar que en cada caso son datos distribuidos espacialmente que corresponden a capas de información con las que se puede operar mediante álgebra de capas en Sistemas de Información Geográfica.

El proceso de interpolación propiamente dicho comienza con la selección de los observatorios meteorológicos que tomarán parte en el proceso. De los observatorios pluviométricos y térmicos (temperaturas máximas y mínimas) disponibles, se seleccionó aleatoriamente una muestra del 80%. El 20% restante se reservaron para testar los mapas y comprobar su validez. En todos los casos el periodo utilizado para la cartografía se normalizó al 1970-2000.

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 y mes. De acuerdo a este procedimiento el valor de la variable climática en los puntos donde no existe información se obtiene mediante la siguiente función de transferencia:

$$z(x) = b_0 + b_1P_1 + b_2P_2 + \dots + b_nP_n$$

donde  $z$  es el valor predicho en el punto  $(x)$ ,  $b_0, \dots, b_n$  son los coeficientes de la regresión, y  $P_1, \dots, P_n$  son los valores de las diferentes variables independientes en el punto  $x$ .

Se utilizó un análisis por pasos sucesivos, fijando un nivel de significación de 0.01 para seleccionar únicamente las variables independientes adecuadas. Para evitar problemas de multicolinealidad, como consecuencia de las elevadas correlaciones entre las variables independientes, se aplicó un test en el software SPSS *Statistical Package for Social Sciences*. De esta forma se pueden reconocer los modelos en los que la incertidumbre de los coeficientes es muy importante como consecuencia de la multicolinealidad, y utilizar un modelo con un menor número de parámetros.

Como ejemplo se muestra una ecuación resultante, correspondiente a la precipitación de abril, que se utiliza para la predicción de forma especializada mediante álgebra de capas en un entorno SIG:

$$\text{Precipitación} = 603.6 - \text{Radiación} \times 0.077 - \text{Distancia al Cantábrico} \times 0.0013 + \text{Elevación} \times 0.049 + \text{Distancia a ríos} \times 0.00071 + \text{Longitud} \times 1.303 - \text{Latitud} \times 1.507 + \text{Distancia al Mediterráneo} \times 0.00087 - \text{Elevación} \times 0.026$$

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, denominado residual, causado por las variaciones locales del clima que no reproducen bien los modelos generales obtenidos mediante regresión múltiple.

Gracias al conocimiento de estos residuales es posible llevar a cabo una corrección de los modelos originales, teniendo en cuenta características climáticas de carácter más local, con la interpolación de los residuales. En cada observatorio el valor del residual se obtiene mediante:

$$\text{Residual} = \text{Observado} - \text{Predicho}$$

Ya que estos residuales están distribuidos irregularmente en el territorio es necesario interpolarlos para obtener mapas de corrección. La interpolación se realizó mediante un algoritmo de splines con tensión ( $j = 400$ ), método exacto de carácter local donde una serie de funciones locales se adaptan a los valores a interpolar dentro de cada punto de medición.

De esta forma, con la suma del mapa de residuales interpolados y el mapa resultado de la predicción mediante los modelos de regresión, se modifican los resultados iniciales del modelo y se obtienen valores reales en los puntos de los observatorios meteorológicos.

$$\text{Observado} = \text{Predicho} + \text{Residual}$$

Mediante esta modelización de las variables climáticas a partir de regresiones múltiples y la corrección posterior por interpolación de residuales se obtuvieron 36 mapas promedio mensuales (12 de precipitaciones, 12 de temperaturas máximas y 12 de temperaturas mínimas) referidas en todos los casos al periodo 1970-2000.

**Fig. 3.** ► Distribución espacial de cuatro de las variables independientes utilizadas en el proceso de modelización: distancia al mar Mediterráneo, distancia a los ríos principales, elevación (modelo digital de elevaciones) y elevación filtrada a 10 km.

Estas cartografías se testaron mediante diferentes procedimientos estadísticos con objeto de evaluar su calidad y conocer el grado de concordancia entre la predicción-estimación realizada por los modelos y la realidad, para lo que se utilizaron los datos reales registrados del 20% de los observatorios, reservados en el proceso de modelización precisamente para esta validación.

Una vez validados, estos mapas constituyen la base para obtener mediante operaciones algebraicas entre capas en un entorno SIG otras cartografías referentes a distintas variables climáticas, como las temperaturas medias mensuales, estacionales y anual, medias de las máximas y mínimas estacionales y anual, precipitaciones estacionales y anual, evapotranspiración potencial (ETP), balance hídrico, índice de aridez, etc, e incluso para aplicados determinados criterios de clasificación basados en las temperaturas y precipitaciones, una propuesta de división climática de Aragón.

Otras cartografías, como las relacionadas con la nieve, granizo, número de días de helada, registros térmicos y pluviométricos excepcionales o los vientos, entre otros, fueron obtenidos a partir de la base de datos diarios mediante diferentes métodos de interpolación elegidos según su mayor o menor ajuste a los datos observados expresado por el valor de los estadísticos utilizados en el proceso de validación de los mapas.

El valor de estas cartografías no se limita únicamente al que pueda derivarse de su publicación en este Atlas Climático de Aragón. 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 mts 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.

