



Doctoral Thesis

Spatiotemporal Downscaling of Climate Scenarios in Regions of Complex Orography

Author(s):

Bordoy Molina, Roger

Publication Date:

2013

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-009796644> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO 21201

**SPATIOTEMPORAL DOWNSCALING OF CLIMATE SCENARIOS
IN REGIONS OF COMPLEX OROGRAPHY**

A dissertation submitted to

ETH Zürich

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

ROGER BORDOY MOLINA

B.Sc. Physics, University of Barcelona

M.Sc. Meteorology, University of Barcelona

born March 8, 1983

citizen of Spain

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. P. Burlando, examiner

Prof. Dr. C. Kilsby, co-examiner

Dr. S. Fatichi, co-examiner

2013

Zusammenfassung

Die Bedrohung, die der Klimawandel für die Gesellschaft in naher Zukunft darstellt, betrifft nicht nur die wissenschaftliche Gemeinschaft, sondern auch verschiedenste Interessengruppen, die Entscheidungsträger und die Menschheit als Ganzes, insbesondere in Bezug auf die regionalen und lokalen Auswirkungen.

Unglücklicherweise verhindert die grobe räumliche und zeitliche Auflösung der aktuellen Klimamodelle und auch die der dynamisch hinunterskalierten regionalen Klimamodelle die Auflösung der regionalen und lokalen atmosphärischen Prozesse, welche relevant sind für das Verständnis der hydroklimatologischen Auswirkungen auf der lokalen Skala. Demzufolge ist das Ziel dieser Arbeit eine Methode für die räumliche und zeitliche Hinunterskalierung zu entwickeln und zu testen, um die Lücke zwischen Wetter und Klima zu überbrücken. Die vorgeschlagene Methode basiert auf der Theorie stochastischer Prozesse und auf deren Fähigkeit hochaufgelöste statistische Eigenschaften von Niederschlag und Temperatur, zwei Schlüsselvariablen im Wasserkreislauf, nachzubilden.

Zuerst präsentiert diese Studie eine Korrekturmethode, die, basierend auf Beobachtungen von automatischen Wetterstationen, den systematischen Messfehler in den Outputs der Klimamodelle korrigiert. Die Korrektur wendet ein nichtlineares Verfahren auf monatliche Niederschlags- und Temperaturdaten an, welches kürzlich in der Literatur erschienen ist. Die Eignung dieser Methode für die Korrektur von zukünftigen Szenarien wird getestet indem die zeitliche Stabilität der Methode mittels Untersuchung der Korrekturparameter jeder Variable untersucht wird, wobei unterschiedliche Zeitintervalle innerhalb der Beobachtungszeit betrachtet werden.

Dann wird eine neue Methode für die Skalierung der Niederschlagsoutputs der Klimamodelle auf die stündliche Zeitskala eingeführt, welche auf dem "Spatiotemporal Neyman-Scott Rectangular Pulses" Modell (ST-NSRP) basiert. Die Methode basiert auf einer Reparametrisierung für das zukünftige Klima des Modells, welches für ein Referenzszenario kalibriert ist. Die Modellparameter werden zuerst durch die Minimierung einer objektiven Funktion geschätzt, welche anhand von historischen Statistiken mit unterschiedlicher zeitlicher Aggregation konstruiert wird, um den Niederschlagsprozess auf einer kontinuierlichen Zeitskala zu erfassen. Das Modell wird dann anhand von zukünftigen statistischen Daten reparametrisiert. Diese werden geschätzt i) indem ein Änderungsfaktor, basierend auf den Kontroll- und Zukunftsszenarien der Klimamodelloutputs, auf die täglichen historischen Statistiken angewendet wird und ii) indem die geänderten täglichen Statistiken gemäss der Skalierungseigenschaften der historischen "raw moments" reskaliert werden, um zukünftige Statistiken mit einer zeitlichen Auflösung zu generieren, welche nicht durch

die Klimamodelle geliefert wird, und welche nötig ist für das Reparametrisierungsverfahren.

Die Temperaturzeitreihe wird durch ein autoregressives Model hinunterskaliert, welches mit heutigen Klimadaten kalibriert wird, und seine Outputs werden gemäss den Klimamodelloutputs modifiziert. Insbesondere wird die stochastische Komponente der Temperaturdaten durch ein multivariates autoregressives Modell modelliert. Dieses Modell wird mit standardisierten beobachteten Temperaturzeitreihen kalibriert, und es wird im Rahmen einer Monte Carlo Simulation angewendet, um die stochastische Unsicherheit zu berücksichtigen. Die Form und Ortscharakteristiken von jedem zukünftigen Jahrzehnt werden zu der synthetischen stationären Zeitreihe hinzugefügt indem der Standardisierungsprozess auf einer monatlichen Basis umgekehrt wird. Der Mittelwert und die Standardabweichung der zukünftigen Jahrzehnte werden berechnet basierend auf dem Mittelwert und der Standardabweichung der Beobachtungen, welche angepasst werden gemäss dem Verhältnis zwischen dem geschätzten zukünftigen und heutigen Mittelwert der Klimamodelloutputs beziehungsweise der Standardabweichung.

