

Strengthening Institutional Capacity to Improve the Assessment of Impacts of Climate Change in Latin America and the Caribbean

Contract # INE/CCS-RG-T2612-SN1

The image shows a screenshot of the 'REGIONAL CLIMATE CHANGE DATA PORTAL' website. The header features a globe icon of Latin America and the Caribbean, the portal title, and the consortium name. A navigation menu includes 'LAC CONSORTIUM', 'WRF VARIABLES', 'SIMULATIONS', and 'HELP'. The main content area is a grid of six interactive tool cards: 'MAPMAKER' (with a globe icon and 'Make Maps' button), 'VERIFY' (with a checkmark icon and 'Verify Results' button), 'TIME SERIES' (with a line graph icon and 'Graph Climate' button), 'INDICES' (with a bar chart icon and 'Graph Indices' button), 'CHANGE FACTOR' (with a scales icon and 'Scale Climate' button), and 'DOWNLOAD' (with a download arrow icon and 'Get Data' button). A footer bar contains 'About', 'News', 'Members', and 'Contact' buttons. The bottom of the page features the University of Nebraska-Lincoln logo and text, and the IDB logo.

REGIONAL CLIMATE CHANGE DATA PORTAL
LATIN AMERICA AND CARIBBEAN CONSORTIUM

LAC CONSORTIUM WRF VARIABLES SIMULATIONS HELP

MAPMAKER
Create climate parameter maps from downscaled climate change scenarios for Latin America and the Caribbean.
Make Maps

VERIFY
Compare model output to observations to determine how well the model conforms to the present-day climate.
Verify Results

TIME SERIES
Graph climatologies for historical, present-day, and future downscaling model runs.
Graph Climate

INDICES
Graph climatologies of standard climate indices from observations and downscaling model runs.
Graph Indices

CHANGE FACTOR
Scale projected climate change to intermediate periods using a Change Factor (δ) method.
Scale Climate

DOWNLOAD
Select data from various downscaled scenarios and download for further analysis and plotting.
Get Data

About News Members Contact

N The Regional Climate Change Data Portal was developed at the University of Nebraska-Lincoln with support from the Interamerican Development Bank. **IDB**

Technical Report #5
Proceedings of the Fifth Workshop

prepared by

Robert J. Oglesby and Clinton M. Rowe
Department of Earth & Atmospheric Sciences
University of Nebraska-Lincoln
Lincoln, Nebraska, USA
November 2017

Contents

- Overview..... 1
- Workshop Objectives..... 2
- Working Groups..... 3
 - List of Publications - current and future 3
- Climate Portal* Evaluation 8
- Workshop Summary 8
- Group Assessment of Progress 9
- The Next Steps..... 12

Appendices

- Appendix A: Workshop Agenda 14
- Appendix B: List of Participants 16
- Appendix C: Working Group Reports..... 18
 - Working Group 1 18
 - Working Group 2 36
 - Working Group 3 75
- Appendix D: *Climate Portal* evaluation results 88

Workshop 5: Continuing Regional Climate Change Activities Step 5 (13-16 November 2017)

Overview

The fifth Consortium workshop was held at the facilities of CATHALAC on the campus of the City of Knowledge in Panama City, Panama from 13-16 November 2017 (see Appendix A for agenda). Representatives from 10 countries were in attendance, and the Workshop was directed by two scientists from the University of Nebraska-Lincoln (see Appendix B for list of participants). This Workshop was unique in being the last in this phase of the project activities.

As with each of the previous Workshops, this fifth one was four days in length, and focused primarily on the three Working Groups. Each Working Group met individually to discuss progress and update regional and topical needs, and presented these results regularly through the week to the entire set of participants. Of particular note, *Climate Portal* updates and enhancements were demonstrated and discussed, and the Participants were able to try them out under our guidance, including numerous exercises, and suggest final improvements. Finally, there was a group assessment and lengthy discussion of project progress to date, and what the next steps forward would be, especially with a focus on individual country needs.

Workshop Objectives

The objectives for this Fifth Workshop continued to emphasize putting the ‘work’ into ‘workshop’. That is, the activities focused around the Participants working together, exchanging ideas, and learning new methods from us and from each other. A key focus now was how best to extend and enable the continuation of the project.

1. Meetings of each Working Group to discuss progress and update regional needs. This has been a key focus of each Workshop, including this fifth one.
2. Individual participant discussion of specific country progress and continued needs. This was a key outcome of the Workshop, and as always they were not shy!
3. Regular reports of each Working Group to all participants (see Appendix C).
4. Update, demonstration, and discussion of new *Climate Portal* improvements and enhancements.
5. Group assessment of the success of the overall project, papers prepared or in preparation, and development of a plan for the future.

A continuing strength of this Fifth Workshop was the frank and open group discussions we had about the scope of the project, what the expectations were, and how best to proceed, both with the workshops and, importantly, between them. This now included the overall future of the project. Overall assessment of the project and future steps are discussed in the final sections of this report.

Working Groups

Deliberations by each Working Group (**WG1**: Tropical Cyclones; **WG2**: El Nino – Southern Oscillation [ENSO]; and **WG3**: Mountain Precipitation) was the focus of the Workshop and continued much of the day Monday, Tuesday, and Wednesday as well as Thursday morning. As during previous workshops, the staff from the University of Nebraska circulated among the Groups, answering questions and providing advice and guidance as they worked toward producing a manuscript for submission to an appropriate scientific journal.

We are extremely pleased with the continuing progress each Working Group was able to make both before and during this Fifth Workshop. Each Group has a coherent plan for moving forward and appear to have the knowledge, capabilities, and resources necessary to carry out their plans.

By the final day of the Workshop, each of the Working Groups had given one or more presentations of their research to the entire Consortium. The presentation slides and other materials presented are collected in Appendix C.

List of Publications - current and future

Published

Oglesby, R. , Rowe, C. , Grunwaldt, A., Ferreira, I., Ruiz, F., Campbell, J., Alvarado, L., Argenal, F., Olmedo, B., del Castillo, A., Lopez, P., Matos, E., Nava, Y., Perez, C. and Perez, J. (2016) A high-resolution modeling strategy to assess impacts of climate change for Mesoamerica and the Caribbean. *American Journal of Climate Change*, 5, 202-228.

Abstract Mesoamerica and the Caribbean are low-latitude regions at risk for the effects of climate change. Global climate models provide large-scale assessment of climate drivers but, at a horizontal resolution of 100 km, cannot resolve the effects of topography and land use as they impact the local temperature and precipitation that are keys to climate impacts. We developed a robust dynamical downscaling strategy that used the WRF regional climate model to downscale at 4 - 12 km resolution GCM results. Model verification demonstrates the need for such resolution of topography in order to properly simulate temperatures. Precipitation is more difficult to evaluate, being highly variable in time and space. Overall, a 36 km resolution is inadequate; 12 km appears reasonable, especially in regions of low topography, but the 4 km resolution provides the best match with observations. This represents a tradeoff between model resolution and the computational effort needed to make simulations. A key goal is to provide climate change specialists in each country with the information they need to evaluate possible future climate change impacts.

Abadi, A.M., Oglesby, R., Rowe, C. and Mawalagedara, R. (2017) Evaluation of GCMs historical simulations of monthly and seasonal climatology over Bolivia, *Climate Dynamics*, <https://doi-org.libproxy.unl.edu/10.1007/s00382-017-3952-y>.

Abstract Bolivia is a low-latitude, developing country at grave risk to the deleterious effects of human-induced climate changes. Due to the complexity of the topography in Bolivia, it is difficult to capture future impacts of the climate change on the regional scale with the coarse resolution of current GCMs. A robust strategy has been developed to dynamically downscale the GCM outputs to a more appropriate temporal and spatial resolution for impact studies. Prior to downscaling, however, evaluation of the GCMs used to provide large-scale forcing is a necessary step to ensure physically meaningful results from regional climate models. This study represents the first part of a broader project on evaluating climate change impacts over Bolivia. We examined precipitation, temperature, wind patterns and moisture transport to evaluate the performance of eight CMIP5 GCMs in simulating the continental and regional climate patterns. Phenomena including the seasonal and monthly positions of the intertropical convergence zone, South Atlantic convergence zone, Bolivian high, Chaco low and South American low-level jet, were analyzed. Our results confirm that, in general, all the GCMs do reasonably well in simulating the basic patterns of the variables with some discrepancies in magnitude across models, especially in the regional scale. Some models outperform the others for the variables and the region of our interest. Finally, the results of this research will help improve quantifying the uncertainty range of further regional downscaling outputs.

Submitted

Abadi, A.M., Rowe, C.M., and Andrade, M. (2018) Climate classification in Bolivia: a combination of hierarchical and consensus clustering analysis based on precipitation and temperature, submitted to *Journal of Climate*.

Abstract Climate regionalization is an inseparable part of many climate change and environmental studies. Delineating climatologically homogeneous regions enhances the precision of such studies and reduces the biases due to the uncertainties associated with climate model outputs at individual grid points. Throughout time, researchers and statisticians have developed different methods to perform regionalization in which the techniques are highly dependent on the nature and accessibility of the data. This research aims to divide Bolivia into smaller, coherent climate subdivisions. To achieve this goal, we first apply an agglomerative hierarchical climate regionalization method, described in an open source R package, to cluster monthly precipitation and temperature separately based on a gridded observation dataset for Bolivia spanning from 1979 to 2010. The clustering is performed on the two variables separately to avoid arbitrary attribute scaling and information redundancy. Consensus clustering then takes the categorical intersection of the two independent clusters to create homogeneous climate regions. Results from this study show that Bolivia can be divided into ten climatically distinguishable subdivisions largely explicable by topography and latitude, which are the key climate control factors in the region.

In preparation and planned (with working titles and suggested journals)

Abadi, A.M., Rowe, C.M. and Oglesby, R.J. (2018) Verifying WRF downscaling outputs for present-day climate of Bolivia, to be submitted to *Journal of Climate*.

Synopsis This paper will present statistical and graphical verification of the Historical downscaled results for Bolivia as compared to station observations and gridded observational dataset.

Abadi, A.M., Rowe, C.M. and Oglesby, R.J. (2018) High-resolution climate change projections for Bolivia, to be submitted to *Journal of Climate*.

Synopsis This paper will present high-resolution projections of climate change for Bolivia based on three RCPs and three GCMs.

Alfaro, G., Alvarado, L., Barrera, D., Nieto, J.J., Ruiz, F., Rowe, C.M. and Oglesby, R.J. (2018) Changes of the seasonal cycle in the precipitation and temperature in Guatemala for mid-21st century under RCP8.5, to be submitted to *International Journal of Climatology*.

Synopsis This paper will present the results of possible climate change for precipitation and average air temperature in the middle of the 21st century for Guatemala. Results use rescaled outputs of high spatio-temporal resolution, based on downscaling with the WRF model of the CMIP5 RCP8.5 run of the CCSM4 general circulation model. Following verification of the run in present climate, future climate projections were adjusted using the Change Factor methodology, additive for the average temperature and multiplicative for the precipitation, for each month of the year, which allowed building the seasonal cycle for selected stations for the middle of the 21st century.

Alvarado, L., Alfaro, G., Barrera, D., Nieto, J.J., Ruiz, F., Rowe, C.M. and Oglesby, R.J. (2018) Climatic properties of the low-level Caribbean jet stream (CLLJ) as simulated by the WRF model, to be submitted to *Climate Dynamics*.

Synopsis The CLLJ is recognized as a dominant climatic feature of the region of the Intra-American Seas (IAS) and the warm-water pool of the Western Hemisphere (WHWP) -- of which the Caribbean Sea and Central America are part -- presents a structure very particular both horizontally, vertically and seasonally. The importance of CLLJ lies in its strong association and modulation with the rainy season in Central America and the Caribbean islands, mainly with the summer drought (locally known as veranillo), as well as with the intense autumn rains of the Intertropical Confluence Zone. This paper will evaluate how well the dynamical downscaling is able to represent the CCLJ.

Andrade, M., Llacza, A., Rowe, C.M. and Oglesby, R.J. (2018) Climate change in the central Altiplano, to be submitted to *International Journal of Climatology*.

Synopsis This paper will compare high-resolution dynamically downscaled WRF output to historical station observations and gridded temperature and precipitation data as well as reanalysis wind data for the central Altiplano region of Peru and Bolivia.

Argeñal, F., López, A., Rowe, C.M. and Oglesby, R.J. (2018) Climate change and tropical cyclones in the Caribbean, to be submitted to *Climatic Change*.

Synopsis This paper will discuss the climate changes in the Caribbean that might have an impact on tropical cyclone genesis and evolution.

Campbell, Argeñal, F., López, A., Rowe, C.M. and Oglesby, R.J. (2018) Identifying tropical cyclones in high-resolution dynamical downscaling over the Caribbean, to be submitted to *Climate Dynamics*.

Synopsis This paper will present the results of applying tropical cyclone detection algorithms to high-resolution dynamically downscaled output over the Caribbean and its possible utility in understanding potential changes in tropical cyclones as a result of climate change in the region.

Rowe, C.M., Grunwaldt, A., Oglesby, R.J. and Brusa, F. (2018) A portal to provide access to high-resolution climate downscaling data for Latin America and the Caribbean, to be submitted to *Climate Services*.

Synopsis This paper will describe the development and use of the Climate Portal and its application to providing climate services to countries in Latin America and the Caribbean.

Rowe, C.M., Oglesby, R.J., Grunwaldt, A., Alfaro, G., Alvarado, L.F., Andrade, M., Argeñal, F., Barrera, D., Campbell, J., Llacza, A., López, A., Nieto, J.J., and Ruiz, F. (2018) Workshop overview and summary, to be submitted to *EOS* or *BAMS*.

Synopsis This paper will provide an overview of the project, workshop activities, and lessons learned from our experiences.

Ruiz, F. (2018) Changes of the seasonal cycle in the precipitation and temperature in Colombia for mid-21st century under RCP8.5, to be submitted to *International Journal of Climatology*.

Synopsis The results of the possible climate change for precipitation and average air temperature in the middle of the 21st century are presented for the 14 pluviometrically homogeneous regions of Colombia. Results use rescaled outputs of high spatio-temporal resolution, based on downscaling with the WRF model of the CMIP5 RCP8.5 run of the CCSM4 general circulation model. Once the verification of the run in present climate was made, it was decided to make the simulated future climate adjustment with the Change Factor methodology, additive for the average temperature and multiplicative for the precipitation. The change factors were obtained for each of the months of the year, which allowed building the seasonal cycle of the 32 stations selected for the middle of the 21st century. Once this was obtained, the anomalies were calculated with respect to the current climate to quantify the increase or decrease in the values of the meteorological variables mentioned month by month and in the annual scale. The results show that the monthly precipitation would be redistributed throughout the year making some months rainier than normal, others drier than normal and other months with a condition similar to the current, suggesting a change in the seasonality of precipitation for middle of the 21st century. The average air temperature in Colombia would increase around 1.7 °C.

Climate Portal Evaluation

During this workshop, as the participants were working with the Climate Portal applications, we distributed a series of exercises and evaluation questions to each participant. These exercises asked each participant to:

1. read the manual chapter for each application (i.e., *MapMaker*, *Verify*, *TimeSeries*, *Indices*, and *Download*),
2. do one or more specific tasks with that application, and
3. answer a series of questions about utility, ease of use, and any problems encountered.

The exercises used and the results of this evaluation are collected in Appendix D.

Workshop Summary

In summary, the Workshop was a successful completion to the current phase of the Regional Consortium. The Participants continued to make considerable progress in the three Working Groups. Each group spent considerable time meeting separately, with the discussions in each case focused on understanding the model downscaled results. The focus was further organized into two themes: 1) The likely impacts for the people and infrastructure involved; and 2) Preparation of several papers reporting on these findings to be submitted to appropriate scientific journals (see above for list of current and planned publications).

In addition to these separate Working Group meetings, there were also numerous 'plenary' sessions were held with all three groups (i.e., all Participants) meeting together. This led to considerable cross-communication between Working Groups, the need for which had been stressed during our monthly video chat sessions. It is anticipated that at least one joint scientific paper, as well as several crosscutting reports will be a key result (see above for list of current and planned publications).

A continuing strength of this Fifth Workshop, as with all previous ones, was the frank and open group discussions we had about the scope of the project, what the expectations were, and how best to proceed.

Group Assessment of Overall Project

Project goals and plan: The overall project consisted of two parallel but interconnected components over an almost two-year period:

1. a series of five workshops to identify and investigate specific issues of importance to the participating countries, and
2. improvements and enhancements to web applications to display, analyze and use dynamically downscaled output for the region (formerly, MapMaker; now, the Climate Portal).

The first component led to the identification of three specific impact areas (*i.e.*, tropical cyclones, El Nino-Southern Oscillation, and mountain precipitation) and the participants self-identified with a Working Group focusing on one of these areas. While the Working Groups were the principal organizational structure for the Workshops, significant time for discussion amongst all participants (*i.e.*, 'plenary' sessions) was included as part of each Workshop.

The second component was largely undertaken between Workshops, based on discussions at the Workshops. The number of web applications and capabilities was greatly enhanced to meet the needs of the participants.

Between workshops, monthly teleconferences were held to update participants on application developments and to maintain momentum of the Working Groups.

Project assessment: In general, participants expressed satisfaction with the Climate Portal applications and the progress made at each Workshop. Writing scientific papers proved to be slower than expected, primarily as a result of other demands on the participants between workshops. Manuscripts are currently in progress (see list above) and we and all participants have pledged to continue working toward submission to appropriate journals in the coming weeks and months.

We also sent a short questionnaire around to the current participants. Specifically, we asked:

As we are writing the final report for IDB, we realize that it would be helpful to have some comments from you to add. We would like your comments on:

- 1) *the overall project,*
- 2) *what worked well,*
- 3) *what could be improved in the future, and*
- 4) *what our group can do to address any specific climate change information needs for your country.*

The responses we received very much support our own assessment above, indeed, they could very well have written it. Some specific quotes on the overall project:

- *'Having had people of different nationalities and with diverse fields of work, contributed to having a broader vision and a different approach to the traditional one.'*

- *'This knowledge has been made in a very practical and easy way with the MapMaker application, which facilitates the interpretation of results very quickly.'*
- *'I think it's an excellent idea to involve the whole region so that together they can study the natural events that will affect us all. The tools offered by the climate portal will contribute in the decision-making to be prepared in possible scenarios of climate change and in this way help preserve lives and resources.'*
- *'It is a good initiative, because first I generate the approach and conformation of a group of specialists directly related or not at the beginning with the topic of climate change, but who is currently prepared to carry out studies on this topic and at the same time share the knowledge learned.'*
- *'The project was very useful because now we have a tool that generates future scenarios for the country (Guatemala) with a resolution of 4 km, which had not been possible for the country using other tools. Thanks to the exercises we did during the workshops, we managed to collect information from weather stations with daily data of long sequences of time, data that we did not have, which served both to feed the platform, and to archive it within the database of the academy (University of the Valley of Guatemala) to be able to share it with other institutions and /or initiatives.'*
- *'Getting together with colleagues of different backgrounds and regions to deal with a global problem has been a very interesting experience. The value of forming a cohesive group that at the end showed a strong compromise for moving things forward is no minor achievement.'*

Participants, in general, were very pleased with the applications in the Climate Portal (i.e., MapMaker and other applications), although there is always a desire for more tools and more climate simulations. Again, quoting from participant responses to the question of what worked well:

- *'The development of the climate portal with the recommendations of the working group, which contributed to it becoming a useful tool for the analysis of climate change'*
- *'the quality and high resolution of climate change projections'*
- *'The training and use of the MapMaker tool mainly.'*
- *'The tool will be useful to generate scenarios of Climate Change at the local level with high resolution, which will serve to improve decision making in terms of adaptation and mitigation measures. We are currently doing an exercise to find the biases of the platform, which will be very useful for the generation of more accurate local information. In addition, the results obtained with the tool will contribute to include them within the Climate Science Chapter that will be part of a book on Climate Change that will be published nationwide.'*
- *'The response of UNL to requests made by the different members of the group has been excellent. I believe MapMaker is not only much robust but much friendly. I think that this platform could really help many people to deal with large data sets. Many of the actions needed for such purpose are now part of MapMaker.'*

- *'We could encourage the use of MapMaker in our countries. In fact, I plan to use it with my students to analyze the data in an academic environment. Part of the duties from our part should be collecting the best information possible to add to the current database. The tool itself is good but without good data it won't help much in terms of data analysis.'*

and what more they would like to see included:

- *'In the future, the length of the runs of the model can be extended to analyze a larger scale event such as El Niño or La Niña'*
- *'More runs for periods not included.'*
- *'Increase study domains, particularly in the Pacific.'*

These last comments reinforce the notion that there is never a need to ask a climate scientist what data they want – they want it all, everywhere, and for all time!

The Next Steps

This current phase of the overall Latin America and the Caribbean Regional Climate Consortium has now come to a close. What are the next steps, that is, the path forward? All the participants in the Consortium over the past couple of years have expressed interest in continuing and moving forward the Consortium. Over the past nine years, we have had considerable success in developing high-resolution climate change scenarios for the region and trained numerous personnel from countries across the region. Indeed, we have developed quite a team, many of whom have been active in the Consortium since the beginning in 2009. We all feel like we have developed two products, the regional WRF climate model downscaling scenarios, and the Climate Portal software with which to access and use the climate model results. We now have the team poised and ready to use these results for practical problems of climate change for their individual countries. We all feel like the show must go on; but, of course, how to accomplish this?

We see three overlapping goals:

1. Further development of the Climate Portal to respond to needs of countries to address the specific problems they identify through polling. Country-specific development of climate change scenarios and the necessary tools to interface with the Climate Portal. This has proven successful so far for Guatemala and Bolivia (with these results being used as appropriate for the regional working groups). It seems clear that expanding this to include specific, country-level, downscaling simulations while still including the group format is the way forward.
2. Development of climate country-specific climate change scenarios and key impacts issues, as well as the necessary tools to interface with the Climate Portal.
3. Inviting other countries in the region, either those who have participated previously (e.g., El Salvador and the Dominican Republic) or those that have not yet participated (e.g., non-Andean nations in South America, other islands in the eastern Caribbean) to join the Consortium to expand its impact across the region.

Again, comments from the participants reinforce our own and could easily substitute. Some specific comments on what could be improved and future needs:

- *'I would like to have more in-depth discussions about scientific/technical aspects. This is not so easy having people with different background and skills but, at the same time, this fact could enrich the discussion, help to produce documents that are accessible for a larger audience and better train all participants of the workshops.'*
- *'In the future, it would be very useful to include within the platform the run of scenarios for more years, for example 2030, 2100 to be able to apply it with greater certainty. It would also be very useful to be able to run the scenarios not only with RCP8.5, but with BAU or RCP6. This is because it is necessary to know the different scenarios to show them to the decision makers.'*
- *'First, currently everyone knows and can train on the importance of the uses of model data for the study of climate change. In addition, depending on the region, you can*

identify which emission models and scenarios can be applied to a part or all of your country, in studies on climate change.'

- *'Due to the position that Nicaragua is in and the different natural events that affect it, the group can participate in many needs that are presented on climate change.'*
- *'Define procedures to use the Mapmaker and solve case studies focused on issues of sustainability and adaptation and Resilience.'*
- *'It would be very useful to have high-resolution and longer-term runs in a larger region.'*
- *'In the future, the results can be oriented to solve a problem at a national or regional level oriented to the possible impacts of climate change, in sectors such as health, food security or energy.'*
- *'The climate portal allows, in addition to obtaining the data of projections in multiple formats and multiple variables, to become a repository of data from meteorological stations in the countries, from which a large community of users at a regional level can benefit.'*

Based on these comments from the participants, clearly, this project has identified and worked successfully so far to understand the nature of overall future climate change due to human activities for the LAC region. But now the next steps must be taken, which as noted above include a focus on individual country needs as well as continued development of the climate portal in this regard. Obviously important as well is the symbiosis that is generated by having participants from all across the region work together, even if their primary focus is on implications for their own country.

We end with one final quote from a participant that succinctly states the need to continue these efforts and tailor them to the specific needs of countries in the region:

'The formation of the consortium and the results of the project can now answer questions about how climate change would change the distribution of rainfall during a season or how can change temperature and a series of other variables, that allow establishing, based on this knowledge, the definition of possible adaptation measures. It also allows the development of studies on sectoral impacts of climate change.'

