

A Comprehensive Assessment of Precipitation at Sierra de Guadarrama Through Observation and Modeling

Evaluación integral de la precipitación en la Sierra de Guadarrama mediante observación y modelización



MEMORIA DE TESIS PRESENTADA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I

Universidad Complutense de Madrid

Dirigida por: Dr. Enrique Sánchez Sánchez y Dr. Carlos Yagüe Anguis

Luis Durán Montejano

Madrid 2015

RESUMEN

Introducción

Los sistemas montañosos son cruciales desde muchos puntos de vista tanto medioambientales, sociales y económicos. La agricultura, algunas energías renovables, gran parte de la industria y una gran cantidad de la población dependen de las montañas, especialmente de la precipitación que ocurre en su seno.

Desde el punto de vista climático, las montañas juegan un papel fundamental en el sistema climático a escalas temporales y espaciales muy diferentes y son excelentes indicadores del cambio climático. La Sierra de Guadarrama, situada en el Sistema Central de la Península Ibérica, no es una excepción. Entender mejor los fenómenos que dan lugar a la precipitación en este excelente laboratorio natural es crucial, no sólo por conocer su impacto a nivel local, sino también porque permitirá ayudar a responder preguntas a nivel planetario.

Objetivo

El objetivo principal de esta tesis es realizar un análisis climatológico exhaustivo y una evaluación integral de la precipitación en Guadarrama utilizando observaciones y modelización.

Metodología

Para alcanzar este objetivo se ha hecho uso de los siguientes métodos::

- Diseño, instalación y operación de una red meteorológica de montaña.
- Análisis de los históricos de precipitación observados disponibles en Guadarrama.
- Análisis de las relaciones existentes entre el forzamiento sinóptico y la precipitación en Guadarrama.
- Simulación numérica de los procesos físicos que dan lugar a la precipitación utilizando un modelo de precipitación orográfica.

Resultados y conclusiones

Con el objeto de paliar el gran déficit existente de medidas meteorológicas en zonas montañosas, y más concretamente, en Guadarrama, se ha procedido a la instalación de una red meteorológica en una de las zonas más complejas de esta sierra, el Macizo de Peñalara. El resultado ha sido, por un lado disponer de una base de datos de los últimos 15 años que permitan conocer y evaluar de forma más precisa la climatología de la zona. También se ha satisfecho la demanda de datos meteorológicos por parte de los numerosos estudios científicos que tienen lugar en esta área. Finalmente, ha permitido construir un conocimiento valioso sobre la medida meteorológica en alta montaña, útil para la comunidad científica, pero también útil con vistas a mejorar la red en el futuro, extenderla a otras áreas de Guadarrama o incluso a otras zonas montañosas.

A pesar de las grandes dificultades encontradas, la completitud de datos y calidad de los mismos ha sido aceptable. No obstante, la dificultad ha sido mucho mayor para la obtención de medidas fiables de la precipitación lo que sugiere cambios en las técnicas automáticas de medida pero, sobre todo, la necesidad de contemplar el análisis de otras fuentes de datos.

Se ha realizado un análisis de las observaciones realizadas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en los observatorios manuales cercanos de Puerto de Navacerrada, Segovia y Colmenar Viejo (Durán et al., 2013). Este conjunto de datos se ha mostrado muy homogéneo y tremendamente útil para evaluar la climatología pluviométrica de esta zona. Algunas de las características encontradas son comunes a las de las zonas mesetarias limítrofes tales como la pronunciada sequía estival, la gran variabilidad interanual y la fuerte conexión de la precipitación con la advección de aire húmedo

procedente del Atlántico. Sin embargo, han aparecido otros aspectos propios, como el gran gradiente altitudinal, la complejidad espacial de los patrones de precipitación y algunas diferencias relativas a la duración, comienzo y final de la sequía estival entre observatorios.

Esta fuerte conexión entre la advección de humedad procedente del Atlántico y la precipitación observada condujo a la realización de un análisis en mayor profundidad entre los flujos totales de vapor de agua de origen sinóptico y la precipitación observada (Duran et al., 2015). Este análisis ha permitido mejorar el conocimiento sobre la interacción entre advección de humedad y orografía y ha permitido la obtención de una serie de patrones de comportamiento muy útiles para predicción operativa, ejercicios de regionalización, estudios de cambio climático y evaluaciones de la precipitación. Pero sobre todo, ha servido para enfatizar la importancia que tiene la precipitación orográfica en esta región. La precipitación está asociada generalmente a dos fenómenos que producen ascensos de aire: los asociados a sistemas sinópticos de gran escala y los ascensos provocados por inestabilidad convectiva de origen térmico. Estos dos fenómenos, que explican la mayoría de la precipitación en ambas mesetas, no bastarían para explicar la variabilidad espacial encontrada en esta zona.