Die hinunterskalierten Szenarien werden sowohl im Rahmen eines “multi-site Frameworks”, welches die Kreuzkorrelation zwischen den Stationen berücksichtigt, als auch als Rasterkarten erarbeitet. Die vorgeschlagenen Methoden liefern robuste und effiziente Ansätze, um mehrere Zeitreihen von hochaufgelösten Szenarien durch Monte Carlo Simulation zu generieren. Diese können erfolgreich als Input in hydrologischen Modellen und für Auswirkungsstudien verwendet werden. Sie sind daher eine einzigartige Alternative, um die interne Variabilität von Niederschlag und Temperatur mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung und deren Einfluss auf den natürlichen Wasserzyklus zu berücksichtigen. Die Anwendung der vorgeschlagenen Methoden wird im Rhone Einzugsgebiet demonstriert, einem herausfordernden Gebiet mit komplexen Gebirgszügen im Wallis (Schweiz), welches sehr heterogene klimatische Zonen hat.

Im Allgemeinen ermöglicht diese Studie i) zu verifizieren, ob eine relativ einfache Korrektur des systematischen Fehlers die Genauigkeit des Niederschlags und der Temperatur von Klimamodellsimulationen in einer Region mit komplexer Orographie verbessern kann, ii) zwei bekannte Raum-Zeit stochastische Modelle in einem Gebiet mit komplexer Orographie zu testen und iii) über die Eignung der stochastischen Modelle für Raum-Zeit Skalierung der Klimamodelloutputs von Niederschlag und Temperatur Schlussfolgerungen zu ziehen.

Abstract

The threats that climate change will pose to the society throughout the near future concern not only the scientific community, but also stakeholders, policy makers, and humankind as a whole, specially in terms of regional or local impacts.

Unfortunately, the coarse spatial and temporal resolution of current climate model outputs, even in case of the dynamically downscaled Regional Climate Models, prevents from resolving the regional and local atmospheric processes relevant for understanding the hydro-climatic response at the local scale.

Accordingly, the aim of this work is to develop and test a spatiotemporal downscaling methodology able to bridge the gap between weather and climate. The proposed methodology is based on the theory of stochastic processes and their ability to mimic the high resolution statistical properties of precipitation and temperature, two key variables influencing the water cycle.

First of all, this study presents a bias correction methodology to correct climate model outputs using observations from automatic weather stations. The correction applies a non-linear procedure, recently appeared in the literature, to both precipitation and temperature on a monthly basis. The suitability of this methodology for correcting also future scenarios is tested by assessing the temporal stability of the method by means of investigating the correcting parameters of each variable using different time periods within the observational record.

Afterwards, a novel methodology to downscale climate model precipitation outputs to sub-daily resolution by means of the Spatiotemporal Neyman-Scott Rectangular Pulses model (ST-NSRP) is introduced. The methodology is based on the reparametrisation for future climate of the model calibrated for a reference stationary scenario. The model parameters are first estimated by minimising an objective function constructed with historical statistics at different temporal aggregations in order to capture the precipitation processes across a continuum of scales. The model is then reparametrised using future statistics that are obtained i) applying to the daily historical statistics a factor of change computed from the control and future climate model outputs, and ii) by rescaling the altered daily statistics according to the scaling properties exhibited by the historical raw moments in order to generate the future statistics at the temporal resolutions not provided by climate models and required by the reparametrisation procedure.

Temperature series are downscaled through an autoregressive model, which is calibrated with present climate data and its outputs are modified according to the climate model outputs. In particular, the stochastic component of temperature data is modelled through a multivariate

autoregressive model. This model is calibrated with standardised observed temperature series and it is run in a Monte Carlo framework to account for the stochastic uncertainty. The shape and location characteristics of each future decade are added to the synthetic stationary series by reversing the standardisation process in a monthly basis with the mean and standard deviation of the future decades computed as the observed mean and standard deviation perturbed with the ratio between the climate model estimated future and present mean and standard deviation.

The downscaled scenarios are obtained in both a multi-site framework accounting for cross-correlations among the stations and in form of gridded maps. The proposed procedures provide robust and efficient approaches to generate multiple series of high-resolution scenarios by Monte Carlo simulation, which can be successfully used as input to hydrological impact models and for impact studies. They present thus a unique alternative for addressing the internal variability of both precipitation and temperature at high temporal and spatial resolution and its influence on the natural water cycle.

The application of the presented methodologies are demonstrated in the Rhone catchment, a challenging area with complex orography located in Valais, Switzerland, and characterised by very heterogeneous climatic regimes.

In general terms this thesis allowed i) to verify whether or not a relatively simple bias correction was able to improve the accuracy of climate model simulated precipitation and temperature in a region of complex orography, ii) to test two well known space-time stochastic models in an area of complex orography, and iii) to conclude about the suitability of the investigated stochastic models for sub-daily spatiotemporal downscaling of climate model outputs of precipitation and temperature.