Appendix A: Workshop Agenda

- AGENDA -

Workshop 5

Finalizing Regional Climate Change Consortium Activities (13-16 November 2017)

Day 1:		
Morning		
9:00 am	Registration Introduction and Scope of Workshop	
9:30 am	Status reports from each Working Group	(plenary)
10:30 am	Break	
10:45 am	Climate Portal update	(plenary)
11:15 am	Group discussion: ClimatePortal needs	(plenary)
12:30 pm	Lunch	
Afternoon		
2:00 pm	Working Groups meet	(breakout)
3:30 pm	Break	
3:45 pm	Working Groups meet	(breakout)
4:30 pm	Group discussion: key themes, ideas, and needs identified so far	(plenary)
5:00 pm	Adjourn for the day	

Day 2: Working Group Meetings		
Morning		
8:30 am	Status reports from each Working Group	(plenary)
9:15 am	Working Groups meet	(breakout)
10:30 am	Break	
11:00 am	Summary of progress to date as project concludes	(plenary)
12:30 pm	Lunch	
Afternoon		
2:00 pm	Working Groups meet	(breakout)
3:30 pm	Break	
4:00 pm	Group discussion: key themes, ideas, and needs identified so far	(plenary)
5:00 pm	Adjourn for the day	
Day 3: Working Group Meetings		
Morning		

8:30 am	Status reports from each Working Group	(plenary)
9:15 am	Working Groups meet	(breakout)
10:30 am	Break	
11:00 am	Working Groups meet	(breakout)
12:30 pm	Lunch	
Afternoon		
2:00 pm	Working Groups meet	(breakout)
3:30 pm	Break	
4:00 pm	Group discussion: key themes, ideas, and needs identified so far	(plenary)
5:00 pm	Adjourn for the day	

Day 4: Workshop Conclusions and Next Steps		
Morning		
8:30 am	Working Groups finalize plans	(breakout)
10:30 am	Break	
11:00 am	Working Groups report	(plenary)
12:30 pm	Lunch	
Afternoon		
2:00 pm	What we have accomplished during this project	(plenary)
2:30 pm	Key needs moving forward	(plenary)
3:30 pm	Break	
4:00 pm	Next steps	(plenary)
4:30 pm	Project conclusions: Future objectives, tasks, and goals	(plenary)
5:00 pm	Adjourn the workshop	

Appendix B: List of Participants

Nombre del Evento:	Cuarto Taller Regional del Programa "Fortalecimiento de capacidades institucionales para mejorar la evaluación de los impactos del cambio climático en América Latina y el Caribe"			
Fechas:	13 al 16 noviembre 2017			
Lugar:	Ciudad de Panamá, Panamá			
	Nombre	Cargo	Organización	email
1	Alberto López López	Investigador	Instituto de Investigaciones Eléctricas, México	alopezl@ineel.mx
2	Marcos Andrade Flores	Laboratorio de Física de la Atmósfera	Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia	mandrade@atmos.umd.edu mandrade@fiumsa.edu.bo
3	Gabriela Alfaro Marroquín	Directora Interina	Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad, Universidad del Valle de Guatemala	gabyalfaro@yahoo.com
4	Francisco Javier Argeñal Pinto	Sub Jefe del Centro Nacional de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sísmicos	Comisión Permanente de Contingencias (COPECO), Honduras	fjargenal@gmail.com
5	Juan José Nieto	Jefe de Servicios Climáticos	Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN), Ecuador	j.nieto@ciifen.org
6	Jose Franklyn Ruiz Murcia	Subdirección de Meteorología	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Colombia	jruiz@ideam.gov.co

	Nombre	Cargo	Organización	email
7	Alan Gerardo Llacza Rodríguez	Dirección de Meteorología Aplicada	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Perú	allacza@senamhi.gob.pe
8	Jayaka Campbell	Research Fellow, Climate Studies Group	University of the West Indies, Jamaica	jayaka.campbell02@uwimona.edu.jm
9	Luis Fernando Alvarado Gamboa	Climatología	Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica	luis@imn.ac.cr
10	Dusstin Barrera Gómez	Encargado de Base de Datos de Meteorología en la Dirección General de Sistemas Geo-Informáticos	Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Nicaragua	dusstin.barrera@sb.ineter.gob.ni dusbarrera@hotmail.com
11	Robert Oglesby	Professor	University of Nebraska-Lincoln	roglesby2@unl.edu
12	Clinton Rowe	Professor	University of Nebraska-Lincoln	crowe1@unl.edu

Appendix C: Working Group Reports

Working Group 1: Tropical Systems

Jayaka Campbell, Alberto López, Francisco Argeñal

This Working Group focuses on weather systems that start as tropical waves and subsequently may develop into tropical storms and possibly then into a hurricane. Both the Atlantic and eastern Pacific basins are considered, as either can affect the LAC, especially Central America, Mexico, and the Caribbean. Because of the large geographic area involved, this group is focused on the region-wide simulations for Mesoamerica and the Caribbean.

Contents: Workshop presentation by Jayaka Campbell, Alberto López, Francisco Argeñal

MapMaker

UNL Regional Climate Modeling Facility
UNIVERSITY OF NEBRASKA-LINCOLN

Hurricane Group

Jayaka D. Campbell
Francisco J. Argeñal Pinto
Alberto López López

Test 1 – Average temperature

Average temperature

RCCDP MapMaker

Mesoamerica | d02: Regional (12km) | CCSM4_rcp85 | Present-day | MY01

Month(s): Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec Annual Wrap winter
(ctrl-click to clear radio buttons in menus below)

Surface Parameter	Fill	Line	Flux Parameter (at SFC, unless noted)	Fill	Line
Temperature (°C)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Solar Radiation (W m ⁻²)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Precipitation (mm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Downward Longwave (W m ⁻²)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mean Sea-Level Pressure (hPa)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Outgoing Longwave at TOA (W m ⁻²)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Minimum Temperature (°C)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Ground Heat Flux (W m ⁻²)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maximum Temperature (°C)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sensible Heat Flux (W m ⁻²)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mixing Ratio (g kg ⁻¹)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Latent Heat Flux (W m ⁻²)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Relative Humidity (%)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Upward Moisture Flux (kg m ⁻² s ⁻¹)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Surface Pressure (hPa)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
Skin temperature (°C)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
Snow Water Equivalent [SWE] (kg m ⁻²)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
Mid-month SWE (kg m ⁻²)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
U-component (m s ⁻¹)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
V-component (m s ⁻¹)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
Wind Speed (m s ⁻¹)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
Wind Vector (m s ⁻¹)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			

Atmospheric Parameter	Fill	Line	Level (hPa)
Temperature (°C)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
Geopotential Height (m)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
Mixing Ratio (g kg ⁻¹)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
Relative humidity (%)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
U-component (m s ⁻¹)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
V-component (m s ⁻¹)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
Horizontal Wind Speed (m s ⁻¹)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
Vertical Velocity (m s ⁻¹)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
Wind Vector (m s ⁻¹)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>

Land-surface Parameter	Fill	Line
Terrain Height (m)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Albedo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Background Albedo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Surface Emissivity	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Roughness Length (m)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vegetation Fraction	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Leaf Area Index	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Land Use Category	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dominant Vegetation Category	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dominant Soil Category	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Soil Parameter	Fill	Line	Layer
Soil Temperature (°C)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
Soil Moisture (m ³ m ⁻³)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
Mid-month Soil Moisture (m ³ m ⁻³)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>

Plot Modifications

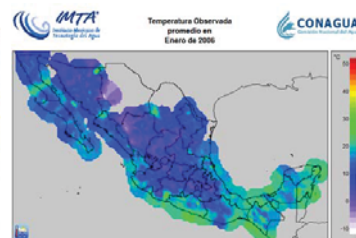
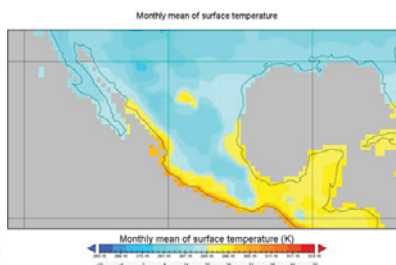
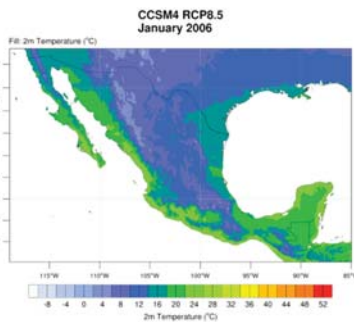
Interval	Minimum	Maximum	Color(s)
Fill: 2	-10	52	precip_16lev
Line:			select or type a color name
Wind:	Ref. Len.	Magnitude	Thinning

Comparative January/2006

• MapMaker

• NASA

• ERICIII



<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ghcncams.html>

Test 2 – Cumulative rainfall

Cumulative rainfall

RCCDP MapMaker

Mesoamerica | d02_Regional (12km) | CCSM4_rcp85 | Present-day | MY02

Months(s): Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec Annual Wrap winter

(ctrl-click to clear radio buttons in menus below)

Surface Parameter	Fill	Line	Flux Parameter (at SFC, unless noted)	Fill	Line
Temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Solar Radiation (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Precipitation (mm)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Downward Longwave (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mean Sea-Level Pressure (hPa)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Outgoing Longwave at TOA (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Minimum Temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ground Heat Flux (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maximum Temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sensible Heat Flux (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mixing Ratio (g kg ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Latent Heat Flux (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Relative Humidity (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Upward Moisture Flux (kg m ⁻² s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Surface Pressure (hPa)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Skin temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Snow Water Equivalent [SWE] (kg m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Mid-month SWE (kg m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
U-component (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
V-component (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Wind Speed (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Wind Vector (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

Land-surface Parameter	Fill	Line
Terrain Height (m)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Albedo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Background Albedo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Surface Emissivity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Roughness Length (m)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vegetation Fraction	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Leaf Area Index	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Land Use Category	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dominant Vegetation Category	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dominant Soil Category	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Atmospheric Parameter	Fill	Line	Level (hPa)
Temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Geopotential Height (m)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Mixing Ratio (g kg ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Relative humidity (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
U-component (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
V-component (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Horizontal Wind Speed (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Vertical Velocity (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Wind Vector (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

Soil Parameter	Fill	Line	Layer
Soil Temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Soil Moisture (m ³ m ⁻³)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Mid-month Soil Moisture (m ³ m ⁻³)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

Plot Modifications

Interval	Minimum	Maximum	Color(s)
Fill: 50	0	500	temp_dif_15lev
Line: <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Wind: <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Color Tables | Named Colors

Output type: Water: PNG: PDF: Land: SVG: PS: None:

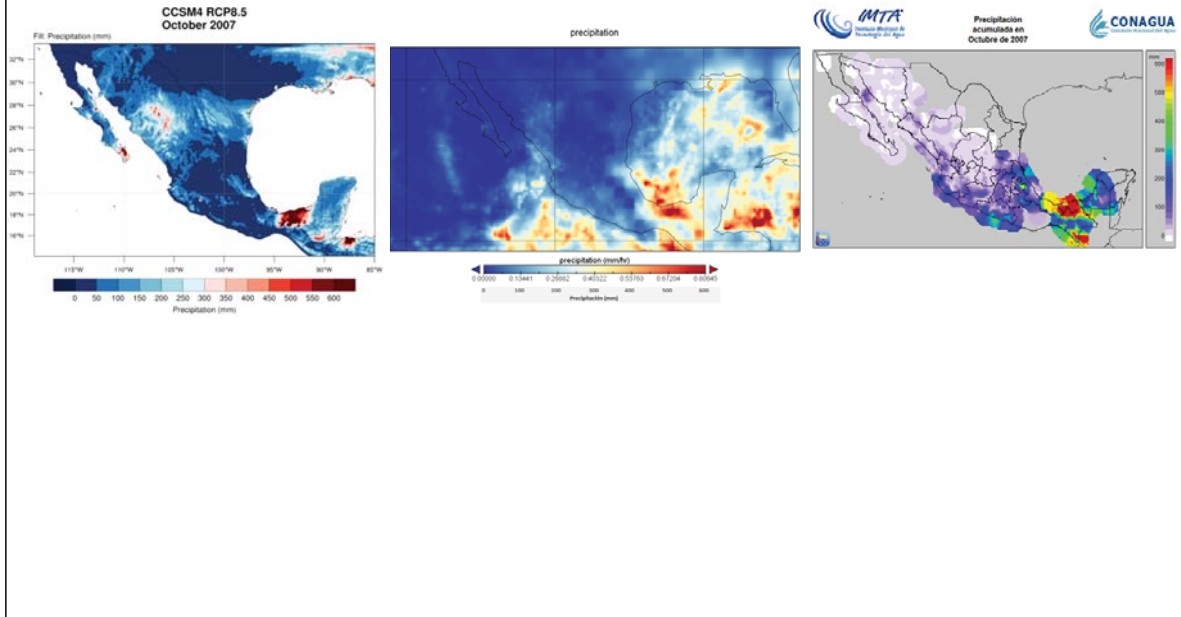
Submit | Reset | Help

Comparative October/2007

- MapMaker

- NASA

- ERICIII



Test 3 – Wind Speed

Tropical Cyclones September/2010

• Hermine (TT)

• Karl (H cat.III)

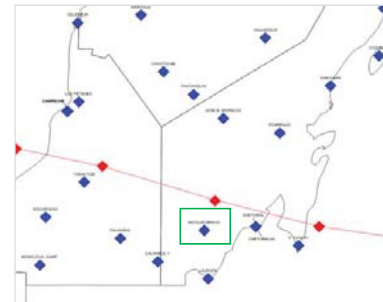
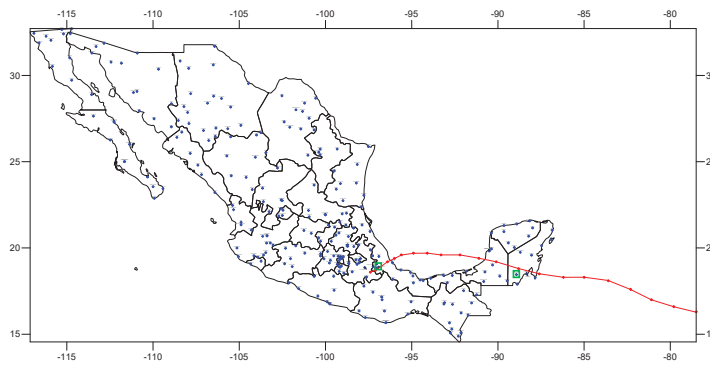
• Matthew (DT)



Cuadro resumen de ciclones tropicales 2010 en el Océano Atlántico

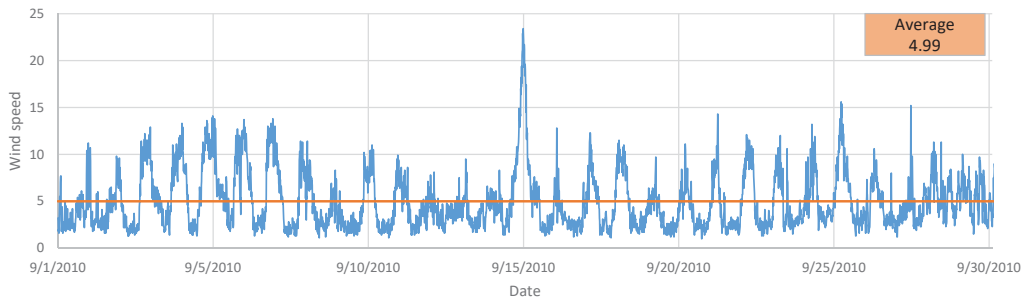
	6
Ciclones tropicales directamente sobre México	Huracán "Alex" (27-30 junio) Depresión tropical No. 2 (8 julio) TT. "Hermine" (6 sept) Huracán "Karl" (15-17 sept) Depresión tropical "Matthew" (25 sept) Depresión tropical "Richard" (25 oct)

Karl (H cat.III) September/2010

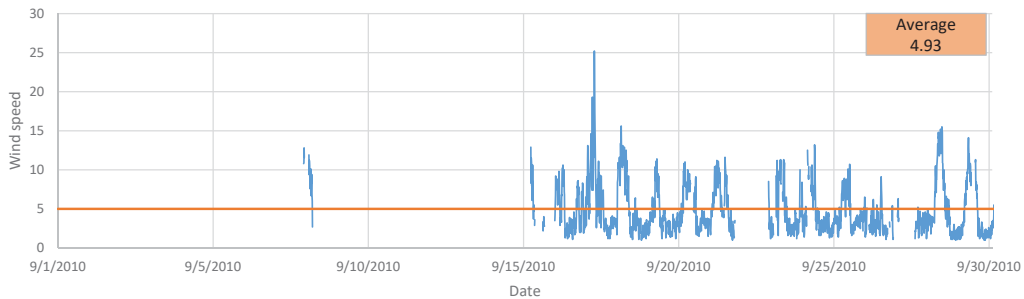


Karl (H cat.III) September/2010

Quintana Roo - Nicolas Bravo - September/2010



Veracruz- Cordoba - September/2010



Average wind speed 2010

RCCDP MapMaker

Mesoamerica | d02 Regional (12km) | CCSM4_rcp85 | Present-day | MY05

Month(s): Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec Annual Wrap winter

[ctrl-click to clear radio buttons in menus below]

Surface Parameter	Fill	Line	Flux Parameter (at SFC, unless noted)	Fill	Line
Temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Solar Radiation (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Precipitation (mm)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Downward Longwave (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mean Sea-Level Pressure (hPa)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Outgoing Longwave at TOA (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Minimum Temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ground Heat Flux (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maximum Temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sensible Heat Flux (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mixing Ratio (g kg ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Latent Heat Flux (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Relative Humidity (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Upward Moisture Flux (kg m ⁻² s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Surface Pressure (hPa)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Skin temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Snow Water Equivalent [SWE] (kg m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Mid-month SWE (kg m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
U-component (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
V-component (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Wind Speed (m s ⁻¹)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Wind Vector (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

Land-surface Parameter	Fill	Line
Terrain Height (m)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Albedo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Background Albedo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Surface Emissivity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Roughness Length (m)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vegetation Fraction	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Leaf Area Index	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Land Use Category	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dominant Vegetation Category	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dominant Soil Category	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Atmospheric Parameter	Fill	Line	Level (hPa)
Temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Geopotential Height (m)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Mixing Ratio (g kg ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Relative humidity (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
U-component (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
V-component (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Horizontal Wind Speed (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Vertical Velocity (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Wind Vector (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

Soil Parameter	Fill	Line	Layer
Soil Temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Soil Moisture (m ³ m ⁻³)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Mid-month Soil Moisture (m ³ m ⁻³)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

Plot Modifications

Interval	Minimum	Maximum	Color(s)
Fill	<input type="text"/>	<input type="text"/>	precip2_17lev
Line	<input type="text"/>	<input type="text"/>	select or type a color name
Ref. Len.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Color
Magnitude	<input type="text"/>	<input type="text"/>	select or type a color name
Thinning	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

Corners	Latitude	Longitude
Upper right:	34	-85
Lower Left:	14	-122

Mask: Water: Land: None:
 Output type: PNG: SVG: PDF: PS:

Submit Reset Help

Average wind speed 2060

RCCDP MapMaker

Mesoamerica | d02_Regional (12km) | CCSM4_rcp85 | Mid-century | /M55

Month(s): Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec Annual Wrap winter

[ctrl-click to clear radio buttons in menus below]

Surface Parameter	Fill	Line
Temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Precipitation (mm)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mean Sea-Level Pressure (hPa)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Minimum Temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maximum Temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mixing Ratio (g kg ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Relative Humidity (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Surface Pressure (hPa)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Skin temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Snow Water Equivalent [SWE] (kg m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mid-month SWE (kg m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
U-component (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
V-component (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wind Speed (m s⁻¹)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wind Vector (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Flux Parameter (at SFC, unless noted)	Fill	Line
Solar Radiation (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Downward Longwave (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Outgoing Longwave at TOA (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ground Heat Flux (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sensible Heat Flux (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Latent Heat Flux (W m ⁻²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Upward Moisture Flux (kg m ⁻² s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Land-surface Parameter	Fill	Line
Terrain Height (m)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Albedo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Background Albedo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Surface Emissivity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Roughness Length (m)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vegetation Fraction	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Leaf Area Index	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Land Use Category	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dominant Vegetation Category	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dominant Soil Category	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Soil Parameter	Fill	Line	Layer
Soil Temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Soil Moisture (m ³ m ⁻³)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Mid-month Soil Moisture (m ³ m ⁻³)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

Atmospheric Parameter	Fill	Line	Level (hPa)
Temperature (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Geopotential Height (m)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Mixing Ratio (g kg ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Relative humidity (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
U-component (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
V-component (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Horizontal Wind Speed (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Vertical Velocity (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Wind Vector (m s ⁻¹)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

Plot Modifications

Interval	Minimum	Maximum	Color(s)
Fill: 1	1	15	precip2_17rev
Line			select or type a color name
Wind	Ref. Len.	Magnitude	Thinning

Color Tables | Named Colors

Corners: Upper right: 34, -85; Lower Left: 14, -122

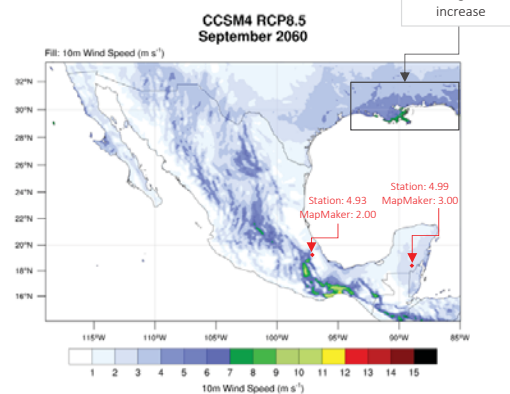
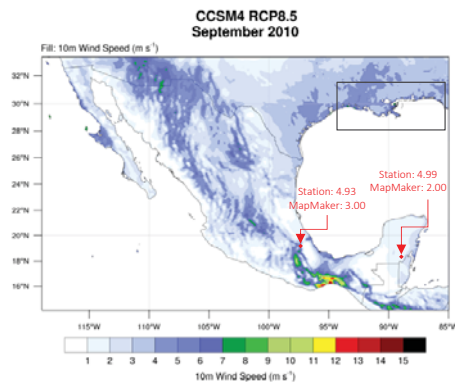
Mask: Water: Land: None:
 Output type: PNG: SVG: PDF: PS:

Submit | Reset | Help

Comparative September/2010 – September/2060 (d02)

• MapMaker 2010

• MapMaker 2060



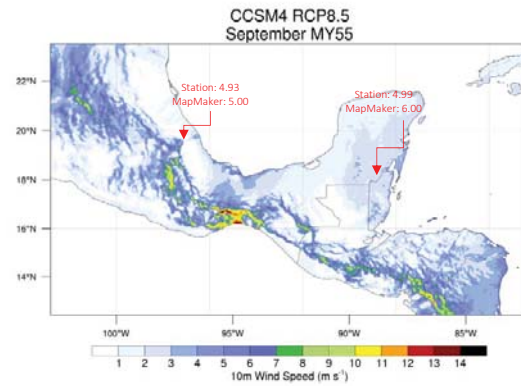
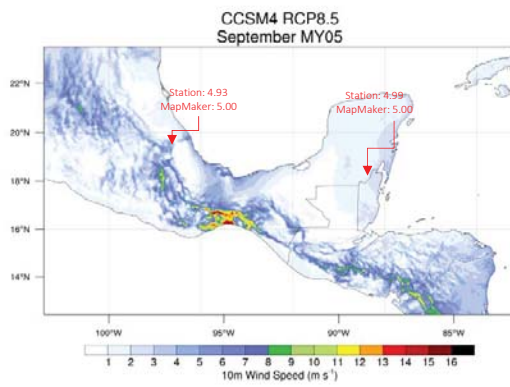
Cuadro resumen de ciclones tropicales 2010 en el Océano Atlántico

Ciclones tropicales directamente sobre México	6
	Huracán "Alex" (27-30 junio)
	Depresión tropical No. 2 (8 julio)
	TT. "Hermine" (6 sept)
	Huracán "Karl" (15-17 sept)
	Depresión tropical "Matthew" (25 sept)
	Depresión tropical "Richard" (25 oct)

Comparative September/2010 – September/2060 (d03)

• MapMaker 2010

• MapMaker 2060



Cuadro resumen de ciclones tropicales 2010 en el Océano Atlántico

6

Ciclones tropicales directamente sobre México

Huracán "Alex" (27-30 junio)
Depresión tropical No. 2 (8 julio)
TT. "Hermine" (6 sept)
Huracán "Karl" (15-17 sept)
Depresión tropical "Matthew" (25 sept)
Depresión tropical "Richard" (25 oct)

Methods for Detection of TCs

Methods for Detection of TCs (Bengtsson, Oouchi, Gualdi and Zhao)

For tropical cyclones, Gray has proposed a criterion which reproduces the geographical repartition of their seasonal frequency occurrence in the current climate. Gray (1979) related this seasonal tropical cyclone frequency to a combination of six seasonal genesis parameters divided in two groups, three dynamical variables (Lower-tropospheric relative vorticity, Coriolis parameter and vertical wind-shear) and three thermodynamical variables (ocean thermal energy, humidity and moist instability of lower atmosphere) computed from seasonally (3-months) averaged large scale field.

