

ELABORACIÓN DEL ATLAS CLIMÁTICO DE EXTREMADURA MEDIANTE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

FELICÍSIMO PÉREZ, A. M.

Área de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, [Universidad de Extremadura](http://www.unex.es)
Avenida de la Universidad, s/n.10071 Cáceres, España

amfeli@unex.es

R. MORÁN LÓPEZ, J. M. SÁNCHEZ GUZMÁN, D. PÉREZ MAYO

Grupo de Investigación en Conservación, Área de Biología Animal, Universidad de Extremadura
Avenida de Elvas, s/n. 06071 Badajoz, España

RESUMEN

Se presenta un conjunto de mapas que conforman el Atlas Climático de Extremadura, elaborado para servir de apoyo a la investigación en recursos naturales y especies de interés para la conservación. Partiendo de los datos termoplumiométricos del Instituto Geográfico Nacional, los métodos utilizados para la elaboración de los mapas han sido de dos tipos: interpolación mediante *splines* para las variables termoplumiométricas y simulación informática para las variables relativas a la insolación potencial. Para realizar el Atlas se han utilizado las herramientas disponibles en dos sistemas de información geográfica comerciales; el resultado es un documento con 14 mapas correspondientes a otras tantas variables climáticas que puede consultarse en formato PDF. Este conjunto de mapas podrá ampliarse en el futuro cuando los datos disponibles permitan obtener información más precisa y con mayor resolución de otras variables de gran importancia: vientos, evapotranspiración, aridez, etc.

Palabras clave: climatología regional, sistemas de información geográfica, temperatura, precipitación, insolación, Extremadura, interpolación.

ABSTRACT

A set of maps is presented which make up the Climatic Atlas of Extremadura. They were prepared for use as support in research into the natural resources and species of interest for conservation. Two types of method were used: spline interpolation for the temperature and rainfall variables, and computer simulation for the potential insolation. The Atlas was elaborated using the

tools available in two commercial geographical information systems. The result is a document with 14 maps in PDF format, each corresponding to a climatic variable.

Keywords: regional climatology, geographic information systems, temperature, precipitation, insolation, Extremadura, interpolation.

1. Introducción

Los sistemas de información geográfica son aplicaciones informáticas que han permitido avanzar en el estudio y análisis de los fenómenos geográficos al incorporar sólidas herramientas de análisis y facilitar el tratamiento estadístico de grandes bases de datos espaciales. La climatología es una ciencia que se ha beneficiado de estas técnicas y ya no es preciso utilizar los lentos y costosos tratamientos manuales de los datos que eran obligatorios hace bien pocos años.

En este contexto, el Grupo de Investigación en Conservación (GIC) de la Universidad de Extremadura comenzó hace unos pocos años la labor de construir un sistema de información de ámbito regional que sirviera de base para llevar a cabo los estudios sobre conservación y gestión de la fauna y flora extremeñas que son su principal objetivo.

El Atlas Climático de Extremadura es uno de los resultados obtenidos con este sistema de información, basado en el Sistema de Información Geográfica [ArcInfo](#) (Environmental Systems Research Institute, Inc., ESRI). Los mapas climáticos han sido elaborados para contar con una información fiable y lo más completa posible de variables que pueden actuar como factores limitantes en procesos biológicos de interés para la conservación de especies animales y vegetales.

La obtención progresiva de un número relativamente elevado de mapas aconsejó preparar un documento único ya que se considera que la información contenida en el mismo tiene ya entidad suficiente como para ser divulgada de forma independiente del resto del sistema de información. Los mapas presentados no cubren completamente el ámbito de la climatología regional pero los datos disponibles sólo han permitido, por el momento, presentar los aquí expuesto.

La construcción de mapas climáticos mediante interpolación ha generado una cantidad notable de bibliografía específica. El planteamiento en origen es simple: a partir de un conjunto de datos puntuales (estaciones meteorológicas) localizadas en un espacio geográfico, deben estimarse los valores correspondientes a otros lugares incluidos en un dominio espacial determinado.