Esta hipótesis ha podido ser confirmada realizando un conjunto de simulaciones con un Modelo Lineal de Precipitación Orográfica (Smith and Barstad, 2004) para el periodo 1990-2013 (Durán and Barstad, 2015). Se hicieron algunas mejoras respecto al modelo inicial, desde su re-programación en lenguaje Matlab^(R) hasta la incorporación de una formulación para reflejar condiciones de sub-saturación y fenómenos de bloqueo mesoescalar. Los resultados muestran como es capaz de simular con gran eficacia la sequía estival, aunque se encuentran ciertas discrepancias durante algunos meses de invierno y en mayo y octubre. La sobre-estimación de los meses de invierno puede asociarse a una infravaloración de la precipitación en el proceso de observación debido al propio método de observación, mientras que la infravaloración de primavera y otoño se ha relacionado con procesos convectivos de origen térmico que este modelo no es capaz de simular. Aunque la simulación de la variabilidad interanual es satisfactoria, se apunta la necesidad de mejorar la metodología para ciertos episodios prolongados de sequía.

Finalmente, este ejercicio ha hecho posible disponer de la primera base de datos de precipitación en malla de alta resolución en la Sierra de Guadarrama. Esto abre la posibilidad de avanzar significativamente en el conocimiento de la fenomenología meteorológica, pero también en otras disciplinas que requieran bases de datos de precipitación en mallas regulares. Por otro lado se resuelve de forma eficaz las dificultades encontradas en la observación de este parámetro. Finalmente sirve para confirmar el papel crucial que juega la precipitación de origen orográfico en la Sierra de Guadarrama, y por extensión, en otras regiones montañosas del planeta.

SUMMARY

Introduction

Mountains are of crucial importance for many environmental, social and economical reasons. Water demanding agriculture, some renewable energies, the industry and population depend on mountains, and specially on its precipitation.

From a climatic point of view, they play a crucial role in the climate system at very different time and spatial scales. They are also unique areas for the detection of climate change and the assessment of climate-related impacts. Sierra de Guadarrama, in the central system of the Iberian Peninsula, is not an exception. Understanding the phenomenology of precipitation at this excellent laboratory will not only help to understand its local impact, but will also help to improve our understanding of unresolved planetary questions.

Objective

The main objective of this PhD Thesis is to make a high resolution assessment of the climatological behavior and variability of precipitation at Guadarrama based on measurement and modeling.

Methods

In order to achieve this, the following methods have been used:

- design, installation and operation of a mountain meteorological network;
- climatological analysis of the historical precipitation observations available in Sierra de Guadarrama;
- analysis of the relationships between synoptic forcing and precipitation in Sierra de Guadarrama using Principal Component Analysis and k-means for weather typing;
- physical modeling of the precipitation processes using a orographic precipitation model with very high resolution.

Results and Conclusions

During the last 15 years, motivated by the need of filling the gap of observations at this area, observations have been made at one of the more complex areas of Guadarrama, the massif of Peñalara. This data set has helped to have a first estimation of the climate of this region and has given support to other scientific activities that demanded local meteorological observations. This action has given an unique opportunity to acquire knowhow on meteorological observing techniques and operational practices at mountains. Sharing of this knowhow will help the mountain meteorology observing community but it will also help for future improvements and to extend the number of sites to the rest of Guadarrama.

The limitation on having reliable measurements of precipitation at this mountain area, led to perform technical improvements of the methods of measurement but also to perform an analysis of the historical records of observations made at three AEMET observatories for the period 1989-2012 (Duran et al., 2013). This data set showed to be very homogeneous and valuable to understand precipitation at this area. No previous research of this kind had ever been made and published for this specific mountain area despite its relevance. Some of the features of precipitation found are shared with northern and southern plateau observatories like the pronounced summer drought, the high inter-annual variability and the strong connection with the advection of humidity from the Atlantic Ocean. Nevertheless, some others features are more specific to this area like the strong altitudinal gradient, the complexity of the

spatial patterns and some differences between observatories on the start time and duration of the summer drought.

The strong connection found between the advection of humidity from the Atlantic and local precipitation led to perform an analysis of the connections between the advection of humidity and precipitation at Guadarrama using weather typing methodologies (Duran et al., 2015). This analysis has given relevant knowledge about the strong relationship between the direction of the humidity flux and the orography. This is also interesting information that could be used for operational prediction specific to Guadarrama, climate change downscaling or precipitation assessment. This analysis also stressed the importance of orographic precipitation as the phenomena explaining the altitudinal gradient. Normally, two main mechanisms are cited as responsible of air lifting and precipitation: large scale synoptic systems and convective instability. Here, orographic precipitation seemed to be another essential contributor.

In order to confirm this hypothesis an orographic precipitation model was applied (Duran and Barstad, 2015). Here, the Linear Model of Orographic Precipitation (Smith and Barstad, 2004) was applied for simulating precipitation at Guadarrama from 1990 to 2013 with 200 m resolution and a time step of 6 hours. For this application, some new phenomena have been included to the original version of the model, like a sub-saturated condition and a topographic mesoscale flow blocking. Also recoding of the model from FORTRAN to Matlab(R) was made. Results show a good agreement with observations at all scales, specially at monthly scale. Some disagreement has been found for winter months and also in May and October. While the winter overestimation can be attributable to under catching in the measuring process, the May and October underestimation has been related with convective origin precipitation.

Thanks to the application of this model to Guadarrama, a comprehensive assessment of precipitation through observation and modeling is now available for the community. It also has helped to confirm that orographic precipitation is the leading precipitation phenomena at this area. The gridded data base of precipitation now available going from 1990 to 2013, with 200 m spatial resolution and daily temporal resolution opens new possibilities for research at this area. It also complements the observations available, since it considers precipitation that is still difficult to account when using only measurement techniques.