Bengtsson (1995) and Walsh(1997) propose thresholds for following para meters:

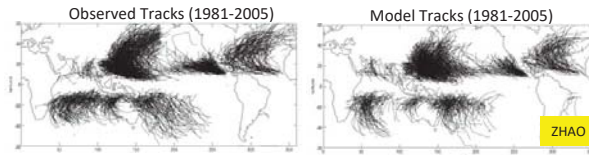
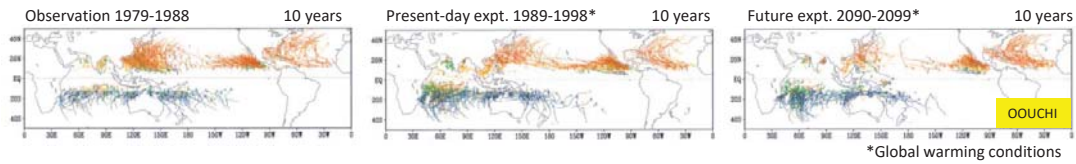
- 1) Relative Vorticity, 2) Minimum surface pressure, 3) Temperature anomalies,
- 4) Ratio at 300 hPa and 850 hPa, 5)Wind speed and 6)Duration of the event

PARAMETER	BENGTSSON (1996)	OOUCHI (2006)	GUALDI (2008)	ZHAO (2009)
Vorticity	Relative vorticity at 850 hPa $> 3.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$	The magnitude of the maximum relative vorticity at 850 hPa exceeds $3.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$	In A, relative vorticity at 850 hPa is $> 3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$	At each time, 850-hPa relative vorticity maximum exceeding $1.6 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ are located within areas of $6^\circ \times 6^\circ$ latitude and longitude.
Minimum surface pressure	A maximum velocity of 15 m s^{-1} and a minimum surface pressure within a 7×7 grid point area around the point which fulfils condition 1.	Across the 45S–45N latitudinal belt, the grid point corresponding to a TC-center candidate was defined as the one where the minimum surface pressure is at least 2 hPa lower than the mean surface pressure over the surrounding $7^\circ \times 7^\circ$ grid box.	There is a relative minimum surface pressure and wind velocity $> 14 \text{ m s}^{-1}$ in an area of 2.25° around A	The local minimum of sea level pressure, which must be within a distance of 2° latitude or longitude from the vorticity maximum, is defined as the center of the storm. And the local maximum surface (lowest model level) wind speed is recorded.

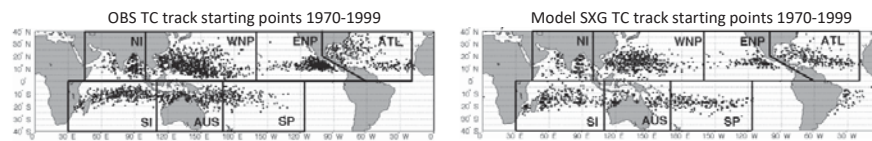
Identification algorithms of TCs Bengtsson, Oouchi, Gualdi and Zhao

PARAMETER	BENGTSSON (1996)	OOUCHI (2006)	GUALDI (2008)	ZHAO (2009)
Temperature anomalies	The sum of the temperature anomalies for the levels 700, 500 and 300 hPa $> 3^\circ\text{C}$	The temperature structure aloft has a marked warm core such that the sum of the temperature deviations at 300, 500 and 700 hPa exceeds 2°K .	The sum of temperature anomalies at 700, 500, and 300hPa is $> 2^\circ\text{K}$, where the anomalies are defined as the deviation from a spatial mean computed over an area of 13 grid points in the east–west and 2 grid points in the north–south direction	The local maximum temperature averaged between 300 and 500 hPa is defined as the center of the warm core. The distance of the warm-core center from the storm center must not exceed 2° . The warm-core temperature must be at least 1°C warmer than the surrounding local mean.
Ratio at 300 hPa and 850 hPa	The temperature anomaly at 300 hPa $>$ temperature anomaly at 850 hPa	The maximum wind speed at 850 hPa is larger than that at 300 hPa	The temperature anomaly at 300 hPa is greater than the temperature anomaly at 850 hPa	
Wind speed	The mean wind speed at 850 hPa $>$ mean wind speed at 300 hPa.	The maximum wind speed at 850 hPa is larger than 15 m s^{-1}	The wind velocity at 850 hPa is $>$ wind velocity at 300 hPa	
Duration of the event	Minimum duration of the event ≥ 1.5 days	The duration is not shorter than 36 hours	The above conditions persist for a period longer than 1.5 days	

- Several authors (OOUCHI, 2006 and ZHAO, 2009) have performed simulations of tropical cyclones with good results.



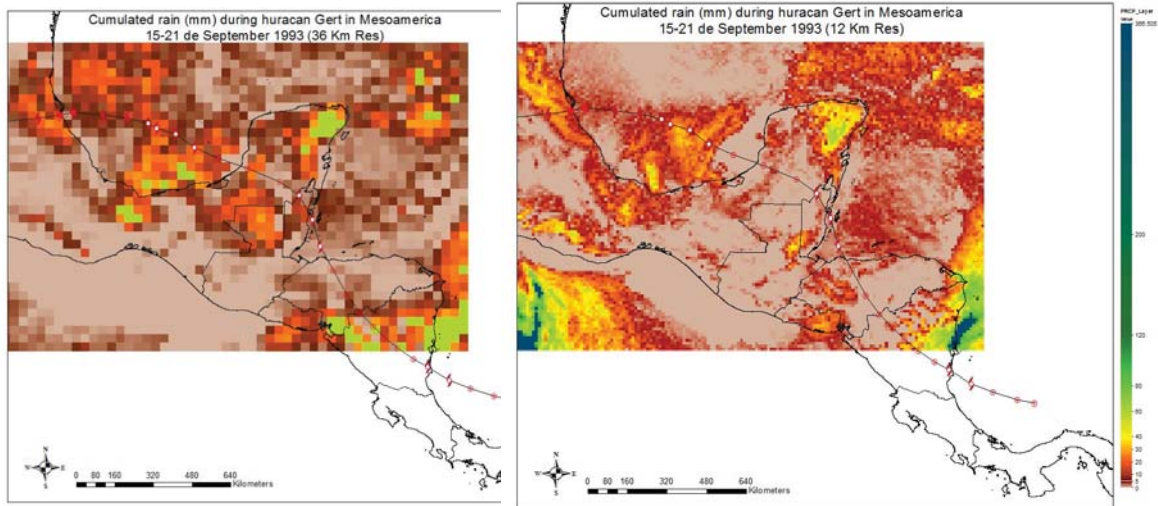
- Gualdi, 2008, has analyzed the changes in the activity of tropical cyclones due to global warming.



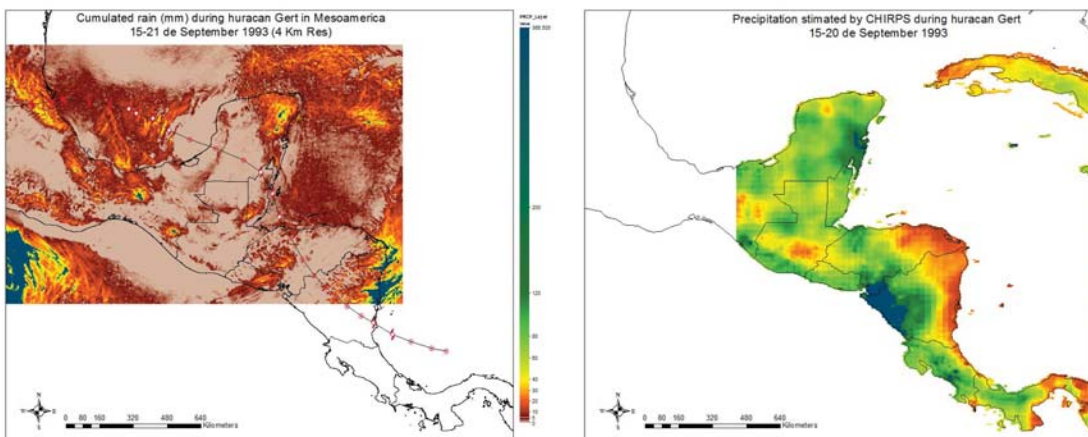
- A higher resolution of the mesh is required to efficiently detect the increase in tropical cyclones.
- Having the possibility of visualizing the maximum speeds, and not only the means, would be of great help.

TC Changes

Comparison between 36 Km and 12 Km of Resolution

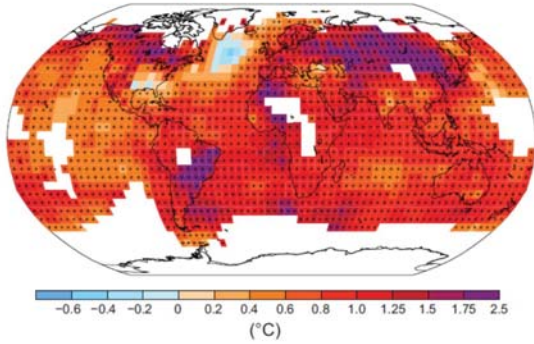


Precipitation

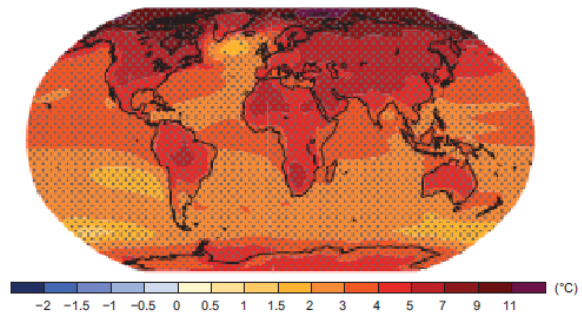


Changes in Surface Temperature

Observed change in surface temperature 1901–2012

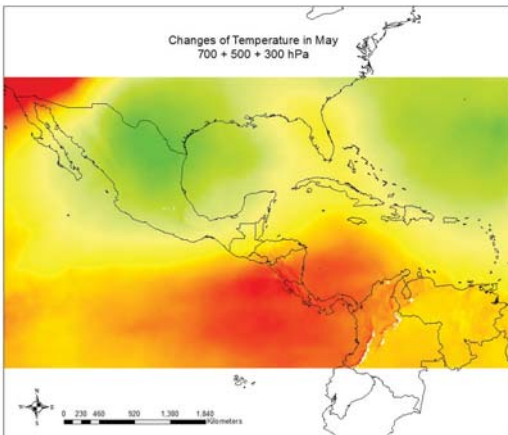


RCP 8.5
Change in average surface temperature (1986–2005 to 2081–2100)

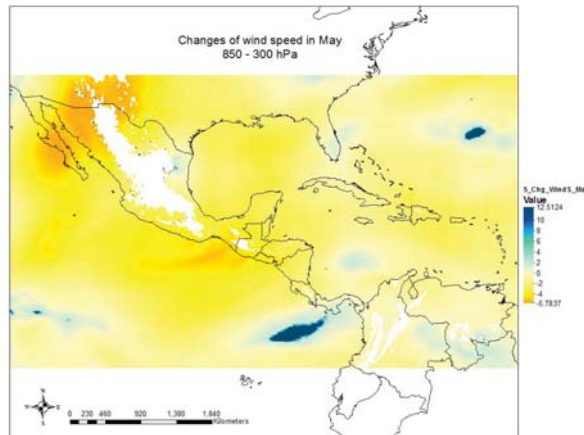


Changes in Temperature and Wind Speed in May

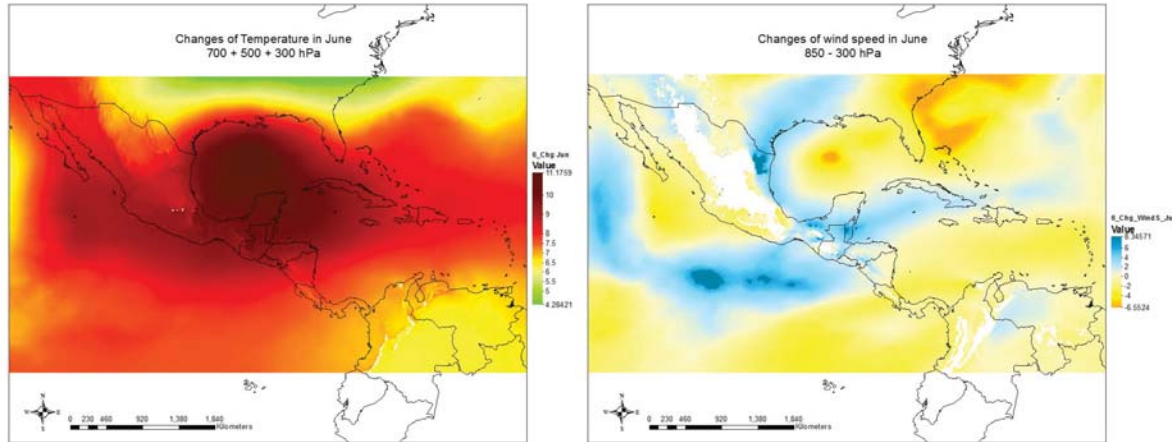
Changes of Temperature in May



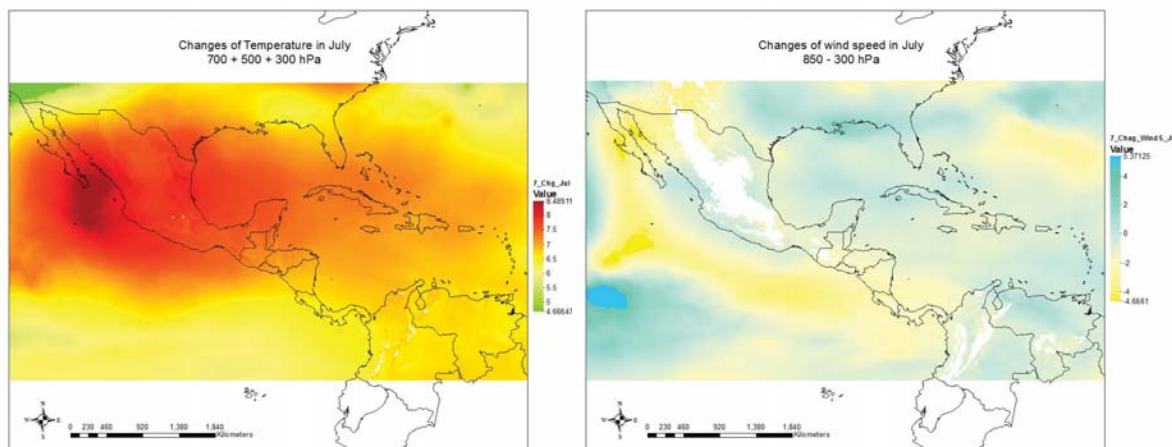
Changes of wind speed in May



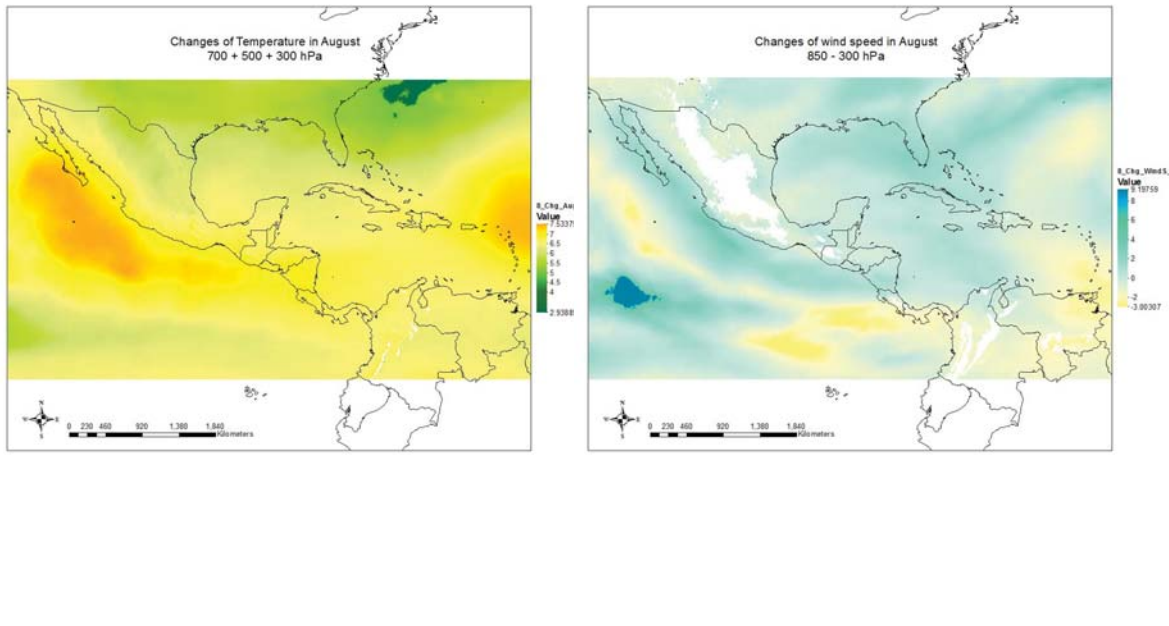
Changes in Temperature and Wind Speed in June



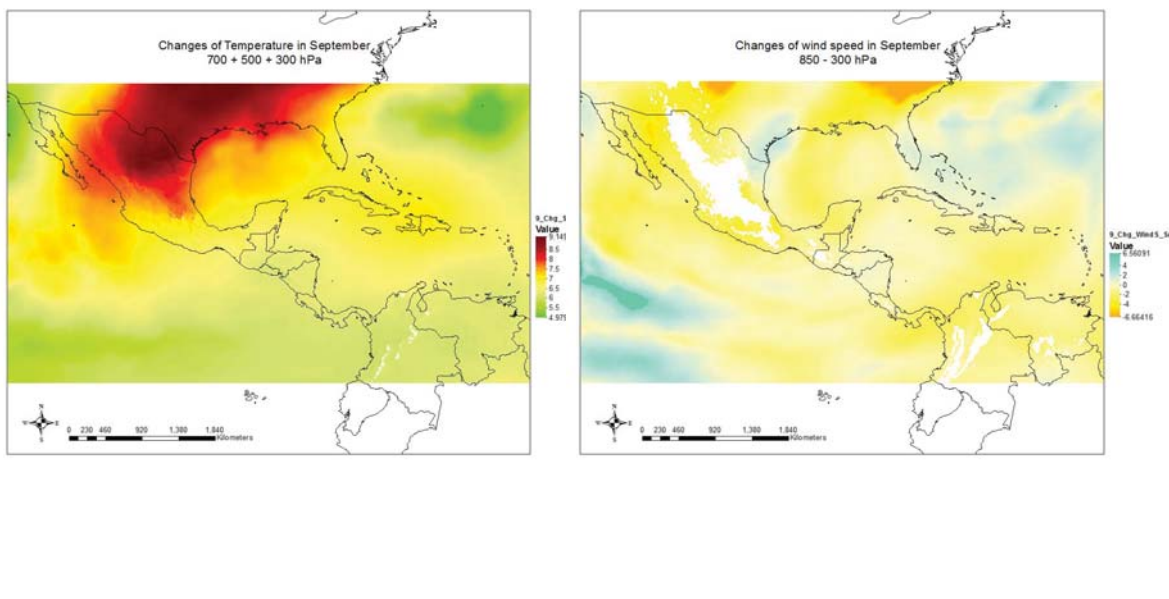
Changes in Temperature and Wind Speed in July



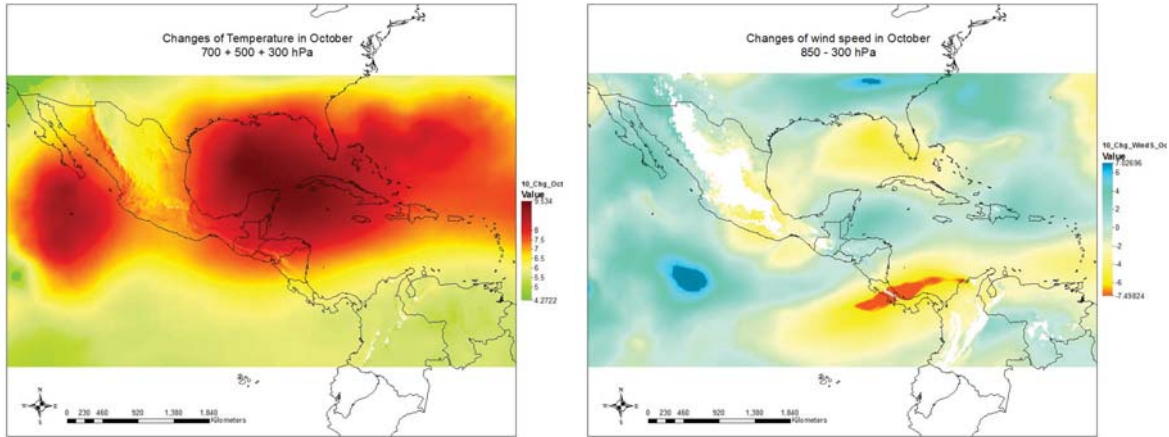
Changes in Temperature and Wind Speed in August



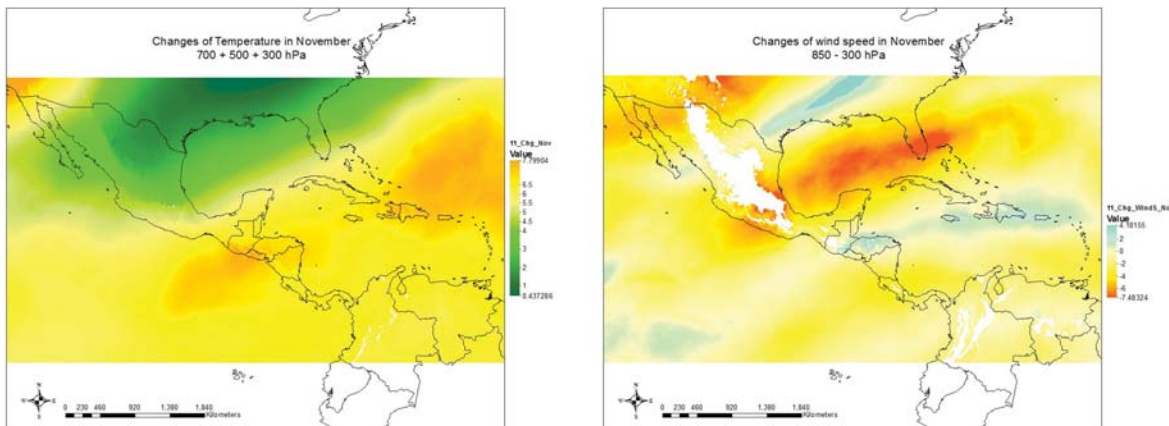
Changes in Temperature and Wind Speed in Sept



Changes in Temperature and Wind Speed in Oct



Changes in Temperature and Wind Speed in Nov



Improvements for MapMaker

Improvements

- It is necessary to have the option of choosing any of the IPCC scenarios. (2.6,4.5, 6.0 y 8.5).
- Implement the option to scale the results to intermediate times.

$$\bar{T}_{INT} = \bar{T}_{PD} + (\bar{T}_{FT} - \bar{T}_{PD}) \left(\frac{t_{INT} - t_{PD}}{t_{FT} - t_{PD}} \right)$$

where \bar{T} and t are temperature and time, respectively, and the subscripts PD , FT , and INT refer to the present-day, future, and intermediate climatologies, respectively.

- Include analysis results for the years 2000 to 2005 and 2011 to 2015 for Mesoamerica and define an additional domain for the pacific.
- Add genesis parameters in MapMaker as relative and absolute vorticity,
- Create a window to make different calculations with different parameters as for exemple the sum of temperaturas anomalies at different levels of hPa for a date and point of interest







Thanks


Working Group 2: ENSO

Juan José Nieto, Gabriela Alfaro, Franklyn Ruiz, Luis Fernando Alvarado, Dustin Barrera

This Working Group focuses on El Niño and La Niña events, which can have major impacts on Central America and the Pacific coast of northern South America (Peru, Ecuador, and Colombia). Because of the availability of WRF simulations of sufficient length, at least initially the group is concentrating on Guatemala and surrounding regions.

Contents: Workshop presentation by Franklyn Ruiz
Report to IDEAM on changes to the seasonal cycle by Franklyn Ruiz (to serve as draft of article for submission)
Draft of article for submission on Caribbean low-level jet (CLLJ) by Luis Alvarado












REGIONAL CLIMATE CHANGE CONSORTIUM

FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN

Changes in the seasonality of precipitation and temperature in the mid-century under a RCP8.5 scenario for Colombia (Project BID – UNL)


José Franklyn Ruiz Murcia
 Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies
 IDEAM – Colombia

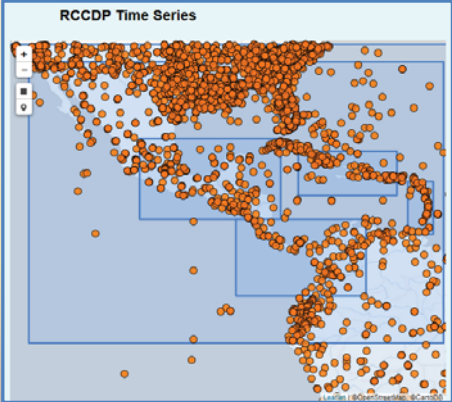
BACKGROUND

Research Articles

- Oglesby, R., Rowe, C., Grunwaldt, A., Ferreira, I., Ruiz, F., Campbell, J., Alvarado, L., Argenal, F., Olmedo, B., del Castillo, A., Lopez, P., Matos, E., Nava, Y., Perez, C. and Perez, J. 2016: A High-Resolution Modeling Strategy to Assess Impacts of Climate Change for Mesoamerica and the Caribbean, *American Journal of Climate Change*, 5, 202-228. 