El problema, por tanto, puede resolverse mediante un método de interpolación adecuado. Sin embargo, las dificultades son importantes debido a la naturaleza de los datos. Frecuentemente, las series son heterogéneas en calidad y longitud, su distribución espacial no es idónea y las propias variables suelen mostrar una variabilidad temporal muy notable. Asimismo, la influencia del relieve suele introducir variaciones difícilmente replicables, especialmente porque las estaciones meteorológicas escasean en las zonas de montaña.

Por estos motivos, debe considerarse que los mapas climáticos que se han construido representan los patrones espaciales de distribución de las variables y deben ser interpretados sin perder de vista que la resolución espacial es frecuentemente de decenas de kilómetros.

2. Material y métodos

2.1. Material

Los datos utilizados son los recogidos en la red de estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología en Extremadura. Dicha red recoge información tomada por casi 300 estaciones durante unos periodos muy variables y con unas características de fiabilidad desconocidas. En consecuencia, la primera labor consistió en una revisión exhaustiva de dichos datos para localizar problemas de tipos diversos como, por ejemplo, series excesivamente cortas (sólo se consideraron las estaciones con un mínimo de 20 años de medidas), con vacíos en los datos (se aceptaron datos ausentes cuando podían considerarse esporádicos y no afectaban a los valores medios), etc.

Finalmente, se calcularon los estadísticos correspondientes a los valores por trimestres para aquellos mapas que se construyen para estos periodos. El número de estaciones aceptadas para el análisis fue de 140 para las variables termométricas y 276 para las pluviométricas.

Para algunos de los mapas ha sido utilizado un modelo digital de elevaciones (MDE) que recoge la información de altimetría regional. El MDE fue construido a partir del Mapa Topográfico del Servicio Geográfico del Ejército en formato digital (escala 1:50.000, intervalos entre curvas de nivel de 20 m).

Las aplicaciones informáticas utilizadas para este trabajo han sido los sistemas de información geográfica ArcInfo y ArcView, ambos de ESRI Inc. (Redlands, California).

2.2. Métodos

El "mejor" método de interpolación climática sigue siendo objeto de controversia (Collins y Bolstad, 1996). Parece claro que este método universal no existe sino que, en función de las características territoriales y de los datos disponibles, unos pueden funcionar mejor que otros en diferentes lugares y circunstancias. Para ello resulta conveniente revisar los trabajos incluidos en el número monográfico del *Journal of Geographic Information and Decision Analysis* dedicado a los métodos de interpolación espacial (Malczewski, 1997).

En el caso concreto de estos mapas, el método usado ha sido la interpolación conocida como *thin plate splines* (Hutchinson, 1991, Lennon & Turner, 1995, Saveliev et al., 1998), aunque han sido también vabrados los métodos de *kriging* (Bigg, 1991, Dingman et al., 1988) muy habituales en prospección minera, así como los basados en regresión múltiple (Ninyerola, 2000,

Ninyerola *et al.*, 2000). Este método ha sido adoptado porque aportaba resultados "razonables" dentro del conocimiento del clima regional y, sobre todo, porque no generaba artefactos ni resultados claramente erróneos o desviados en determinadas zonas. El *kriging* fue exhaustivamente probado y, en muchas ocasiones generaba resultados indistinguibles de los anteriores en zonas bien cubiertas por estaciones meteorológicas. Dada esta circunstancia y que en el uso de este último método va implícita la asunción de hipótesis difícilmente comprobables (carácter de variable regionalizada, por ejemplo) se decidió usar el método de *splines*. Finalmente, la ausencia de estaciones en las zonas de mayor altitud invalidaba en la práctica el uso de la regresión múltiple, que generaba resultados irreales cuando se le forzaba a la extrapolación en el Norte de la región.