Latin American and Caribbean (LAC) Consortium Downscaling Simulations

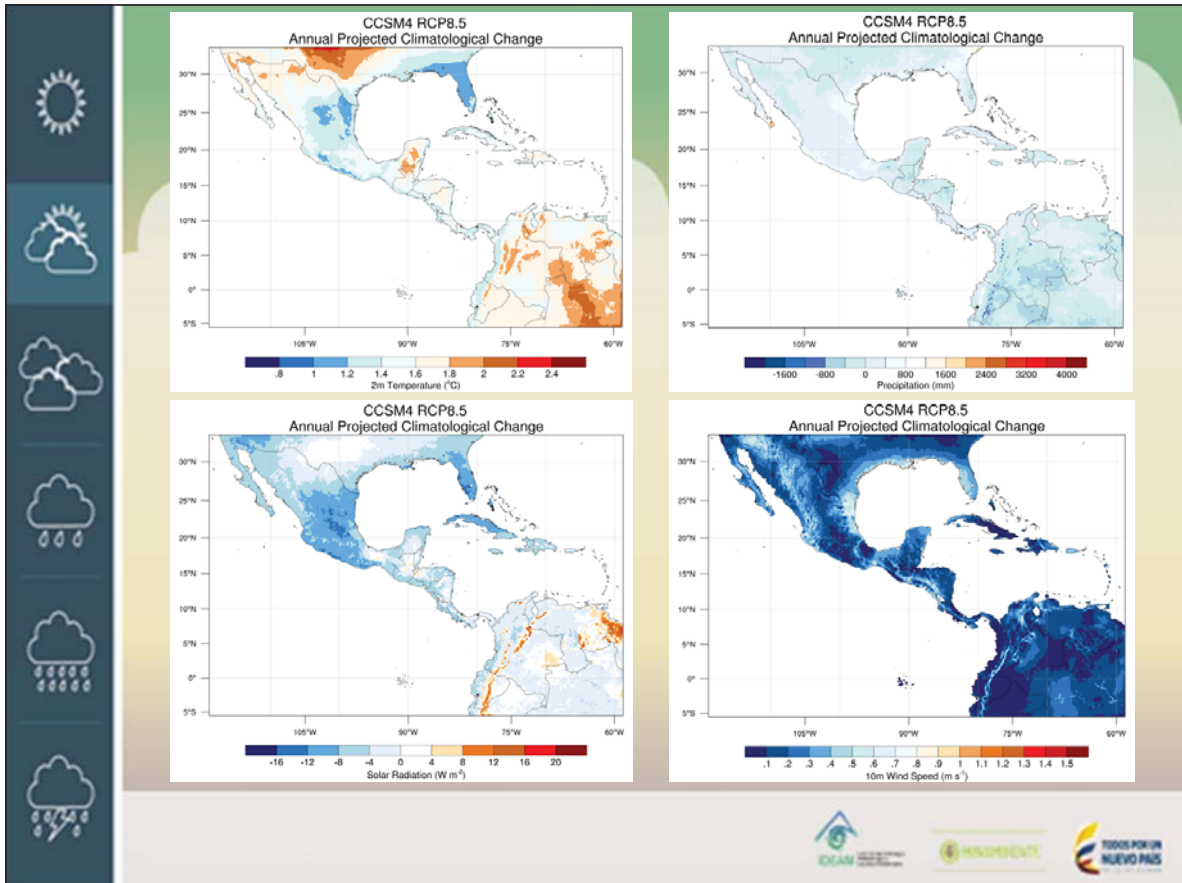
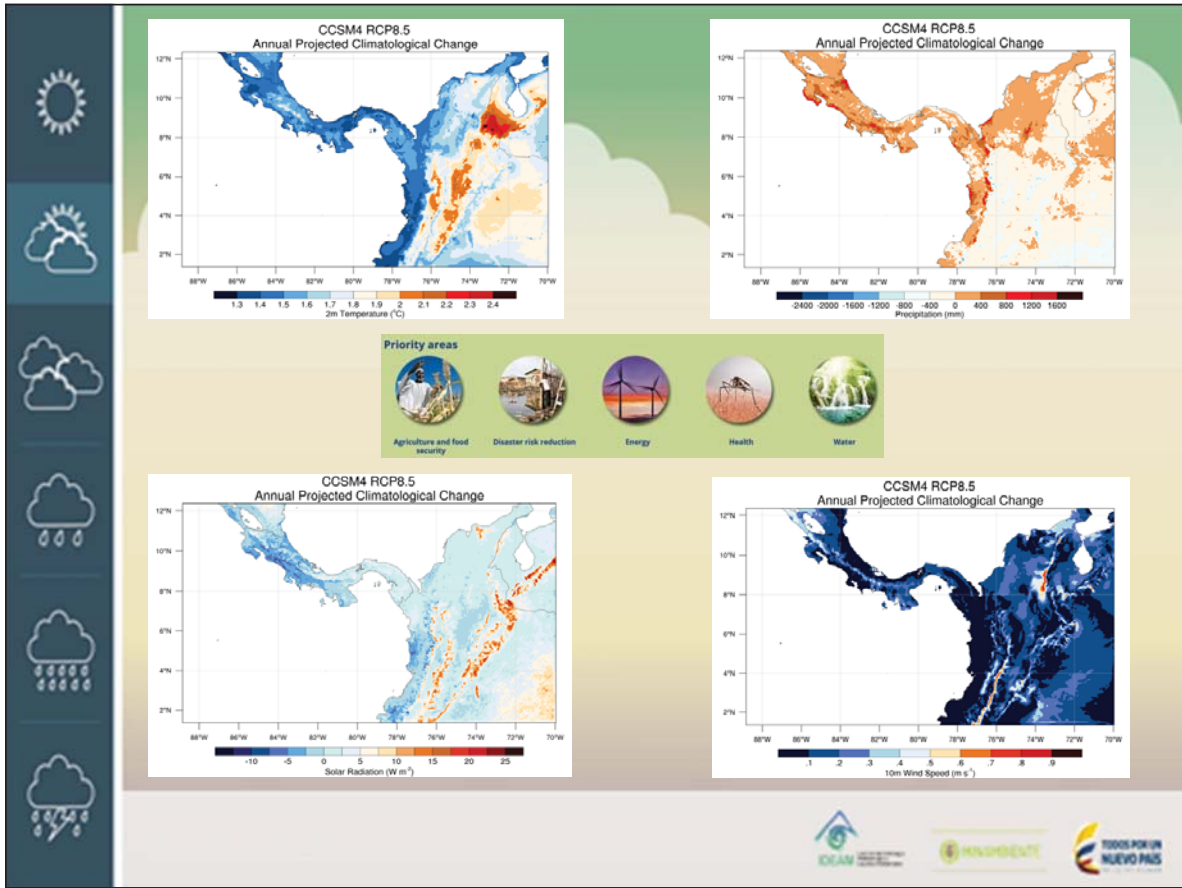
Project	Domains	Scenarios	Runs	Years	Climatology	Change	Offset	
Mesoamerica	d01	d04	Historical	NNRP	1991-1993	1991-1993 (HS)		
	d02	d05	CCSM4_rcp85	Baseline	2006-2010	2006-2010 (BL)	FT - BL	BL - HS
	d03	d06		Future	2056-2060	2056-2060 (FT)		



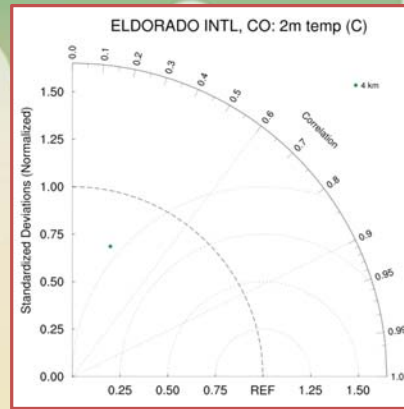
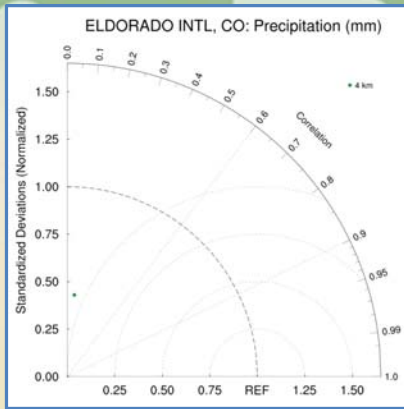
RCCDP Time Series

		Mesoamerica	
WRF version		3.3	
Levels		27	
Time step		adaptive	
SW radiation		Dudhia	
LW radiation		RRTM	
Cumulus		Kain-Fritsch	
Microphysics		WSM5	
Boundary layer		YSU	
Surface layer		MM5 similarity	
Land-surface		Noah LSM	
SST update		true	
Domains			
name (delta) [SN × WE]	d01	(36km)	[207 × 177]
	d02	(12km)	[552 × 375]
	d03	(4km)	[564 × 321]
	d04	(4km)	[393 × 177]
	d05	(4km)	[519 × 306]
	d06	(4km)	[210 × 102]



VERIFICATION FOR RAINFALL AND TEMPERATURE NNRP



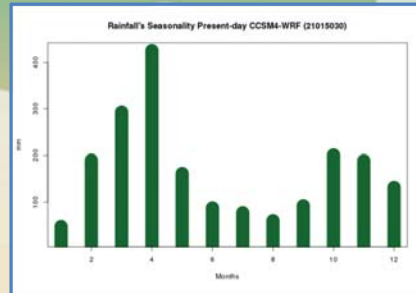
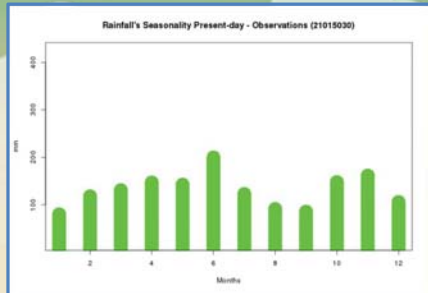
ELDORADO INTL	CO: Precipitation (mm)	
	Obs	4km
N=1096/1096	1.71	2.47
Mean	8.95	3.86
Std. Dev.		0.75
Bias		3.14
MAE		9.46
RMSE		0.087
Correlation		2548
Elev (m)		2264
Dist (km)		1

ELDORADO INTL	CO: 2m temp (C)	
	Obs	4km
N=1053/1096	13.54	15.42
Mean	1.22	0.87
Std. Dev.		1.89
Bias		2
MAE		2.28
RMSE		0.279
Correlation		2264
Elev (m)		2264
Dist (km)		1

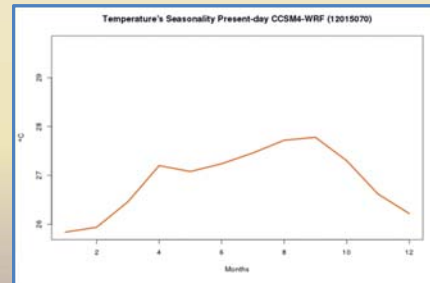
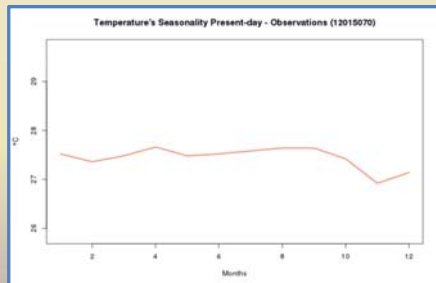


SEASONAL CYCLE (Región: Sinú – San Jorge - Porce)

Precipitation



Temperature



Examination of change factor methodologies for climate change impact assessment

Aavudai Anandhi,¹ Allan Frei,^{1,2} Donald C. Pierson,³ Elliot M. Schneiderman,³ Mark S. Zion,³ David Lounsbury,³ and Adao H. Matonse¹

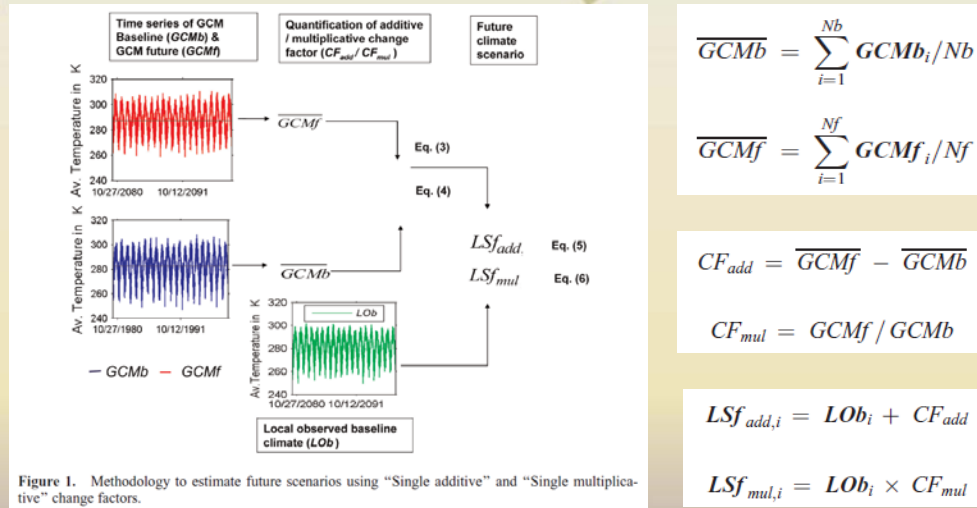


Figure 1. Methodology to estimate future scenarios using "Single additive" and "Single multiplicative" change factors.



Examination of change factor methodologies for climate change impact assessment

Aavudai Anandhi,¹ Allan Frei,^{1,2} Donald C. Pierson,³ Elliot M. Schneiderman,³ Mark S. Zion,³ David Lounsbury,³ and Adao H. Matonse¹

$$\overline{GCMb} = \sum_{i=1}^{Nb} GCMb_i / Nb \rightarrow \text{Average CCSM4 Present-day}$$

$$\overline{GCMf} = \sum_{i=1}^{Nf} GCMf_i / Nf \rightarrow \text{Average CCSM4 Mid-Century}$$

$$CF_{add} = \overline{GCMf} - \overline{GCMb} \rightarrow \text{Applied to temperature (CCSM4)}$$

$$CF_{mul} = GCMf / GCMb \rightarrow \text{Applied to precipitation (CCSM4)}$$

Mid-century adjusted with observations in Present-day

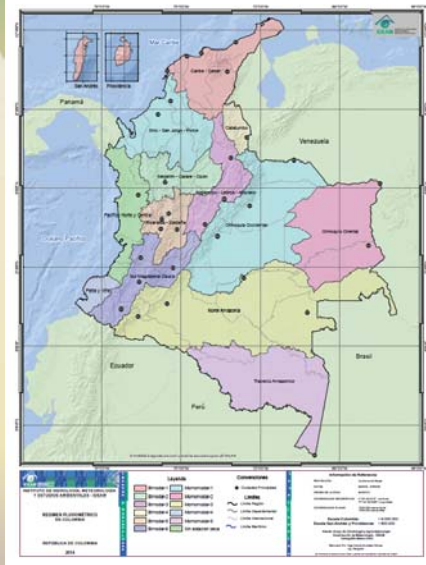
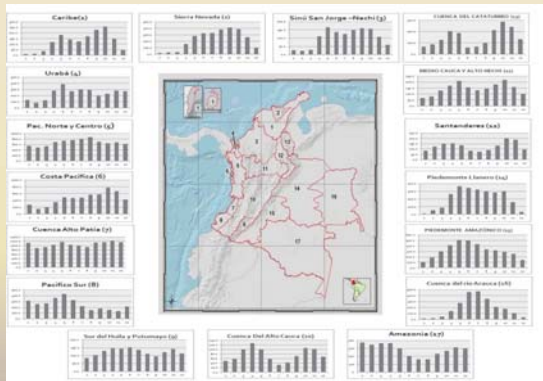
$$LSf_{add,i} = LOB_i + CF_{add} \rightarrow \text{Applied to temperature (CCSM4)}$$

$$LSf_{mul,i} = LOB_i \times CF_{mul} \rightarrow \text{Applied to precipitation (CCSM4)}$$

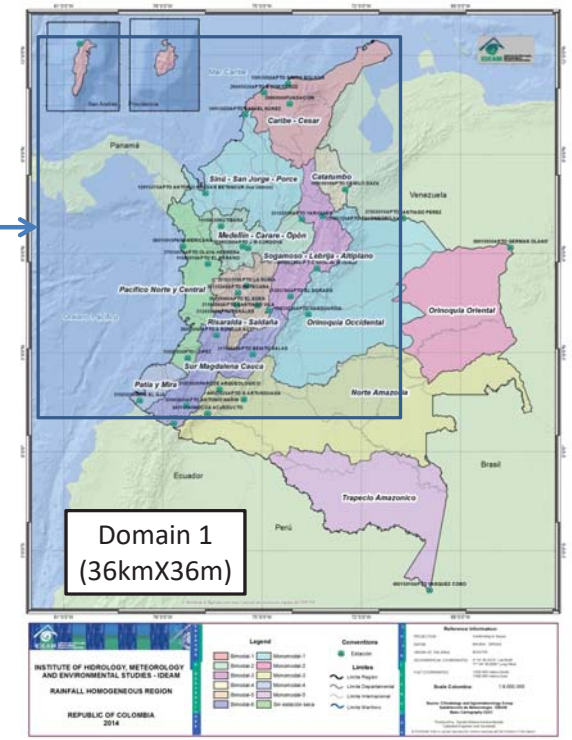


REGIONALIZACIÓN DE COLOMBIA SEGÚN LA ESTACIONALIDAD DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL, A TRAVÉS ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

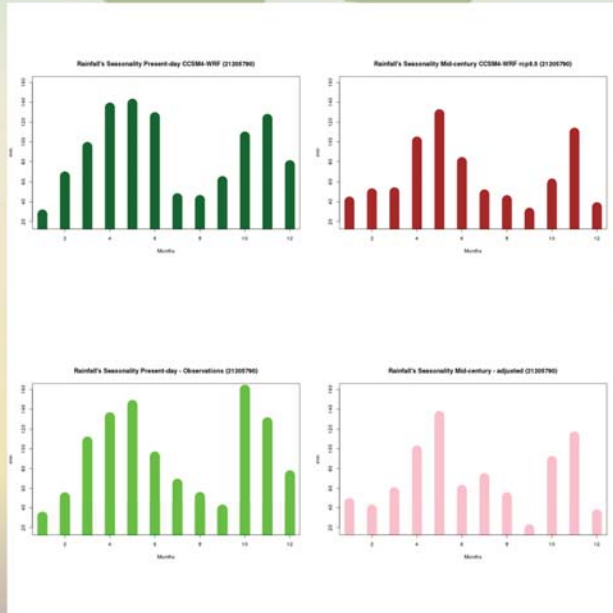
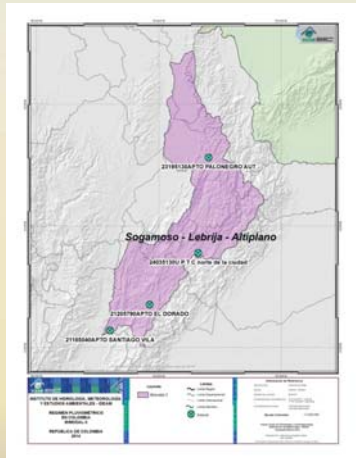
Guzmán D.; Ruiz, J. F.; Cadena M.
Subdirección de Meteorología – IDEAM
(2014)



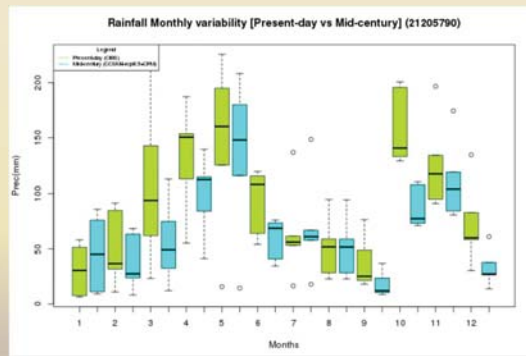
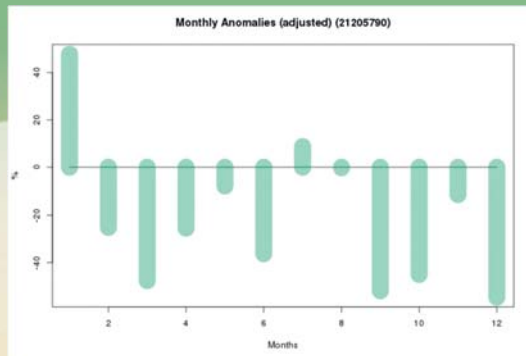
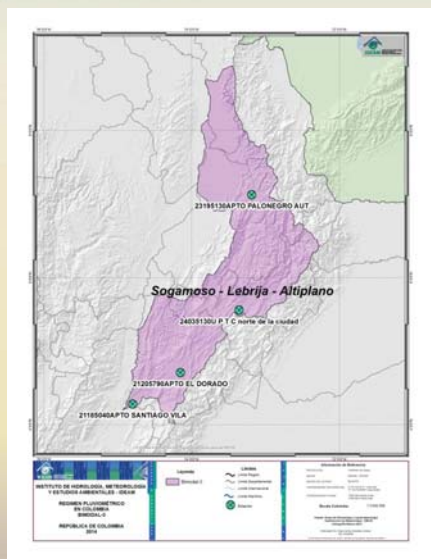
Domain 4
(4kmX4m)



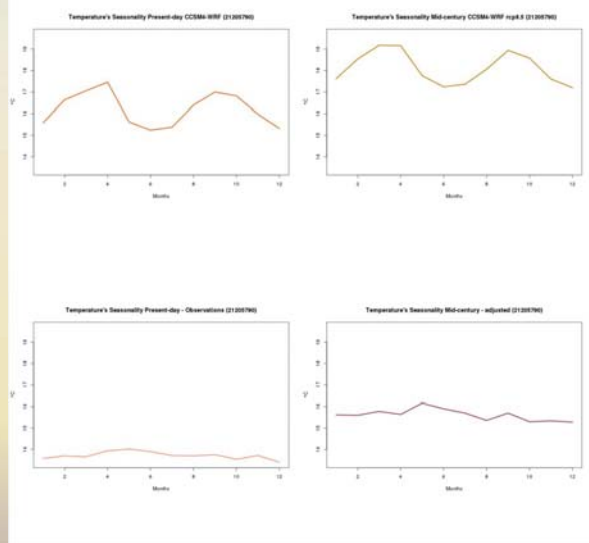
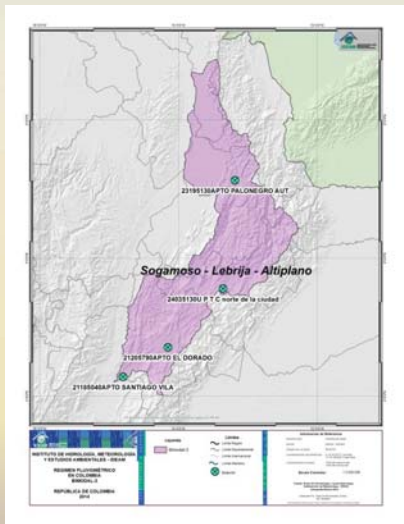
Comparison between Present-day and Mid-century simulated by CCSM4 (downscaling WRF) and adjusted with Change Factor Methodology Case: Precipitation