El modelo digital de elevaciones se construyó a partir de las curvas de nivel originales mediante un algoritmo de triangulación de Delaunay (Peucker *et al.*, 1978) y fue transformado a continuación a una estructura matricial regular con 100 m de tamaño de celda.

Los mapas de índices de exposición a la insolación se construyeron mediante una simulación a partir del MDE, analizando el ocultamiento topográfico y los ángulos de incidencia de la radiación solar sobre cada punto del terreno para diversos periodos del año (Heywood, 1964). Los fundamentos de la simulación están descritos con detalle en Fernández-Cepedal y Felicísimo (1987) y Felicísimo (1992, pp.188-192). El resultado es un índice que nos indica la fracción de radiación solar en cada punto del terreno en comparación con una superficie horizontal de referencia. La resolución espacial de estos modelos es de 100 m y la temporal es de 20 minutos.

Los mapas de temperatura media de las máximas y de las mínimas anuales fueron interpolados a partir de un total de 140 estaciones meteorológicas con el método de *thin plate3 splines* con una resolución espacial de 500 m. Los mapas de precipitaciones por trimestres fueron interpolados a partir de un total de 276 estaciones meteorológicas con el mismo método y resolución espacial.

3. Resultados

El Atlas incluye dos tipos de variables climáticas:

1. A partir de los datos de las estaciones meteorológicas se han elaborado los mapas correspondientes a las variables termo-pluviométricas regionales: precipitaciones, temperaturas y variables derivadas.
2. A partir del modelo digital de elevaciones y de simulaciones programadas en el sistema de información se han elaborado los **índices de exposición** a la insolación.

Las variables climáticas están estructuradas en forma de modelos digitales del terreno con una estructura matricial regular. En el caso de las variables termoplumiométricas, el tamaño de celda es de 500 m; los índices de exposición se han construido con una resolución espacial de 100 metros ya que el modelo digital de elevaciones así lo permitía.

Las variables cuya distribución espacial ha sido cartografiada son las siguientes:

1. Termometría

Temperatura máxima absoluta anual
Temperatura media de las máximas anual
Temperatura media de las mínimas anual
Temperatura mínima absoluta anual
Días de helada al año

2. Pluviometría

Precipitación media anual
Precipitación media en el primer trimestre
Precipitación media en el segundo trimestre
Precipitación media en el tercer trimestre
Precipitación media en el cuarto trimestre
Días de lluvia al año

3. Insolación

Índices de exposición a la insolación para $d = -23^\circ$ (solsticio de invierno)
Índices de exposición a la insolación para $d = -12^\circ$
Índices de exposición a la insolación para $d = 0^\circ$ (equinoccios)

A estos mapas se añade uno más con la situación de las estaciones meteorológicas y un mapa de detalle del valle del Jerte con los índices de exposición para una declinación solar de -23° .

El acceso al Atlas puede hacerse directamente a través del enlace [Atlas Climático de Extremadura](#). Se trata de un documento en formato PDF de 6.26 Mb. Para una correcta presentación del Atlas y garantizar el funcionamiento de los enlaces internos se recomienda descargar una versión actualizada de [Adobe Acrobat Reader](#) (gratuita).

4. Conclusiones

Los documentos cartográficos que aquí se presentan no conforman un atlas climático completo ya que se han ignorado variables de gran importancia como los vientos, humedad, aridez, evapotranspiración, etc. Es intención de los autores incrementar progresivamente el número de variables representadas según los datos disponibles vayan haciéndose más completos y fiables. Los datos utilizados han sido exclusivamente termopluviométricos por lo que la dominancia de estas variables es lógica. Los mapas sobre insolación no necesitan información externa ya que se construyen mediante simulación informática, cuestión imposible para las variables mencionadas antes. También cabe recordar que las variables termopluviométricas representadas pueden presentar una fuerte variación interanual. Por este motivo no es razonable tomar por exacto el valor de la variable en una localización determinada sino como el estimador medio que realmente es. La magnitud de esta variación (la incertidumbre en la estimación) puede ser objeto de mapas complementarios y puede ser especialmente importante tenerla en cuenta cuando estas variables se utilicen en simulaciones o en el modelado de otros factores.