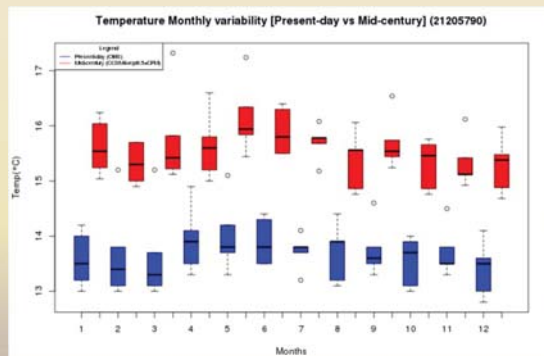
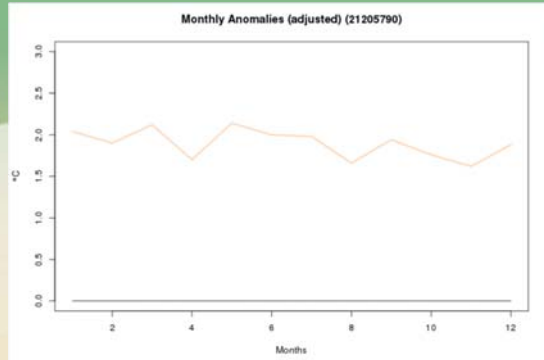
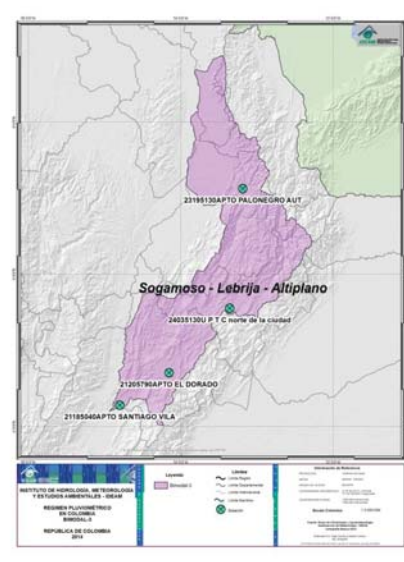
Climate Change given by the simulation adjusted Case: Precipitation



Comparison between Present-day and Mid-century simulated by CCSM4 (downscaling WRF) and adjusted with Change Factor Methodology Case: Temperature



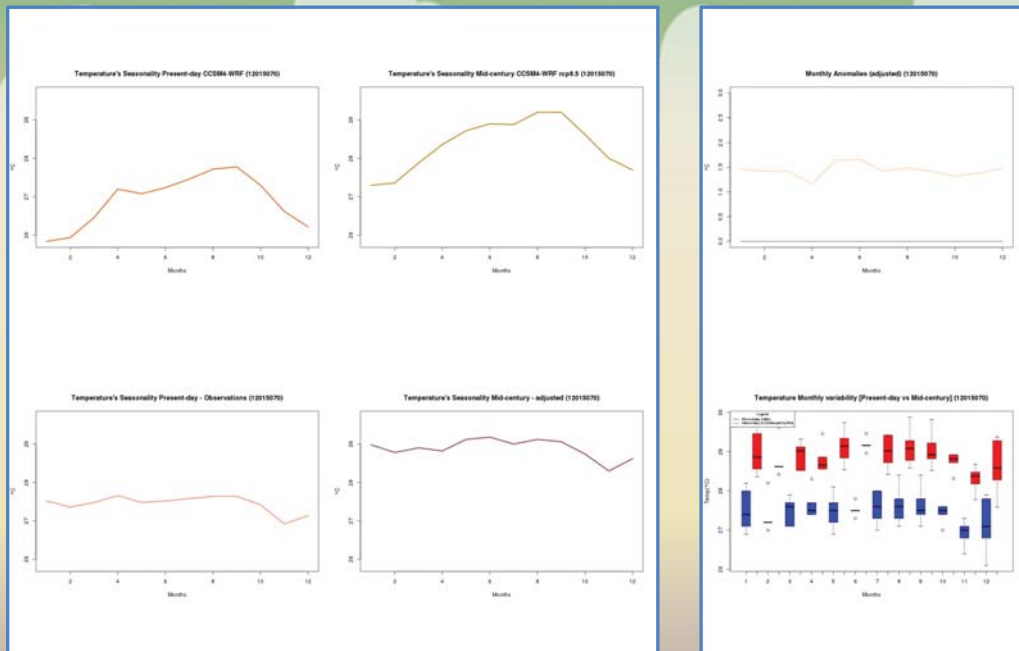
Climate Change given by the simulation adjusted Case: Temperature



SEASONAL CYCLE (Región: Sinú – San Jorge - Porce) Case: Precipitation



SEASONAL CYCLE (Región: Sinú – San Jorge - Porce) Case: Temperature



Changes in precipitation (%)

RAINFALL HOMOGENEOUS REGION	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANUAL
Archipiélago de San Andrés	-17	-80	-27	4	-43	-19	22	6	46	-9	80	28	-1
Caribe - Cesar	23	-44	20	53	-23	65	85	-19	44	133	21	23	32
Catatumbo	-38	-47	-86	167	-66	-47	73	-29	28	-36	-1	170	7
Medellín - Carare - Opón	20	-14	-4	8	-22	-5	9	11	15	3	-6	9	2
Norte Amazonia	120	-27	11	-12	30	-17	1	-53	-50	-43	-3	-4	-4
Orinoquia Occidental	170	-89	-43	58	-3	-21	30	7	-22	5	-31	1	5
Orinoquia Oriental	23	-91	-84	19	5	-1	13	12	10	-24	-45	170	1
Pacífico Norte - Central	-45	65	24	20	7	7	4	-21	-7	-12	-23	27	4
Patía - Mira	0	-24	-8	43	0	6	0	0	0	0	7	-37	-1
Risaralda - Saldaña	6	-8	-5	-27	-22	-31	-11	-3	-31	-32	-34	-37	-20
Sinú - San Jorge - Porce	33	-13	-35	10	-10	21	13	41	28	33	8	-16	10
Sogamoso - Lebrija - Altiplano	43	-12	-27	-12	-23	-22	46	-24	-41	-5	-14	-37	-11
Sur Magdalena Cauca	4	-9	2	-11	-15	-33	-2	-27	-70	-43	-23	-18	-21
Trapezico Amazónico	5	-26	-1	-10	17	-67	-21	48	-19	-13	-15	-27	-11
COLOMBIA	25	-30	-19	22	-12	-12	19	-4	-5	-3	-6	18	0

Above normal
Near Normal
Below normal

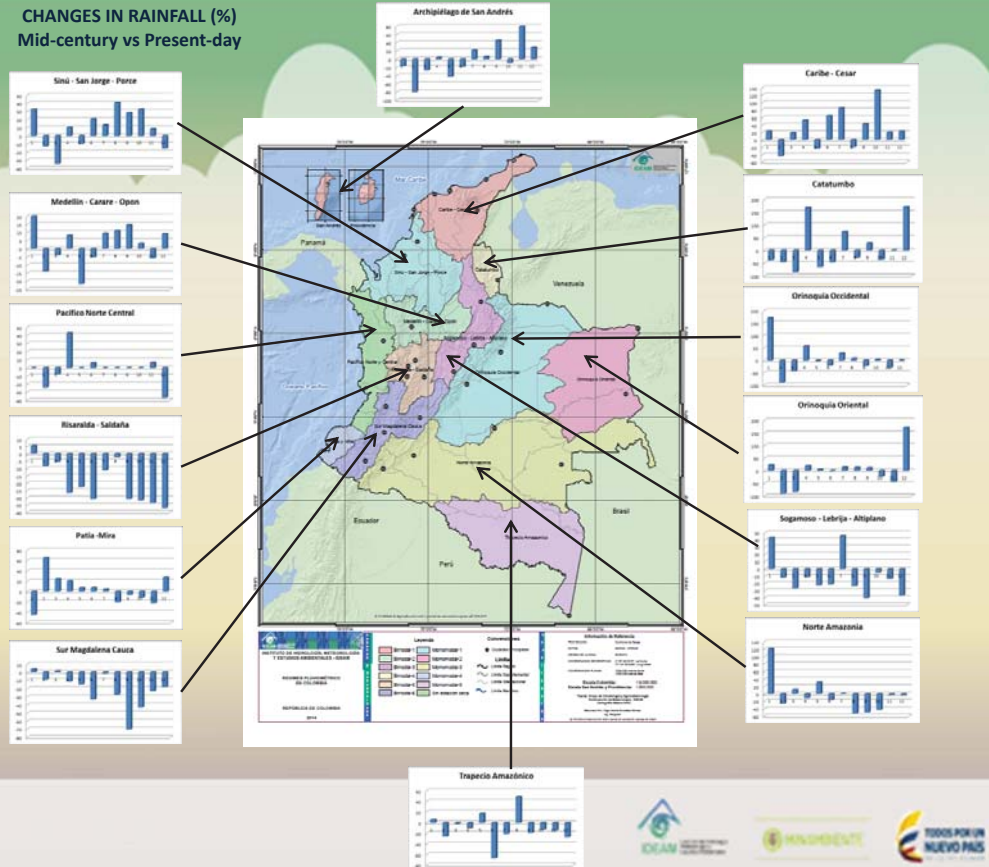
Changes in Temperature (°C)

RAINFALL HOMOGENEOUS REGION	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANUAL
Archipiélago de San Andrés	1.4	1.4	1.4	1.1	1.0	1.1	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.3
Caribe - Cesar	1.6	1.6	1.6	1.1	1.9	1.4	1.6	1.7	1.5	1.2	1.4	1.6	1.5
Catatumbo	2.3	1.9	2.3	1.6	2.2	1.6	1.5	1.7	1.6	2.1	2.1	2.1	1.9
Medellín - Carare - Opón	1.8	1.8	1.9	1.6	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8	1.4	1.6	1.9	1.8
Norte Amazonia	1.6	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.7	1.7	1.8	1.6	1.2	1.6	1.7
Orinoquia Occidental	1.8	2.4	2.3	1.9	2.1	1.6	1.6	1.5	1.9	1.8	1.3	1.9	1.8
Orinoquia Oriental	1.8	2.5	2.5	2.1	1.9	1.1	1.7	1.6	1.5	1.5	0.3	1.4	1.7
Pacífico Norte - Central	1.4	1.5	1.4	1.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.2	1.3	1.5	1.4
Patía - Mira	1.4	1.5	1.4	1.3	1.6	1.4	1.5	1.3	1.4	1.2	1.0	1.7	1.4
Risaralda - Saldaña	1.9	1.9	1.9	1.7	2.4	2.2	2.1	1.8	1.9	2.0	2.0	2.2	2.0
Sinú - San Jorge - Porce	1.5	1.4	1.4	1.2	1.6	1.7	1.4	1.5	1.4	1.3	1.4	1.5	1.4
Sogamoso - Lebrija - Altiplano	1.8	1.8	2.1	1.8	2.3	2.1	2.0	1.7	1.9	1.7	1.6	1.9	1.9
Sur Magdalena Cauca	1.8	1.8	1.9	1.7	2.2	2.0	1.9	1.6	1.7	1.8	1.7	2.0	1.8
Trapezico Amazónico	1.6	2.0	1.8	1.6	2.0	1.6	2.2	1.8	1.8	1.4	0.5	1.6	1.6
COLOMBIA	1.7	1.8	1.8	1.6	1.9	1.6	1.7	1.6	1.6	1.5	1.3	1.7	1.7

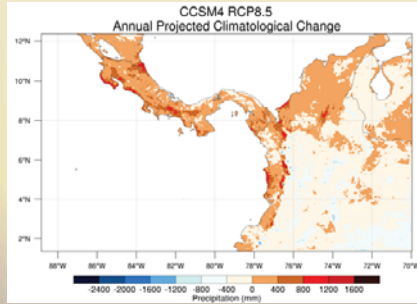
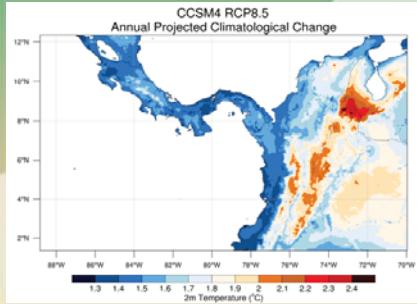
> 1.5°C



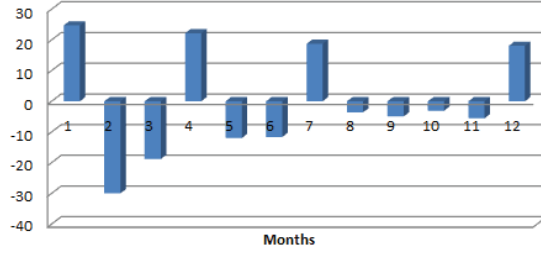
CHANGES IN RAINFALL (%) Mid-century vs Present-day



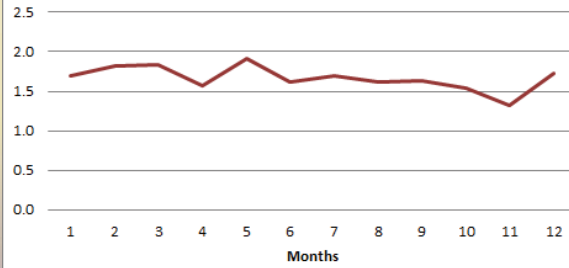
CONCLUSIONS



Change in precipitation (%) between Mid-century and Present-day (Colombia)



Change in temperature (°C) between Mid-century and Present-day (Colombia)



THANK YOU



CAMBIOS DEL CICLO ESTACIONAL EN LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN COLOMBIA PARA MEDIADOS DE SIGLO BAJO UN ESCENARIO RCP8.5

*Ruiz Murcia José Franklyn
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)
Informe Proyecto BID-UNL
Noviembre 2017*

RESUMEN

Se presentan los resultados del posible cambio climático para precipitación y temperatura media del aire a mediados del siglo XXI en las 14 regiones pluviométricamente homogéneas de Colombia, usando las salidas rescaldadas en alta resolución espacio-temporal, con el modelo WRF (Weather Research & Forecasting), del escenario de forzamiento radiativo RCP8.5W/m² corrido con el modelo de circulación general CCSM4 (Community Climate System Model). Una vez realizada la verificación de la corrida en clima presente, se decidió hacer el ajuste del clima futuro simulado con la metodología del Factor de Cambio, aditivo para la temperatura media y multiplicativa para la precipitación. Los factores de cambio se obtuvieron para cada uno de los meses del año, lo que permitió construir el ciclo estacional de las 32 estaciones seleccionadas para mediados del siglo XXI. Una vez obtenido ello se calcularon las anomalías con respecto al clima actual para cuantificar el aumento o disminuciones de los valores de las variables meteorológicas mencionadas mes a mes y en la escala anual. Los resultados muestran que la precipitación mensual se redistribuiría a lo largo del año haciendo meses más lluviosos que lo normal, otros más secos de lo normal y otros meses con una condición parecida a la actual, sugiriendo un cambio en la estacionalidad de la precipitación para mediados de siglo XXI. La temperatura media del aire en Colombia aumentaría alrededor de 1.7°C.

INTRODUCCIÓN

En septiembre de 2013 el IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático por sus siglas en inglés) publicó la primera parte del quinto informe de evaluación (AR5) sobre el estado del arte del entendimiento científico del cambio climático (IPCC, 2013). En este informe los grupos desarrolladores de modelos climáticos han ejecutado la quinta fase del proyecto de inter-comparación de las simulaciones de los escenarios de Cambio Climático (Coupled Modeling Inter Comparison Project 5, CMIP5) (Taylor et al. 2012). El proyecto CMIP5 incluye simulaciones a largo plazo del clima del siglo XX y proyecciones para el siglo XXI e incluso hasta el siglo XXIII, además de simulaciones a corto plazo centradas en las últimas décadas. Hoy día existen poco más de 40 grupos internacionales de modelación, todos con modelos acoplados Océano-Atmósfera (AOGCM) y algunos de los grupos están corriendo “Earth System Models”, los cuales incluyen además de la Atmósfera y el Océano, la vegetación y ciclo de carbono interactivo (IPCC, 2013). Estos modelos son la única herramienta disponible para poder hacer una proyección climática futura y solamente grandes instituciones como universidades, centros meteorológicos y de investigación en clima han

desarrollado este tipo de modelos; aunque sus desarrollos están sujetos a las necesidades e intereses de cada institución en particular.

Adicional a esto, la evaluación de los impactos asociados al cambio climático se ha desarrollado tradicionalmente usando un proceso “secuencial”; en el cual, paso a paso, se va desarrollando cada etapa entregando la información a la siguiente. Este proceso tal y como está diseñado, requiere mucho tiempo en la entrega de la información entre diversas disciplinas que participan en la investigación; como la física, la química, la biología y las ciencias sociales. Ahora los investigadores del cambio climático de las diversas disciplinas científicas han establecido un nuevo proceso en paralelo para el desarrollo de los escenarios de cambio climático (Moss et al., 2010); para ello se ha cambiado la forma de hacer la investigación climática, definiendo unos escenarios muy amplios de forzamiento radiativo, llamados “camino representativos de concentración” (RCP, por sus siglas en inglés), para que cada disciplina pueda empezar a realizar sus propias investigaciones sin la necesidad de esperar la entrega de información proveniente de alguna otra disciplina, proceso que es llamado en “paralelo”. El IPCC, como usuario de los RCP y como ente catalizador de todo el proceso de selección, ha solicitado que se tenga en cuenta la compatibilidad con la literatura de referencia y los escenarios de mitigación. La comunidad científica elaboró en 2007 un nuevo Consorcio de Evaluación Modelación Integrada (IAMC, por sus siglas en inglés), el cual comprende 46 organizaciones participantes del nivel académico y gubernamental. Los RCP seleccionados fueron: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5; los cuales prosperaron concertados en los debates de una reunión de expertos del IPCC en septiembre de 2007.

Los RCP ofrecen un punto de partida para las nuevas investigaciones; sin embargo, es importante reconocer sus usos y sus límites. No son ni predicciones ni recomendaciones políticas, pero sí fueron elegidos para asignar una amplia gama de resultados climáticos. Los RCP no pueden ser tratados como un conjunto coherente de lógica interna. Por ejemplo, el RCP 8.5 no puede ser usado como un escenario referente de “no-política climática” con respecto a los otros RCP, pues cada RCP contiene una serie de suposiciones socioeconómicas, tecnológicas y biofísicas diferentes (IDEAM, 2015).

De esta manera siguiendo las actualizaciones dadas para el AR5, se presenta a continuación el escenario de cambio climático para las variables de precipitación y temperatura media en Colombia, bajo el escenario RCP 8.5 con base en uno de los modelos propuestos por el grupo de CMIP5, el CCSM4, al cual se le realizó una reducción de escala dinámica usando el modelo meteorológico regional WRF y corregido con el método de factor de cambio; en particular este trabajo pretende saber cómo podría cambiar el ciclo estacional de la precipitación y la temperatura media en Colombia para las 14 regiones pluviométricamente homogéneas del país. La finalidad del trabajo no es decir cómo será el clima en un año particular, sino se trata de entender los cambios de estacionalidad del futuro frente al clima actual.

DATOS E INFORMACIÓN UTILIZADA

El área de estudio corresponde a todo el territorio Colombiano dividido en 17 regiones pluviométricamente homogéneas como lo tiene clasificado el IDEAM al territorio nacional; no

obstante, las 3 subregiones de la zona Pacífica norte y central se han reunido en una y, la Sierra Nevada de Santa Marta se ha incluido dentro de la región Caribe-Cesar (Guzmán et al., 2012), dando como resultado 14 regiones (Figura 1). En dicha Fig. 1, los puntos negros del mapa de la derecha representan las 32 estaciones utilizadas para cada una de las regiones pluviométricamente homogéneas tenidas en cuenta en este trabajo.

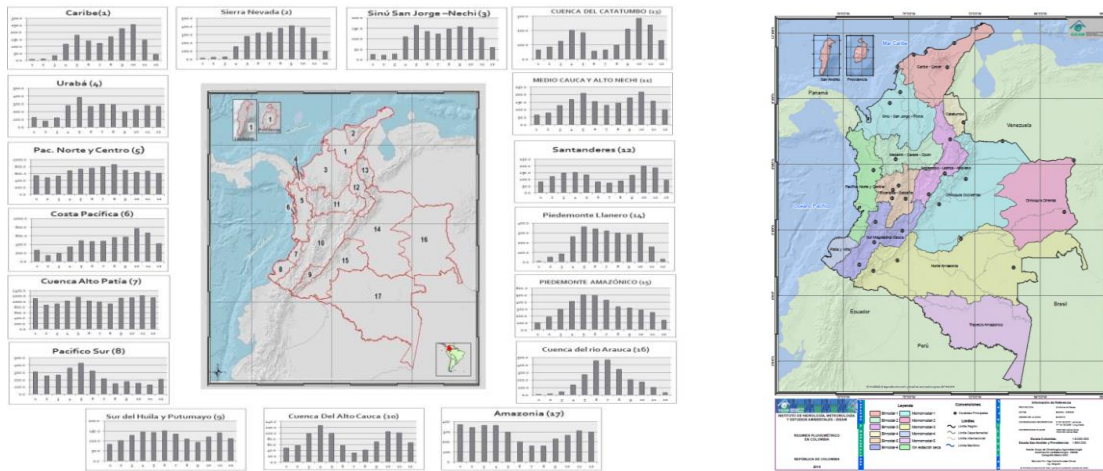
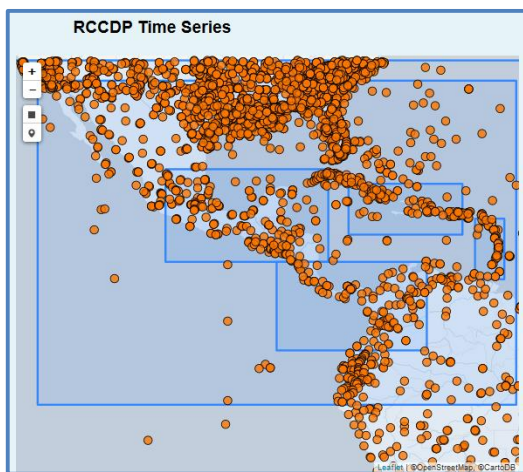


Figura 1. Regiones pluviométricamente homogéneas de Colombia. A la izquierda, se presentan las 17 regiones iniciales. A la derecha, las 14 regiones pluviométricamente homogéneas definitivas.

Latin American and Caribbean (LAC) Consortium Downscaling Simulations								
Project	Domains		Scenarios	Runs	Years	Climatology	Change	Offset
Mesoamerica	d01	d04	Historical	NNRP	1991-1993	1991-1993 (HS)		
	d02	d05		Baseline	2006-2010	2006-2010 (BL)	FT - BL	BL - HS
	d03	d06		Future	2056-2060	2056-2060 (FT)		



Mesoamerica			
WRF version	3.3		
Levels	27		
Time step	adaptive		
SW radiation	Dudhia		
LW radiation	RRTM		
Cumulus	Kain-Fritsch		
Microphysics	WSM5		
Boundary layer	YSU		
Surface layer	MM5 similarity		
Land-surface	Noah LSM		
SST update	true		
Domains	d01	(36km)	[207 × 177]
name (delta) [SN × WE]	d02	(12km)	[552 × 375]
	d03	(4km)	[564 × 321]
	d04	(4km)	[393 × 177]
	d05	(4km)	[519 × 306]
	d06	(4km)	[210 × 102]

Figura 2. En la parte superior se encuentran las realizaciones. En la parte inferior izquierda los dominios considerados en para el downscaling dinámico (vista con la herramienta MapMaker rccdp.unl.edu) y en la parte inferior derecha la parametrización del modelo WRF (Oglesby, et al.; 2016)

Para la generación del escenario RCP8.5 en alta resolución, se utilizó la metodología descrita por Oglesby et al., (2016) en la cual se hizo una realización para Mesoamérica. Para dicha realización se tomaron condiciones iniciales y de borde de la salida del modelo global CCSM4 tanto para clima presente como para clima futuro, a las cuales se les realizó un downscaling dinámico usando el modelo WRF con la parametrización que se presenta en la Figura 2.

Se aprovechó la herramienta MapMaker (Figura 3), desarrollada por la Universidad de Nebraska (Lincoln) y disponible en rccdp.unl.edu, para realizar la descarga de datos mensuales de clima presente y clima futuro de las salidas del modelo CCSM4-WRF en alta resolución para las 32 estaciones consideradas de la Figura 1. Para el caso de Colombia, se descargaron los datos simulados mensuales de precipitación y temperatura para la serie de tiempo 2006-2010 (clima presente) y 2056-2060 (clima futuro). Es importante indicar que los datos simulados se obtuvieron con respecto al punto de retícula más cercano a la coordenada geográfica de la estación, tanto para los datos históricos como para el escenario RCP 8.5.

Finalmente, es relevante destacar, que los análisis obtenidos para la región Andina se realizaron con la salida de alta resolución del modelo WRF de 4kmX4km, mientras que para el resto del país, con los resultados de 36kmX36km consistente con la configuración del modelo presentado en Fig. 2 (Figura 4).

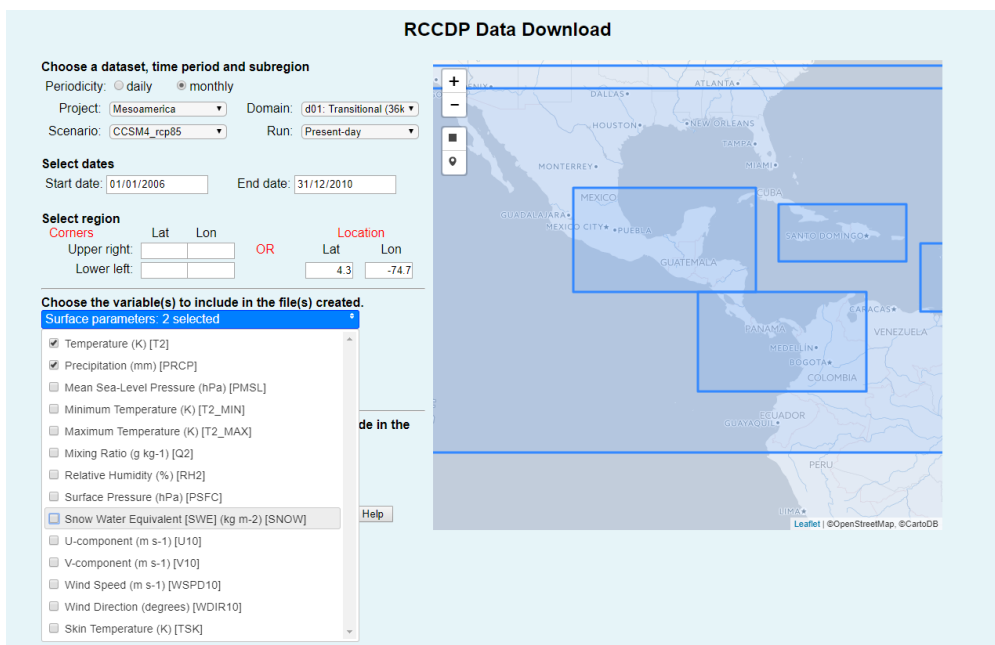


Figura 3. Módulo de descarga de datos MapMaker. En este ejemplo se solicita la descarga períodos mensuales, del proyecto Mesoamérica, para el dominio de 36kmX36km, del escenario CCSM4_rcp85, de la corrida de clima presente para la serie de tiempo disponible de temperatura y precipitación en las coordenadas geográficas: latitud 4.3, longitud -74.7

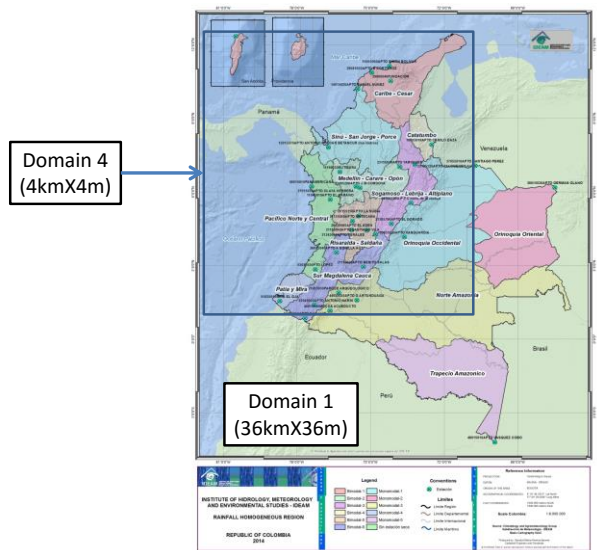


Figura 4. Resolución espacial considerada en los análisis finales

VERIFICACIÓN

Antes de resolver los cambios en las variables meteorológicas para mediados del siglo XXI, fue importante verificar la habilidad del modelo para resolver el clima presente; para ello, se utilizó los análisis programados en la herramienta MapMaker, la cual ofrece una diversidad de análisis entre los cuales se encuentran las series de tiempo entre lo observado y lo simulado, los diagramas de dispersión y el diagrama de Taylor. Este último tiene la ventaja de dar información en un solo gráfico acerca del comportamiento de variabilidad de los datos entre lo observado y lo simulado, su correlación y los sesgos (“bias”); por ello se consideró este tipo de gráfico para los análisis finales.

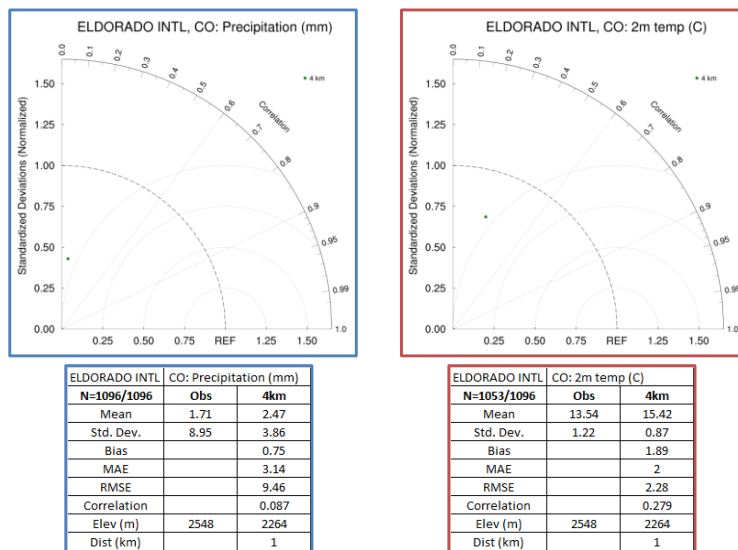


Figura 4. Diagrama de Taylor (Salidas MapMaker rccdp.unl.edu) para la estación Aeropuerto Internacional Eldorado (Bogotá)

A manera de ejemplo, en la Fig. 4 se presenta el Diagrama de Taylor para la estación meteorológica Aeropuerto Internacional Eldorado de la Ciudad de Bogotá. En general, para clima presente, tanto para precipitación como para temperatura y visto desde el atributo estadístico de la desviación estándar, es posible observar que los datos simulados presentan menor variabilidad que los datos observados, que la correlación es pobre entre los conjuntos de datos y que existe sesgo entre los mismos.

Esta situación se observa en varias de las estaciones analizadas, debido posiblemente a que la orografía es compleja en la zona de análisis y/o, a que la configuración de la parametrización del modelo no está representando perfectamente los procesos físicos que generan la precipitación en Colombia. En el caso de la temperatura, el sesgo que se presenta entre lo simulado y lo observado se debe esencialmente a que la orografía representada por el modelo está mayormente por debajo de las elevaciones dadas por las estaciones y por ende, el modelo estima aproximadamente 1.5°C más en valores de temperatura con respecto a los valores reales.

CICLO ESTACIONAL DE CLIMA PRESENTE

La buena gestión de los riesgos climáticos de hoy es la base para gestionar los riesgos climáticos del futuro. Las acciones de adaptación, energía renovable, conservación de la energía y mitigación dependen de una buena información climática. Dependiendo de las necesidades del usuario, estos datos e información pueden combinarse con datos no meteorológicos como producción agrícola, tendencias de salud, distribuciones de población en áreas de alto riesgo, mapas de caminos e infraestructura para la entrega de bienes y otros servicios variables económicas.

Entonces, el tema del cambio climático es un problema transversal y comprender el nuevo comportamiento de las variables meteorológicas en la escala estacional será clave para el desarrollo del país.

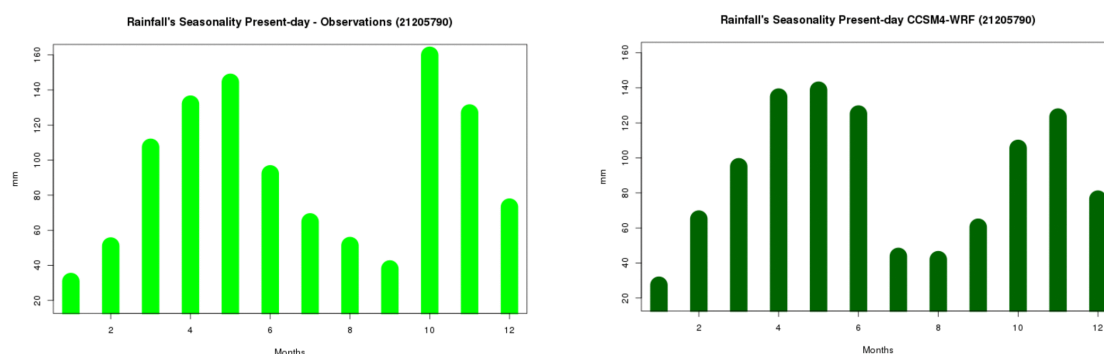


Figura 5. Ciclo estacional de la precipitación para Bogotá. A la izquierda construido con las observaciones y a la derecha resuelto con el modelo CCSM4 para clima presente.

Siguiendo con el caso particular de Bogotá, se observa que el modelo en la escala mensual resuelve bien el ciclo estacional; al menos tiene claro que presenta 2 temporadas de lluvias y 2 temporadas

secas, una a principio del año y la otra a mediados de año. No obstante, para el modelo, la primera temporada de precipitaciones es más extrema, mientras que las observaciones sugieren lo contrario, mostrando que octubre es el mes de más lluvias de la segunda temporada de precipitaciones. Es necesario indicar que cada estación meteorológica tiene su análisis particular, pero en general para las estaciones de la región Sinú-San Jorge-Porce, el modelo no tuvo habilidad de representar el ciclo estacional de la precipitación, tal como se muestra en la Figura 6; en este caso se trata de un lugar donde el clima es húmedo a lo largo del año; no obstante, la simulación sobrestima dicha situación incluso con valores que duplica a los datos dados por las observaciones, especialmente en los meses de febrero, marzo y abril. El segundo semestre, el modelo lo resuelve bien.

En el caso de la temperatura, y como se mencionó en la sección de verificación, el modelo sobrestimo en casi 1.5°C los valores reales, pero lo interesante es que la simulación comúnmente trata de resolver un ciclo estacional ya sea bimodal o monomodal de una variable que ordinariamente, en valores medios, no cambia a lo largo de año en gran parte del territorio nacional tal como se presenta en la Fig. 7.

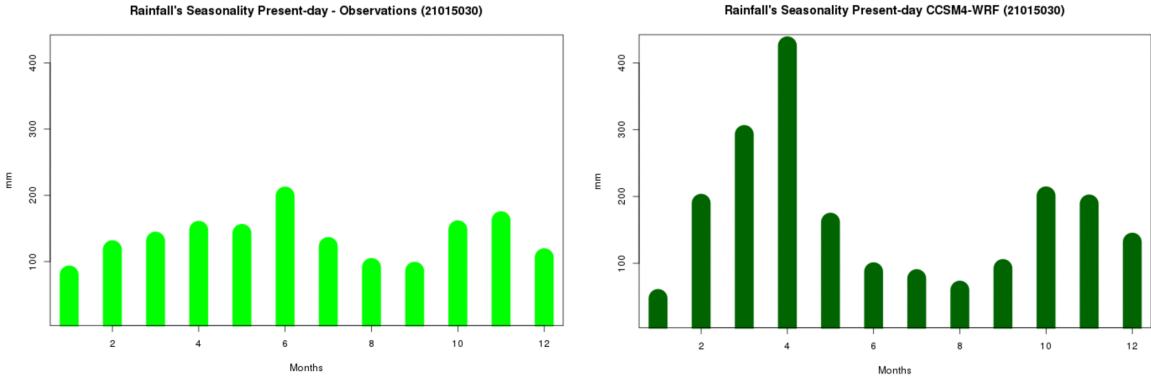


Figura 6. Ciclo estacional de la precipitación para la estación 21015030. A la izquierda construido con las observaciones y a la derecha resuelto con el modelo CCSM4 para clima presente.

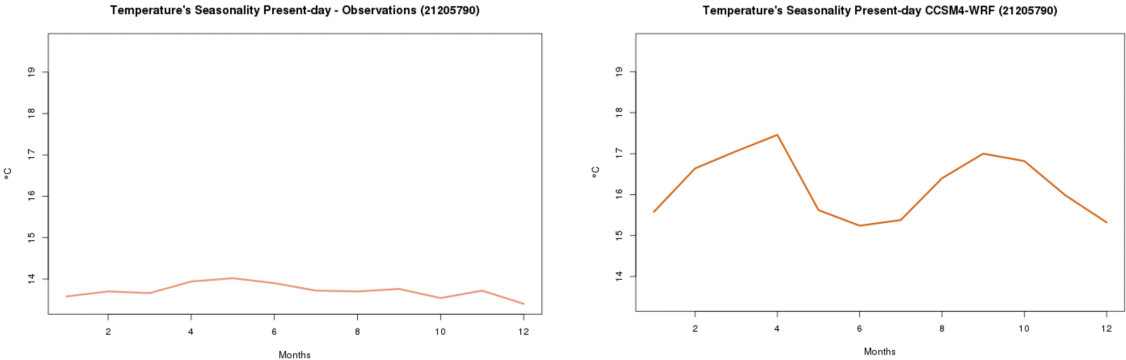


Figura 7. Ciclo estacional de la temperatura para la estación 2120579 (Bogotá) A la izquierda construido con las observaciones y a la derecha resuelto con el modelo CCSM4 para clima presente.

CAMBIO ESTACIONAL DE CLIMA FUTURO

Debido a que los ciclos estacionales no necesariamente están bien representados por el modelo, son posible hacerlos útiles tomando en cuenta las diferencias entre el clima futuro y el clima presente simulado y de alguna manera trasladarlo a las observaciones de clima actual (datos IDEAM) para obtener datos del clima futuro corregido.

Una variedad de métodos están disponibles para estimar valores de variables meteorológicas para el clima del futuro y en escalas espaciales apropiadas para el impacto del cambio climático local. Un método comúnmente utilizado es la Metodología de Factor de Cambio (MFC), a veces denominada metodología del factor de cambio delta (Anandhi, et. al; 2011). Aunque existen métodos más sofisticados, La MFC sigue siendo ampliamente aplicable y se utiliza en estudios de análisis de impacto. Si bien hay un número de formas diferentes en que los factores de cambio se pueden calcular y usar para estimar los escenarios climáticos futuros, no hay directrices claras disponibles en la literatura para decidir qué metodologías son más adecuadas para diferentes aplicaciones.

En este estudio se utilizará uno de los métodos sugeridos por Anandhi et al., (2011), el cual categoriza el método por su formulación matemática (aditiva o multiplicativa). En un factor de cambio aditivo, se calcula la diferencia aritmética entre una variable derivada de una simulación climática actual y el derivado de un escenario climático futuro tomado en la misma ubicación de cuadrícula del modelo de circulación global o GCM (por sus siglas en inglés). Esta diferencia luego se agrega a valores locales observados para obtener los valores futuros modelados. Este método, típicamente usado para la temperatura, asume que el GCM produce una estimación razonable del cambio absoluto en el valor de una variable en particular, independientemente de la precisión de la simulación climática actual de GCM. Es transcendental recalcar que en este estudio, se trabaja con los datos ya rescaldados del modelo WRF y no directamente del GCM que corresponde al CCSM4.

Un factor de cambio (FC) multiplicativo es similar a un FC aditivo excepto que la relación, en lugar de ser la diferencia aritmética entre el futuro y las simulaciones GCM actuales, a los valores observados se les multiplica por el factor de cambio como se mostrará más adelante. Este método supone que el GCM produce una estimación razonable del cambio relativo en el valor de una variable, y se usa típicamente para la precipitación.

El procedimiento para calcular un FC, de forma aditiva o multiplicativa, se explica en esta sección y se ilustra en la Figura 8.

El primer paso es estimar los valores medios de la simulación del GCM para clima presente y clima futuro (ecuaciones (1) y 2)).

$$\overline{GCMb} = \sum_{i=1}^{Nb} GCMb_i / Nb \quad (1)$$

$$\overline{GCMf} = \sum_{i=1}^{Nf} GCMf_i / Nf \quad (2)$$

En las ecuaciones (1) y (2), **GCMbi** y **GCMfi** representan los valores de la línea base de un GCM (CCSM4-WRF) y del escenario de cambio climático futuro del GCM, respectivamente, para un dominio temporal. **GCMb** y **GCMf** con barra encima, son los valores medios de la línea base del GCM y del escenario futuro del GCM para el dominio temporal designado. **Nb** y **Nf** son la cantidad de valores en el dominio temporal de la línea base del GCM y el escenario futuro del GCM.

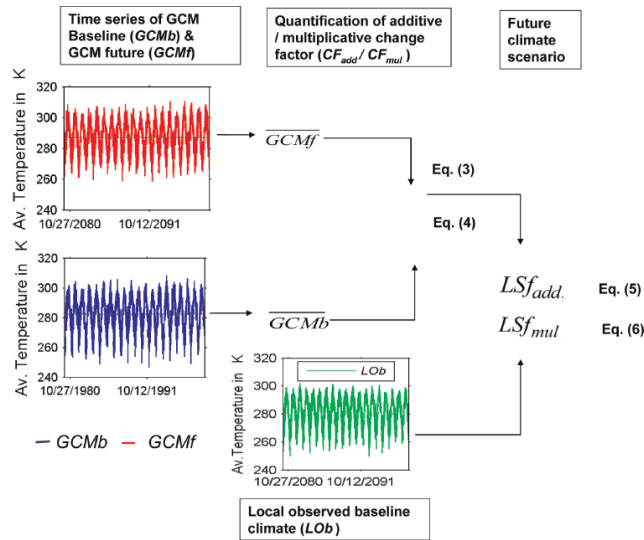


Figura 8. Metodología para estimar escenarios futuros usando factores de cambios “aditivos” y “multiplicativos” (Anandhi, et. al; 2011)

Por ejemplo, cuando se usa un dominio temporal correspondiente a enero de 1981-2000, en una escala temporal diaria, **Nb** sería igual al número de días en todos los meses de enero (**Nb** = 20X31) durante este período de tiempo mientras que para una escala temporal mensual, como la que se realiza en este trabajo, **Nb** sería igual al número de meses de enero (**Nb** = 20). Del mismo modo, para un dominio temporal futuro correspondiente a enero de 2046-2065, en una escala temporal diaria, **Nf** sería igual al número de días en todos los meses de enero (**Nf** = 20X31), y en una escala temporal mensual, **Nf** sería igual al número de meses de enero (**Nf** = 20). En este ejercicio, tanto **Nb** como **Nf** tomaron el valor de 5 ya que la serie de clima presente es 2006-2010 y la de clima futuro 2056-2060.

El paso 2 es calcular factores de cambio aditivos y multiplicativos (**CFadd**, **CFmul**) (ecuaciones (3) y (4)).

$$CF_{add} = \overline{GCMf} - \overline{GCMb} \quad (3)$$

$$CF_{mul} = \overline{GCMf} / \overline{GCMb} \quad (4)$$

El paso 3 es obtener valores locales futuros escalados (**LSfmul,i** y **LSfadd,i**) aplicando **CFadd** y **CFmul** (ecuaciones (5) y (6)).

$$LSf_{add,i} = LOb_i + CF_{add} \quad (5)$$

$$LSf_{mul,i} = LOb_i \times CF_{mul} \quad (6)$$

donde **LOB_i** son los valores observados de la variable meteorológica (en el i-ésimo paso) en una estación meteorológica individual. **LSf_{add,i}** y **LSf_{mul,i}** son valores de escenarios futuros de la variable obtenida utilizando la formulación aditiva y multiplicativa de la metodología del factor de cambio. La aplicación para el caso de estudio, se puede apreciar en la Fig. 9.

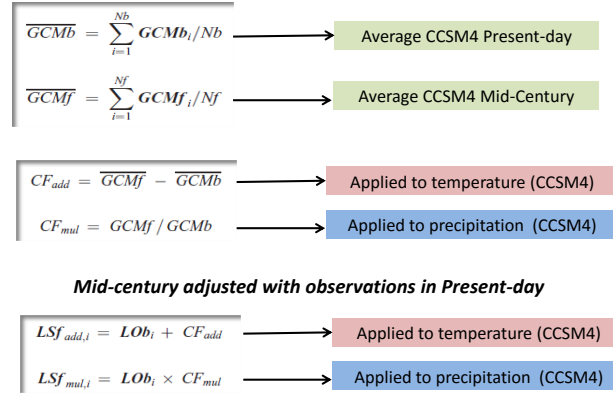


Figura 9. Aplicación de la metodología del factor de cambio al caso de estudio

Una vez los escenarios están ajustados, se obtuvieron los valores de anomalías para las variables meteorológicas. En el caso de la precipitación:

$$I(\%) = \left(100 \times \frac{P_f}{P_p}\right) - 100 \quad (7)$$

Donde **P_f** es la precipitación de clima futuro y **P_p** la de clima presente (o actual). Si no hay cambio (**P_f=P_p**), este valor es cero indicando que no hay cambio. Para la temperatura:

$$A(^{\circ}C) = T_f - T_p \quad (8)$$

Donde **T_f** es la precipitación de clima futuro y **T_p** la de clima presente (o actual). Similar al caso anterior, si no hay cambio (**T_f=T_p**), este valor es cero indicando que no hay cambio

A manera de ejemplo, en las figuras 10 y 11, se presenta el cambio estacional de clima presente y clima futuro para las estaciones 21205790 (Bogotá) y 21015030 que se han venido presentando a lo largo del análisis. En este tipo de gráficas se puede apreciar lo simulado por CCSM4 (clima presente y futuro), las observaciones de IDEAM, el clima del futuro ajustado aplicando la metodología del factor de cambio, pero además de ello el cambio de porcentaje de la precipitación para cada uno de los meses (anomalía) junto con su ciclo estacional indicando además de ello la variabilidad (diagramas de box-plot); lo que permitirá a un tomador de decisión planificar su actividad sectorial, ya que no solo tendrá el cambio climático en términos de valores medios sino en el rango de posibilidades que se le puede presentar comparado con el clima actual. Para este caso particular, el escenario RCP8.5 sugiere una reducción de la precipitación a lo largo del año excepto para el mes de enero; no obstante, dicho mes hace parte de la primera temporada seca del año.

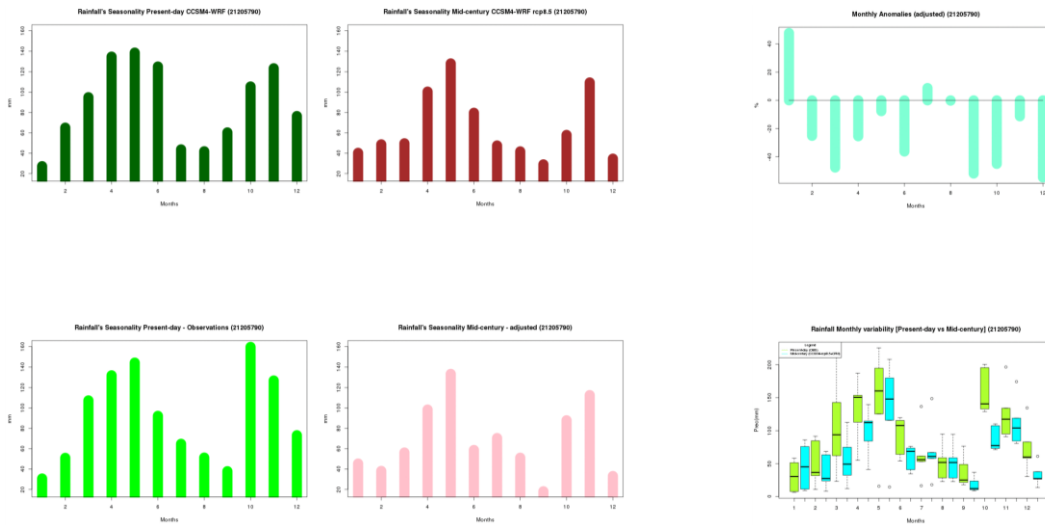


Figura 10. Caso Bogotá - Precipitación. En la parte superior izquierda se presenta el clima presente simulado por el modelo CCSM4; en la superior central, el clima del futuro simulado por CSM4; en la parte izquierda inferior, el ciclo estacional de las observaciones de IDEAM; en la parte inferior central, el clima del futuro corregido con el método del factor de cambio; en la parte derecha superior la anomalía (en porcentaje) entre el clima futuro corregido y el clima presente con los datos observados de IDEAM y, en la parte inferior derecha, el comparativo entre el ciclo estacional de clima presente (verde claro) y clima futuro (azul) tipo diagrama Box-plot.

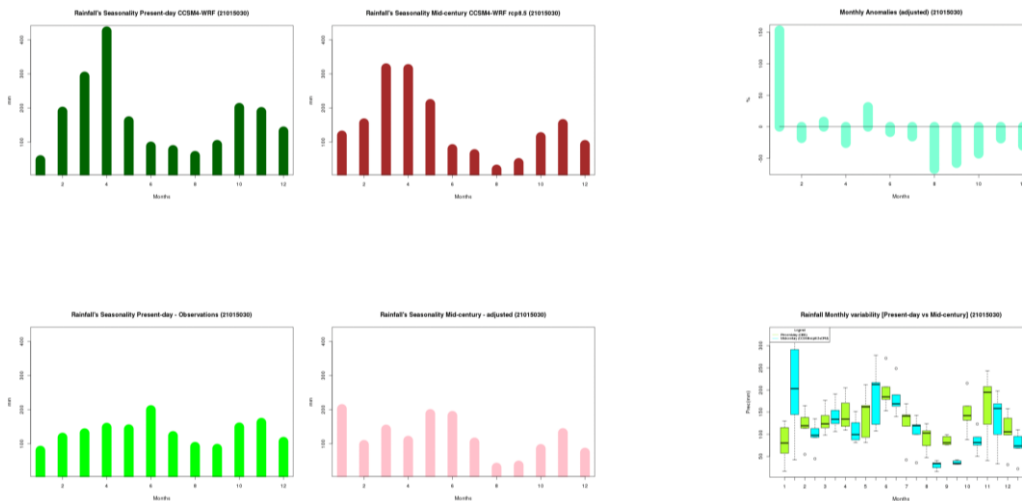


Figura 11. Caso estación 21015030 - precipitación. En la parte superior izquierda se presenta el clima presente simulado por el modelo CCSM4; en la superior central, el clima del futuro simulado por CSM4; en la parte izquierda inferior, el ciclo estacional de las observaciones de IDEAM; en la parte inferior central, el clima del futuro corregido con el método del factor de cambio; en la parte derecha superior la anomalía (en porcentaje) entre el clima futuro corregido y el clima presente con los datos observados de IDEAM y, en la parte inferior derecha, el comparativo entre el ciclo estacional de clima presente (verde claro) y clima futuro (azul) tipo diagrama Box-plot.