Finalmente, podemos justificar que no se hayan incluido en la cartografía índices climáticos de ningún tipo. Estos índices se construyen normalmente mediante combinación lineal de las variables básicas por lo que toda la información necesaria se encuentra ya recogida en los mapas actuales. Asimismo, el número y diversidad de índices es enorme, en función de la disciplina que los use (hidrología, vegetación ...) por lo que el número de mapas se multiplicaría fuera de lo razonable. Cabe señalar, sin embargo, que la construcción de mapas de índices será inmediata en un sistema de información geográfica utilizando las herramientas de álgebra de mapas habituales en estos sistemas.

5. Referencias bibliográficas

- Bigg, Grant R. (1991): "Kriging and intraregional rainfall variability in England", *International Journal of Climatology*, 11, pp. 663-675.
- Collins, F. C., Bolstad, P. V. (1996): "A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation", *NCGIA Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modelling*. Disponible en Internet: http://www.sbg.ac.at/geo/idrisi/GIS_Environmental_Modeling/sf_papers/collins_fred/collins.html
- Dingman, S. L., Seely-Reynolds, D. M., Reynolds, R. C. (1988): "Application of kriging to estimating mean annual precipitation in a region of orographic influence", *Water Resources Bulletin*, 24, 2, pp. 329-339.
- Felicísimo, Ángel M. (1992): *Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Oviedo, Pentalfa Ediciones. Disponible en Internet: <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/pdf/libromdt.pdf>
- Fernández Cepedal, G., Felicísimo, A. M. (1987): "Método de cálculo de la radiación solar incidente en áreas con apantallamiento topográfico", *Revista de Biología de la Universidad de Oviedo*, 5, pp. 109-119.
- Heywood, H. (1964): "Standard date periods with declination limits", *Nature*, 204, pp. 678.

Felicísimo Pérez, A. M. et al. (2001): "Elaboración del Atlas climático de Extremadura mediante un sistema de información geográfica", *GeoFocus (Artículos)*, nº 1, p. 17-23

Hutchinson, M.F. (1991): "Climatic analyses in data sparse regions", en Chow, M. C. & Bellamy J. A. (Eds.): *Climatic risk in crop production. Models and Management for the Semiarid Tropics and Subtropics*. CAB International, pp. 55-71.

Lennon, J. J., Turner, J. R.G. (1995): "Predicting the spatial distribution of climate temperature in Great Britain", *Journal of Animal Ecology*, 64, pp. 370-392.

Malczewski, J. (Ed.) (1997): *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 2, 2. Special Issue: Spatial Interpolation Comparison 97. Ontario, Canada. Disponible en Internet: http://publish.uwo.ca/~jmalczew/gida_4.htm

Ninyerola, M. (2000): *Modelització climàtica mitjançant tècniques SIG i la seva aplicació a l'anàlisi quantitativa de la distribució d'espècies vegetals a l'Espanya peninsular*. Tesis Doctoral, 202 p. Departament de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia, Universitat Autònoma de Barcelona.

Ninyerola, M., Pons, X., Roure, J. M. (2000): "A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques", *International Journal of Climatology*, 20, pp. 1823-1841.

Peucker, T. K., Fowler, R. J., Little, J. J., Mark, D. M. (1978): "The triangulated irregular network". *Proceedings of the ASP Digital Terrain Models (DTM) Symposium*, American Society of Photogrammetry. Falls Church, Virginia, pp. 516-540.

Saveliev, A. A., Mucharamova, S. S., Piliugin, G. A. (1998): "Modeling of the daily rainfall values using surfaces under tension and kriging", *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 2, 2, pp. 58-71.