La Fig. 11 muestra la potencia de la metodología del factor de cambio, pues los cambios proyectados ajustados, son más razonables que el dado por el modelo en sí; ya que dicha metodología usa la información de cambio climático dado por las simulaciones y las traslada a las observaciones. En la Figura 12, se presenta la aplicación para la temperatura del aire.

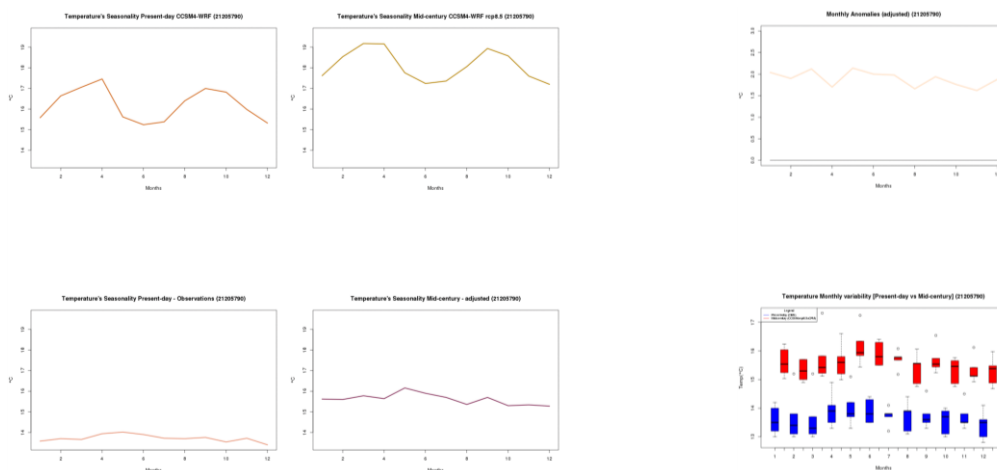


Figura 12. Caso estación Bogotá – Temperatura media. En la parte superior izquierda se presenta el clima presente simulado por el modelo CCSM4; en la superior central, el clima del futuro simulado por CSM4; en la parte izquierda inferior, el ciclo estacional de las observaciones de IDEAM; en la parte inferior central, el clima del futuro corregido con el método del factor de cambio; en la parte derecha superior la anomalía (en °C) entre el clima futuro corregido y el clima presente con los datos observados de IDEAM y, en la parte inferior derecha, el comparativo entre el ciclo estacional de clima presente (azul) y clima futuro (rojo) tipo diagrama Box-plot.

RESULTADOS Y DISCUSION

Con el fin de tener una visión de país frente al cambio climático esperado a mediados de siglo bajo un escenario RCP8.5 por cada región pluviométricamente homogénea, se promediaron las anomalías de las estaciones que conforman cada región y se obtuvieron los resultados expresados en la Tabla 1 y la Fig. 13.

Tabla 1. Anomalías (%) entre clima futuro y clima presente por cada región pluviométricamente homogénea

RAINFALL HOMOGENEOUS REGION	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANUAL
Archipiélago de San Andrés	-17	-80	-27	4	-43	-19	22	6	46	-9	80	28	-1
Caribe - Cesar	23	-44	20	53	-23	65	85	-19	44	133	21	23	32
Catatumbo	-38	-47	-86	167	-66	-47	73	-29	28	-36	-1	170	7
Medellín - Carare - Opón	20	-14	-4	8	-22	-5	9	11	15	3	-6	9	2
Norte Amazonia	120	-27	11	-12	30	-17	1	-53	-50	-43	-3	-4	-4
Orinoquia Occidental	170	-89	-43	58	-3	-21	30	7	-22	5	-31	1	5
Orinoquia Oriental	23	-91	-84	19	5	-1	13	12	10	-24	-45	170	1
Pacífico Norte - Central	-45	65	24	20	7	7	4	-21	-7	-12	-23	27	4
Patía - Mira	0	-24	-8	43	0	6	0	0	0	0	7	-37	-1
Risaralda - Saldaña	6	-8	-5	-27	-22	-31	-11	-3	-31	-32	-34	-37	-20
Sinú - San Jorge - Porce	33	-13	-35	10	-10	21	13	41	28	33	8	-16	10
Sogamoso - Lebrija - Altiplano	43	-12	-27	-12	-23	-22	46	-24	-41	-5	-14	-37	-11
Sur Magdalena Cauca	4	-9	2	-11	-15	-33	-2	-27	-70	-43	-23	-18	-21
Trapecio Amazónico	5	-26	-1	-10	17	-67	-21	48	-19	-13	-15	-27	-11
COLOMBIA	25	-30	-19	22	-12	-12	19	-4	-5	-3	-6	18	0

De acuerdo con IDEAM (2005), y para fines prácticos de variabilidad climática, cuando esta variación está entre -20% y 20%, sus estudios han considerado que los volúmenes de precipitación están dentro de valores normales, si la alteración de la precipitación supera el 20% se considera que los volúmenes de precipitación están por encima de lo normal (excesos) y, cuando la anomalía es inferior a -20% sus volúmenes están por debajo de lo normal (déficits). La tabla 1, permite ver en color verde los meses que presentan una condición normal de clima futuro respecto al clima actual,

mientras que en color azul los meses para los cuales se esperan los excesos y en rojo los déficits. Para el caso de temperatura, la simulación sugiere un aumento de temperatura a mediados del siglo XXI respecto al clima actual para todas las regiones pluviométricamente homogéneas del país, incluso por encima de 1.5°C. En la Tabla 2 se señalan los datos por encima de dicho valor solo por hacer un llamado al primer objetivo del Acuerdo de París que reza: “Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático”

Tabla 2. Anomalías (%) entre clima futuro y clima presente por cada región pluviométricamente homogénea

RAINFALL HOMOGENEOUS REGION	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANUAL
Archipiélago de San Andrés	1.4	1.4	1.4	1.1	1.0	1.1	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.3
Caribe - Cesar	1.6	1.6	1.6	1.1	1.9	1.4	1.6	1.7	1.5	1.2	1.4	1.6	1.5
Catatumbo	2.3	1.9	2.3	1.6	2.2	1.6	1.5	1.7	1.6	2.1	2.1	2.1	1.9
Medellín - Carare - Opón	1.8	1.8	1.9	1.6	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8	1.4	1.6	1.9	1.8
Norte Amazonia	1.6	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.7	1.7	1.8	1.6	1.2	1.6	1.7
Orinoquia Occidental	1.8	2.4	2.3	1.9	2.1	1.6	1.6	1.5	1.9	1.8	1.3	1.9	1.8
Orinoquia Oriental	1.8	2.5	2.5	2.1	1.9	1.1	1.7	1.6	1.5	1.5	0.3	1.4	1.7
Pacífico Norte - Central	1.4	1.5	1.4	1.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.2	1.3	1.5	1.4
Patía - Mira	1.4	1.5	1.4	1.3	1.6	1.4	1.5	1.3	1.4	1.2	1.0	1.7	1.4
Risaralda - Saldaña	1.9	1.9	1.9	1.7	2.4	2.2	2.1	1.8	1.9	2.0	2.0	2.2	2.0
Sinú - San Jorge - Porce	1.5	1.4	1.4	1.2	1.6	1.7	1.4	1.5	1.4	1.3	1.4	1.5	1.4
Sogamoso - Lebrija - Altiplano	1.8	1.8	2.1	1.8	2.3	2.1	2.0	1.7	1.9	1.7	1.6	1.9	1.9
Sur Magdalena Cauca	1.8	1.8	1.9	1.7	2.2	2.0	1.9	1.6	1.7	1.8	1.7	2.0	1.8
Trapecio Amazónico	1.6	2.0	1.8	1.6	2.0	1.6	2.2	1.8	1.8	1.4	0.5	1.6	1.6
COLOMBIA	1.7	1.8	1.8	1.6	1.9	1.6	1.7	1.6	1.6	1.5	1.3	1.7	1.7

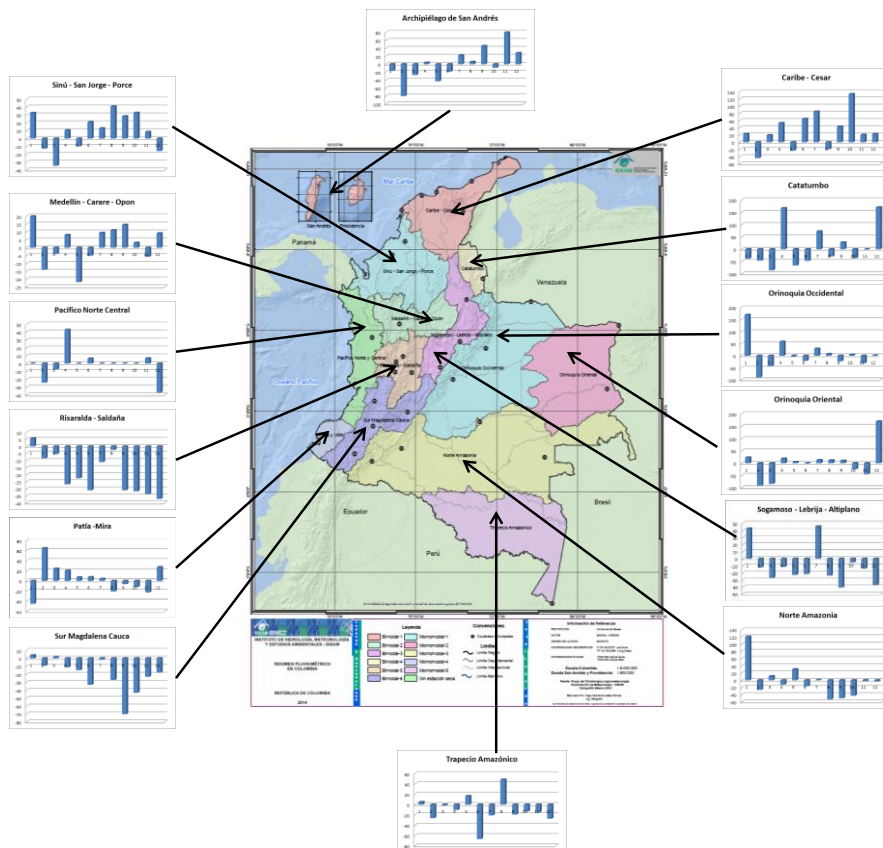


Figura 13. Cambios en la precipitación para mediados del siglo XXI bajo un escenario RCP 8.5 simulado con el downscaling dinámico realizado con WRF del modelo CCSM4 dentro del proyecto IDB-UNL.

CONCLUSIONES

1. Para Colombia, en general la simulación muestra que los valores anuales de precipitación podrían estar similares al clima actual; no obstante, la precipitación mensual se redistribuiría a lo largo del año haciendo meses más lluviosos que lo normal, otros más secos de lo normal y otros meses con una condición parecida a la actual. Lo anterior sugiere un cambio más de la estacionalidad de la precipitación para mediados de siglo XXI.
2. Bajo un escenario RCP8.5, la zona del país que más reduciría sus volúmenes anuales de precipitación sería la región Sur de Magdalena-Cauca (-21%); mientras que el área que tendría más aumentos sería Caribe-Cesar (32%)
3. En la escala mensual, el escenario de cambio climático RCP 8.5 indica una reducción de los volúmenes de precipitación a lo largo del año, excepto para los meses de enero (25%) y abril (22%).
4. El mes de febrero, que hace parte de la primera temporada seca en gran parte del país, podría ser más acentuado a mediados de siglo XXI (-30%).
5. La temperatura media del aire en Colombia aumentaría alrededor de 1.7°C para mediados de siglo, siendo mayo el mes más cálido con respecto a la condición actual (1.9°C).
6. La simulación sugiere que las regiones que presentarían un aumento mayor en la temperatura media del aire serían Risaralda-Saldaña con incrementos de la temperatura de 2.0°C y las regiones de Sogamoso-Lebrija y Catatumbo con aumentos de 1.9°C.
7. El Archipiélago de San Andrés sería la región que tendría un aumento menor en la temperatura media del aire (1.3°C).

RECOMENDACIONES

Programar sobre el MapMaker la metodología del factor de cambio o cualquier otra metodología de ajuste de las salidas del escenario RCP8.5 para presentar valores más razonables a un tomador de decisión y obtener salidas similares (no necesariamente iguales) a las mostradas en las figuras 10 y 12. Lo anterior aprovechando que el aplicativo es capaz de consultar las observaciones de las estaciones junto con la simulación de clima presente y futuro del CCSM4-WRF.

AGRADECIMIENTOS

Se hace un especial reconocimiento a los profesores Robert Oglesby y Clinton Rowe, de la Universidad de Nebraska Lincoln, quienes han transferido todo su conocimiento en modelación y cambio climático; de igual forma porque han desarrollado una herramienta (MapMaker) que ha permitido realizar consultas y análisis hechos a la medida de los participantes de los talleres, lo que ha facilitado el desarrollo de las actividades.

Asimismo, un agradecimiento al Banco Interamericano de Desarrollo, por toda su gestión administrativa y jurídica, sin cuyo aporte no hubiera sido posible la realización estos talleres, en

especial a los Sres. Alfred Grunwaldt y Federico Brusa quienes han estado en contacto con los participantes de los distintos países en el desarrollo de este proceso.

BIBLIOGRAFÍA

Anandhi, A., A. Frei, D. C. Pierson, E. M. Schneiderman, M. S. Zion, D. Lounsbury y A.H. Matonse, 2011. Examination of change factor methodologies for climate change impact assessment. *Water Resources Research*. Vol. 47. W03501.

IDEAM, 2005. Atlas Climatológico de Colombia. Bogotá, Colombia

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2015. Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Estudio Técnico Completo : Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. ISBN 978-958-8902-56-2

Intergovernmental Panel of Climate Change-IPCC, 2013. Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático” [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

Intergovernmental Panel of Climate Change-IPCC, 2013. Data Distribution Centre -DDC-. Definition of Terms Used Within the Pages DDC. <http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/definitions.html>. Extraído en Octubre 2013.

Moss, Richard H., Edmonds, Jae A., Hibbard, Kathy A., Manning, Martin R., Rose, Steven K., Van Vuuren Detlef P., Carter Timothy R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, Gerald A., Mitchell, John F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, Steven J., Stouffer, Ronald J., Thomson, Allison M., Weyant, John P., Wilbanks, Thomas J., The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*. 2010/02/11/online. Volumen 463. Macmillan Publishers Limited. All rights reserved. <http://dx.doi.org/10.1038/nature08823>

Oglesby, R., Rowe, C., Grunwaldt, A., Ferreira, I., Ruiz, F., Campbell, J., Alvarado, L., Argenal, F., Olmedo, B., del Castillo, A., Lopez, P., Matos, E., Nava, Y., Perez, C. and Perez, J. 2016: A High-Resolution Modeling Strategy to Assess Impacts of Climate Change for Mesoamerica and the Caribbean, *American Journal of Climate Change*, 5, 202-228

Guzmán D., Ruiz F., Cadena M., 2012. Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través del análisis de componentes principales (ACP). Nota Técnica. IDEAM.

Taylor, Karl E., Ronald J. Stouffer, Gerald A. Meehl., 2012. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 485–498. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>.

SIMULACION DEL CLLJ POR EL MODELO WRF

Propiedades climatológicas de la corriente en chorro de bajo nivel del Caribe (CLLJ)

La CLLJ es reconocida como una característica climática dominante de la región de los Mares Intra Americanos (IAS) y de la piscina de aguas cálidas del hemisferio occidental (WHWP) -de la cual forman parte el mar Caribe y América Central-, presenta una estructura muy particular tanto horizontal, vertical y estacionalmente: consiste de un máximo del viento zonal con un promedio anual de 11 m/s, pero que varía estacionalmente entre 7 m/s y de 13 m/s) en la troposfera baja (verticalmente más fuerte en 925 hPa), localizado en el centro del mar Caribe (figura 1), específicamente en el cuadrante definido por las coordenadas 12.0°N - 16.0°N, 76°O - 71°O.

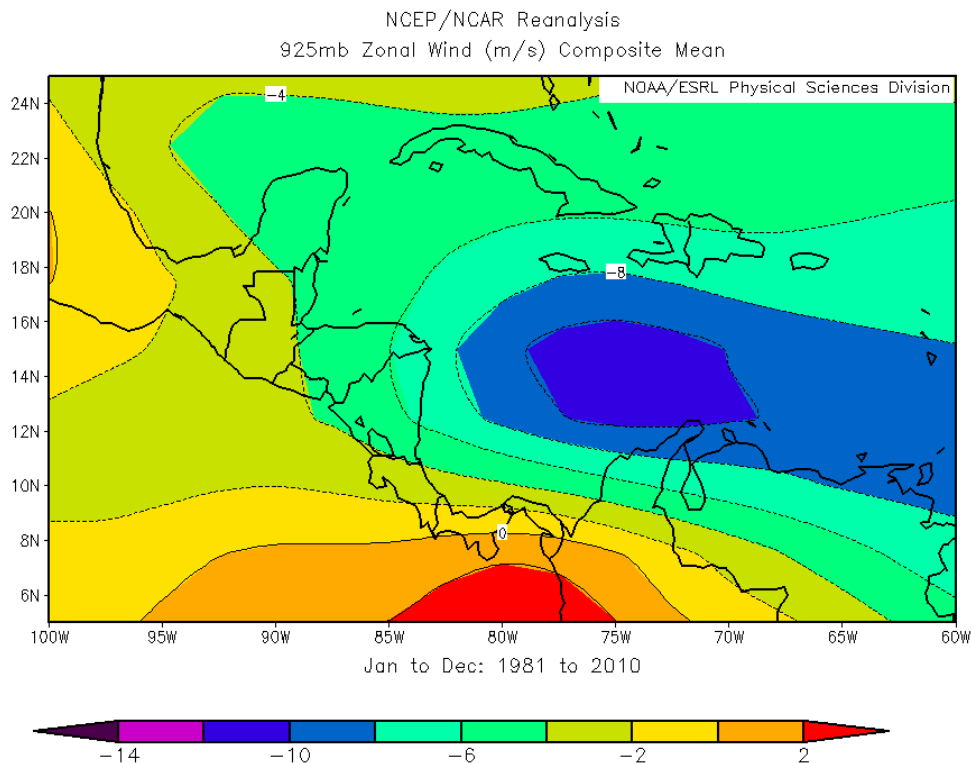


Figura 1. Climatología anual (1981-2010) de las isotacas de la componente zonal del viento (m/s) usando el reanálisis del NCEP/NCAR. Valores negativos (positivos) indican viento del este (oeste).

El ciclo anual de la magnitud del viento (figura 2) presenta un comportamiento bi-modal, con máximos (mínimos) en el verano y el invierno (otoño y la primavera). La magnitud de este chorro es mayor (menor) en el verano (otoño) que en el invierno (primavera). La importancia de la CLLJ estriba en su fuerte asociación y modulación con la temporada de lluvias en América Central y las islas del Caribe (Amador 1998, 2008; Mora & Amador, 2000; Muñoz et al. 2007; Taylor et al., 2002; Wang 2007;) principalmente con la sequía estival (conocida localmente como veranillo), así como con las intensas lluvias del otoño de la Zona de Confluencia Intertropical. Nótese en la figura 3 el ciclo anual de las precipitaciones en ciudad de Guatemala, la cual también muestra un carácter bimodal, caracterizado por una temporada seca entre noviembre y abril, y una temporada lluviosa entre mayo y octubre. En la temporada lluviosa se presentan máximos en junio y setiembre, y un mínimo intermedio entre julio y agosto, que corresponde a la sequía estival, conocida como veranillo o

canícula. El mínimo de lluvia asociado a la canícula ocurre simultáneamente con el máximo estival de la CLLJ, es decir, se establece un patrón de proporcionalidad inversa (correlación negativa) entre el CLLJ y la temporada lluviosa. Se ha observado que cuando la CLLJ es anómalamente fuerte (viento alisio más fuerte que lo normal) disminuye el total anual de la lluvia sobre el mar Caribe (Cook & Vizy 2010), sin embargo, por el contrario aumenta en la costa Caribe de Centroamérica, lo cual se atribuye al mayor transporte de humedad, al efecto de la convergencia friccional de gran escala a la salida del CLLJ y al ascenso orográfico por las pendientes orientales de las cordilleras centroamericanas. Por efecto Foehn de este flujo intensificado ocasiona también la disminución (aumento) de la humedad y la lluvias (temperaturas) en la costa Pacífica de Centroamérica (Amador 1998; Cook & Vizy 2010).

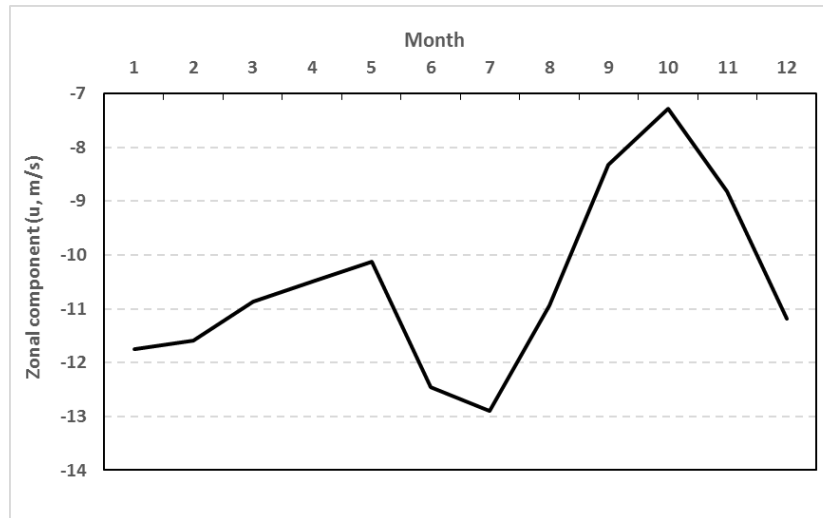


Figura 2. Ciclo anual de la componente zonal del viento (m/s) en 925 hPa en la zona del CLLJ, usando el reanálisis del NCEP/NCAR (NNRP) del periodo climatológico 1981-2010. Valores negativos (positivos) indican viento del este (oeste).

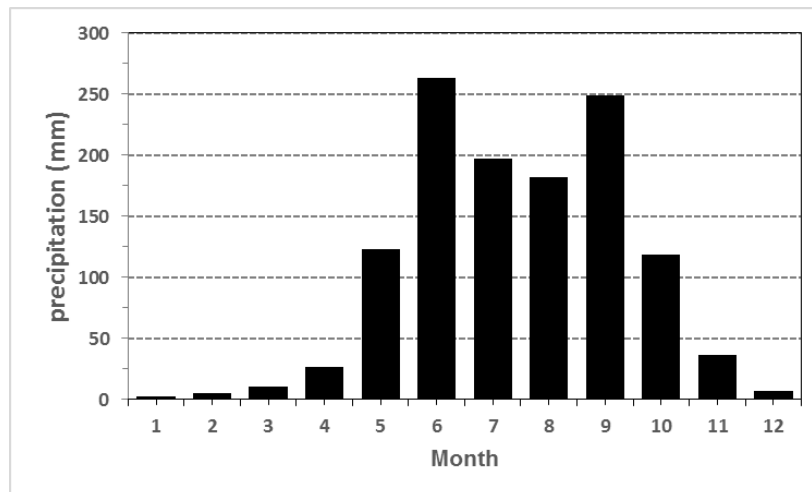


Figura 3. Ciclo anual de la lluvia (mm) en la ciudad de Guatemala para el periodo climatológico 1981-2010. Fuente: INSIVUMEH.

También se sabe que la CLLJ está correlacionada con otras señales atmosféricas y oceánicas, como por ejemplo ciclo de EL Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y la temporada de ciclones tropicales, tanto la del Atlántico norte como la del Pacífico oriental (Amador et al.1999, 2000, 2006; Amador 2008; Wang 2007; Whyte et al., 2008). Por estas razones se desea examinar la evolución futura de la CLLJ en el contexto de los escenarios de cambio climático simulados por los modelos climáticos regionales. Específicamente se quiere investigar las variaciones que experimentaría en el mediano plazo (2061-2070) la CLLJ con respecto al clima actual, usando la regionalización del modelo WRF con el forzamiento del modelo climático global “Community Climate System Model (CCM4) del NCAR/UCAR.

En la actualidad existen varios estudios que utilizaron los escenarios de emisiones SRES (Nakicenovic, 2000) del IPCC en modelos climáticos regionales para examinar las proyecciones futuras en la región de Centroamérica y el Caribe (Castro et al., 2006; Taylor et al., 2013), sin embargo, quizá muy pocos (Oglesby, 2016) lo han hecho con los nuevos escenarios RCP (van Vuuren et al. 2011). Más aun, es posible que aún no se haya realizado un estudio relativo específicamente a las proyecciones del CLLJ usando los nuevos escenarios RCP’s. Campbell et al. (2010) presentaron un estudio con un enfoque similar usando el modelo PRECIS, pero con los escenarios SRES. En el presente estudio el modelo regional Weather Research and Forecasting (WRF/NCAR, Skamarock et al., 2008) es utilizado para simular la manifestación futura (2011-2010 y 2061-2070) del CLLJ bajo el escenario de emisiones RCP8.5.

Metodología

En general el esquema experimental es similar al seguido por Oglesby (2016), sin embargo con algunas diferencias en los dominios y la simulación de los periodos: histórico, línea base y futuro.

La tabla 1 muestra las especificaciones paramétricas de la simulación y el dominio del WRF.

WRF version	3.5		
Levels	29		
Time step	adaptive		
SW radiation	Dudhia		
LW radiation	RRTM		
Cumulus	Kain-Fritsch		
Microphysics	WSM5		
Boundary layer	YSU		
Surface layer	MM5 similarity		
Land-surface	Noah LSM		
SST update	TRUE		
GCM forcing	CCSM4-NCAR		
RCP-IPCC	8.5		
Domains		delta(km)	SNXWE
	d01	36	60x80
	d02	12	111x105
	d03	4	165x156

Tabla 1. Especificaciones y parametrizaciones del modelo WRF. Se incluyen los 3 dominios con sus respectivas resoluciones horizontales.

La tabla 2 es un resumen de los experimentos realizados con el WRF y en la figura 4 se puede apreciar el área geográfica cubierta por los 3 dominios. El dominio más externo (interno) es el de menor (mayor) resolución.

Scenario	Run name	Years	Climatology	Change	Offset
Historical	NNRP reanalysis	2001-2010	2001-2010 (HS)		
CCSM4_RCP8.5	Model baseline	2011-2020	2011-2020 (BL)	FT - BL	BL - HS
	Model future	2061-2070	2061-2070 (FT)		

Tabla 2. Descripción de los experimentos realizados con el WRF



Figura 4. Dominios del proyecto centrado en Guatemala, con resoluciones horizontal de 36 km, 12 y 4 km. Por razones obvias el análisis del CLLJ se concentró en el dominio de 36 km.

El escenario histórico (2001-2010) permite hacer comparaciones entre las simulaciones del WRF (forzado con el reanálisis del NNRP) y las observaciones climáticas de estaciones meteorológicas o con climatologías en formato de rejilla (grid), esto con el fin de evaluar la habilidad del modelo en reproducir el clima actual. Adicionalmente, uno o más escenarios de cambio climático fueron dinámicamente reducidos; cada uno de estos escenarios incluye dos simulaciones: la primera es para un período cercano al comienzo de las proyecciones de cambio climático (es decir, "el clima presente" o línea de base), y el segundo para un período de la misma duración 50 años después (es decir, "mediados de siglo"). El escenario de línea base (2011-2020) si bien está etiquetado como de clima presente, no significa que corresponde con el clima real de ese periodo, más bien representa condiciones que son similares, en un sentido climatológico, a las experimentadas a comienzos del siglo XXI. El escenario de clima futuro (2061-2070) representa las condiciones que son similares, en un sentido climatológico, a aquellas que se experimentarían a mediados del siglo XXI si el escenario RCP8.5 resultara ser cierto.

De acuerdo con la tabla 2, se han calculado dos conjuntos de datos más, los del “cambio” que se refieren a la diferencia entre el escenario futuro y el de línea base, y los de “offset” que son las diferencias entre el escenario de línea base (forzado por el CCM4) y el escenario histórico (forzado por el reanálisis NNRP).

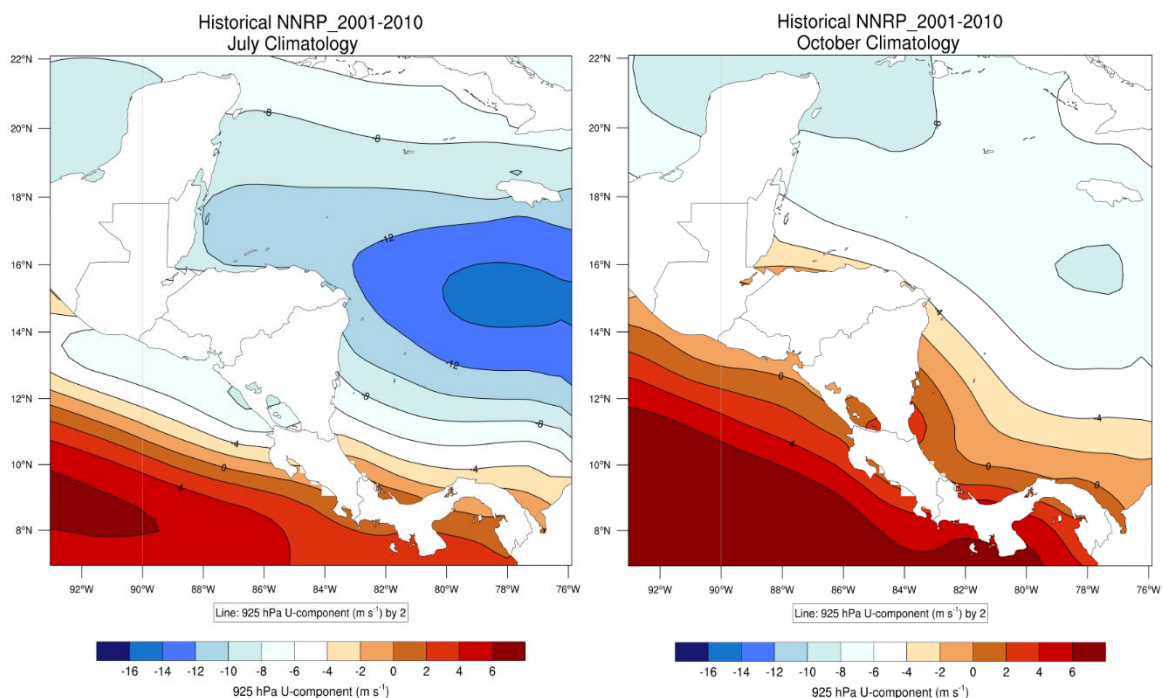
Es importante tener en cuenta que cualquier simulación de un modelo (sea este regional o global) es solo una realización de un posible clima en el futuro, a partir de las condiciones iniciales dadas y condiciones de contorno especificadas, el cual no se puede esperar que simule el clima de cualquier año específico, más bien, debe ser interpretado como un año representativo en un momento determinado del futuro.

Resultados

Evaluación del modelo

La verificación se realizará en una forma cualitativa a la simulación histórica del ciclo anual y el campo espacial horizontal, ambos de la componente zonal de viento en 925 hPa.

La figura 5 muestra que el modelo WRF logra capturar razonablemente bien la posición e intensidad del núcleo de máxima intensidad del CLL, patrón que es muy coherente con el conocimiento actual del comportamiento del CLLJ. Respecto al máximo de julio, el modelo ubica el núcleo en las coordenadas 15°N - 78°O, con una velocidad de 14 m/s a 16 m/s. Este núcleo muestra un gradiente más fuerte al sur que al norte. Con respecto a octubre, que es el mes en que es mínima la intensidad del CLLJ, las velocidades disminuyen en un 50% con respecto a las de julio, además de que el núcleo se ha fraccionado en dos, uno en la posición ya conocida, y el otro al sur del golfo de México. En julio se puede apreciar un segundo máximo (8 m/s a 10m/s) en la costa Pacífica de Nicaragua, el cual desaparece por completo en octubre. En la climatología de invierno ese máximo del Pacífico



(no hay figura) reaparece en su máxima amplitud y es conocido localmente como el chorro de Papagayo.

Figura 5. Variación horizontal de la componente zonal media del viento en el nivel de 925 hPa en el periodo histórico (2001-2010). A la izquierda (derecha) el mes de julio (octubre). Fuente: WRF forzado con el reanálisis NNRP.

En términos de la variación horizontal de viento con la simulación del modelo para la línea base (clima actual con el forzamiento del modelo global CCSM4), el modelo simuló más amplio espacialmente y de mayor intensidad al núcleo del CLLJ, tanto en verano como en otoño. El máximo de julio está ahora entre 16 m/s y 18 m/s, mientras que el de octubre entre 12 m/s y 14 m/s. Lo anterior significa que hubo un aumento de 2 m/s a 4 m/s con respecto al periodo histórico. Esto bien podría significar un sesgo del modelo hacia velocidades más altas, aunque tampoco puede descartarse que sea parte de la misma variabilidad climática, la cual pudo haber experimentado una intensificación del CLLJ en la segunda década del siglo XXI. En julio el chorro de Papagayo se observa con velocidades de 14-16 m/s, que son más altas que las de la simulación histórica. En octubre el Papagayo también aparece mejor definido y con una mayor velocidad que en el periodo histórico.

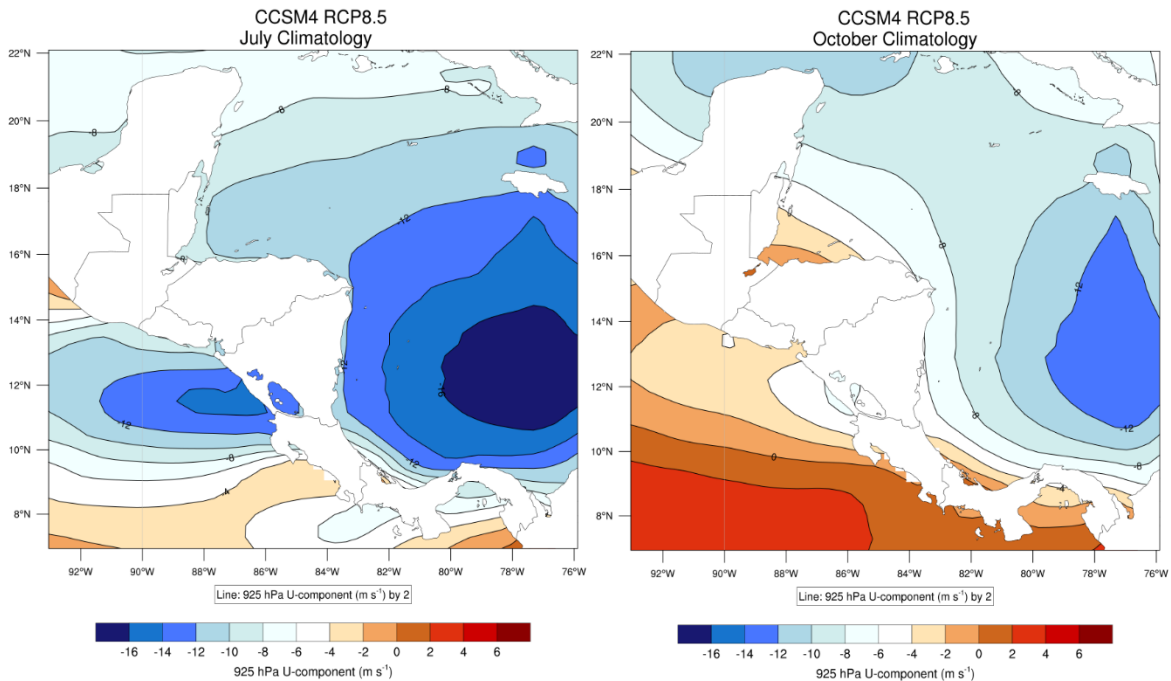


Figura 6. Variación horizontal de la componente zonal media del viento en el nivel de 925 hPa en el periodo de línea base (2011-2010). A la izquierda (derecha) el mes de julio (octubre). Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4-NCAR y el RCP8.5.

La figura 7, correspondiente al ciclo anual de la componente zonal del viento en 925 hPa –según el experimento para el periodo histórico- también muestra un patrón muy consistente con el comportamiento real del CLLJ. Se observa una variación estacional muy marcada, con el extremo alto en verano (julio) y el bajo en el otoño (octubre). El máximo de octubre es de 14 m/s y el mínimo de octubre de 8 m/s. Un máximo y un mínimo secundario se presentan en el invierno (enero) y la primavera (mayo), respectivamente. No obstante, el ciclo anual en el periodo de línea base (figura 7) muestra cambios muy significativos con respecto al histórico, por ejemplo presenta una menor

variabilidad o rango (3.6 m/s vs 6.7 m/s) y cambios en la ubicación de los extremos, particularmente durante el otoño e invierno, por ejemplo el mínimo extremo de octubre se convirtió en un mínimo secundario, y el máximo secundario que había en el invierno es ahora el mínimo extremo. El único que permaneció invariable fue el máximo absoluto de julio, pero con una mayor magnitud. En promedio anual la magnitud del CLLJ aumentó en poco más de 1 m/s.

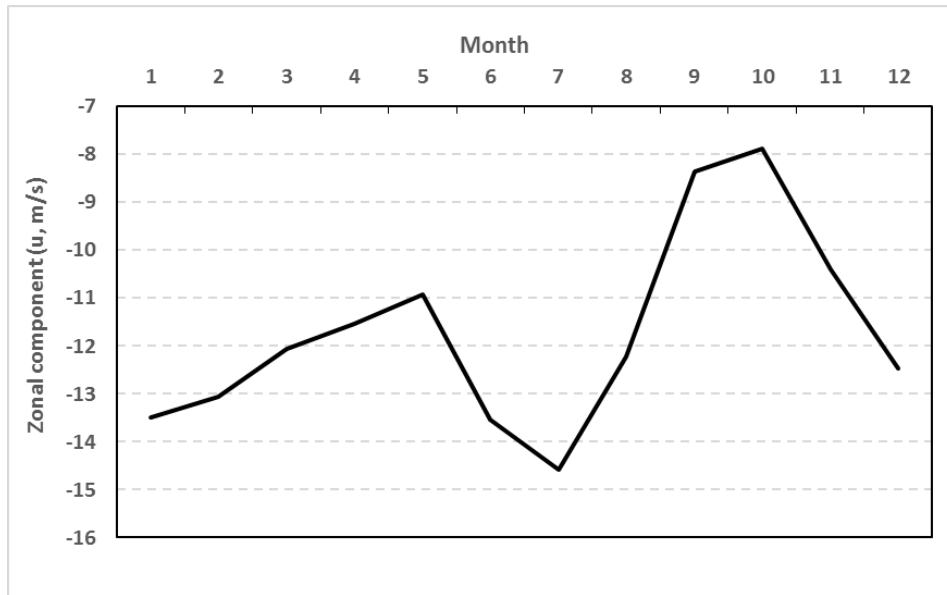


Figura 7. Variación mensual de la componente zonal (u, m/s) del viento para el nivel de 925 hPa en el punto 15°N, 78°O, para el periodo 2001-2010. Fuente: WRF forzado con el reanálisis NNRP.

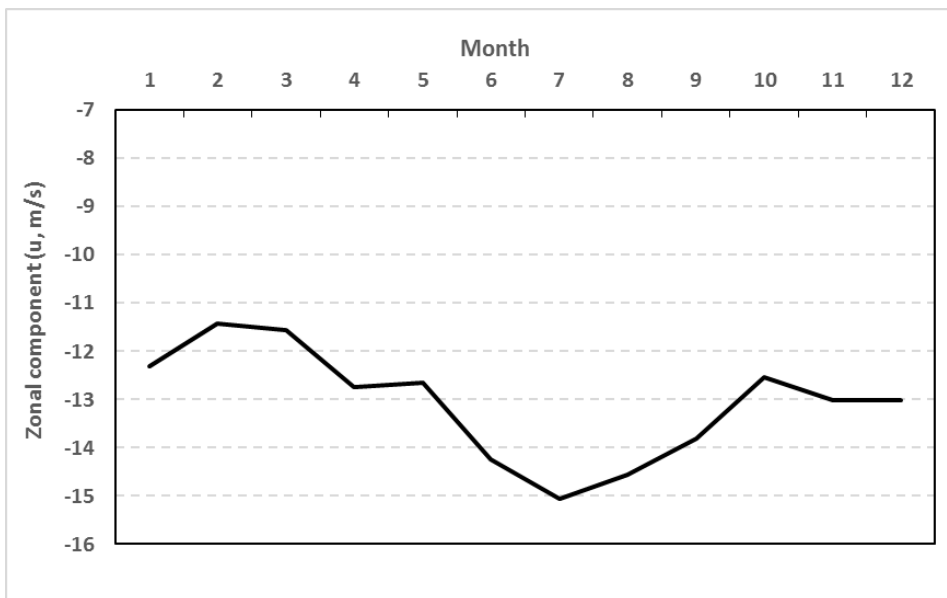
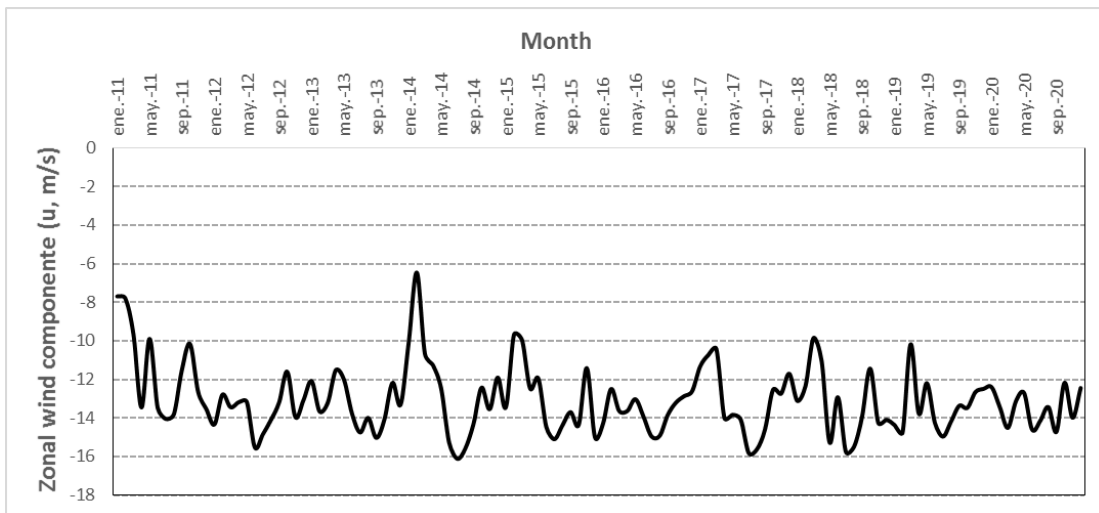
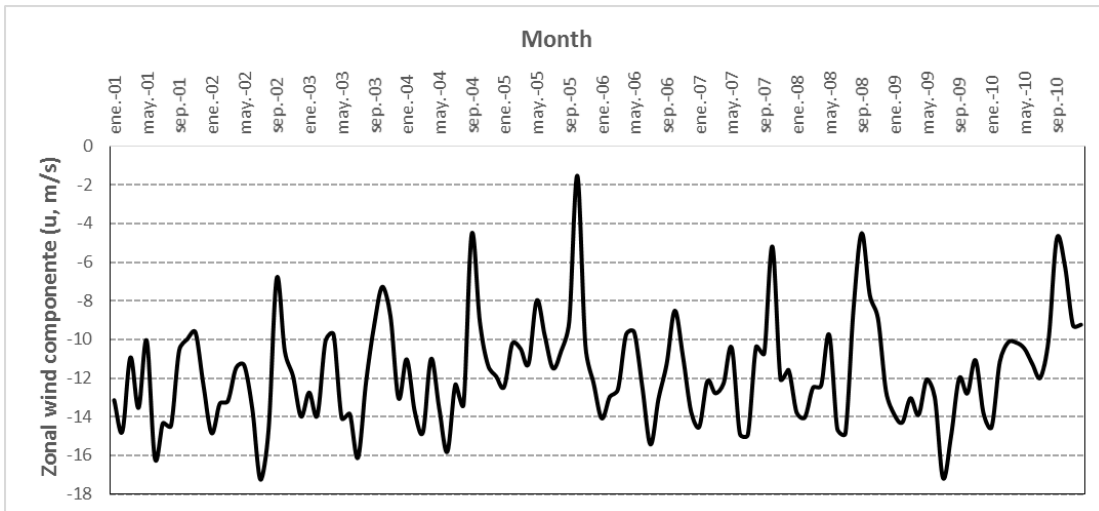


Figura 8. Variación mensual de la componente zonal (u, m/s) del viento para el nivel de 925 hPa en el punto 15°N, 78°O, para el periodo de línea base 2011-2020. Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4 y el RCP8.5.



Cambio climático futuro

Tal como se citó anteriormente, el escenario de cambio futuro se llevó a cabo utilizando solamente un escenario de emisiones, el RCP8.5, que asume una nula mitigación y por lo tanto el escenario con las más altas emisiones. Al igual que con la sección anterior, en ésta se describirán las variaciones de los patrones espaciales así como del ciclo anual.

La siguiente figura es la proyección de mediados de siglo, donde sigue siendo evidente y prominente el núcleo de velocidades altas asociados al CLLJ. La intensidad de ese núcleo no parece haber experimentado cambio alguno con respecto a la climatología de la línea base (figura 9 y 10, izquierda), pero sí de un aumento con respecto al escenario histórico. El chorro de Papagayo sí experimentó una mayor intensificación, lo cual se puede confirmar por la mayor área espacial de las isotacas cerradas. A diferencia de julio, en octubre (figura 9 y 10, derecha) sí se observó un aumento en la intensidad del CLLJ con respecto a los dos periodos anteriores.

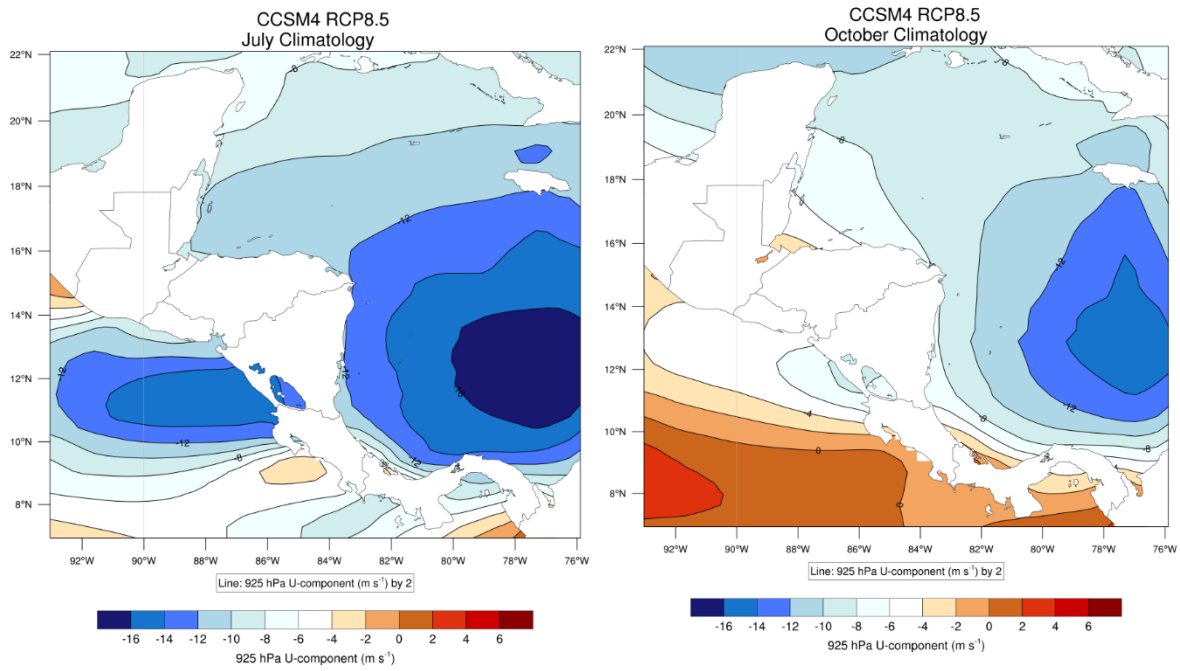


Figura 9. Variación horizontal de la componente zonal media del viento en el nivel de 925 hPa en el periodo de futuro (2061-2070). A la izquierda (derecha) el mes de julio (octubre). Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4-NCAR y el RCP8.5.

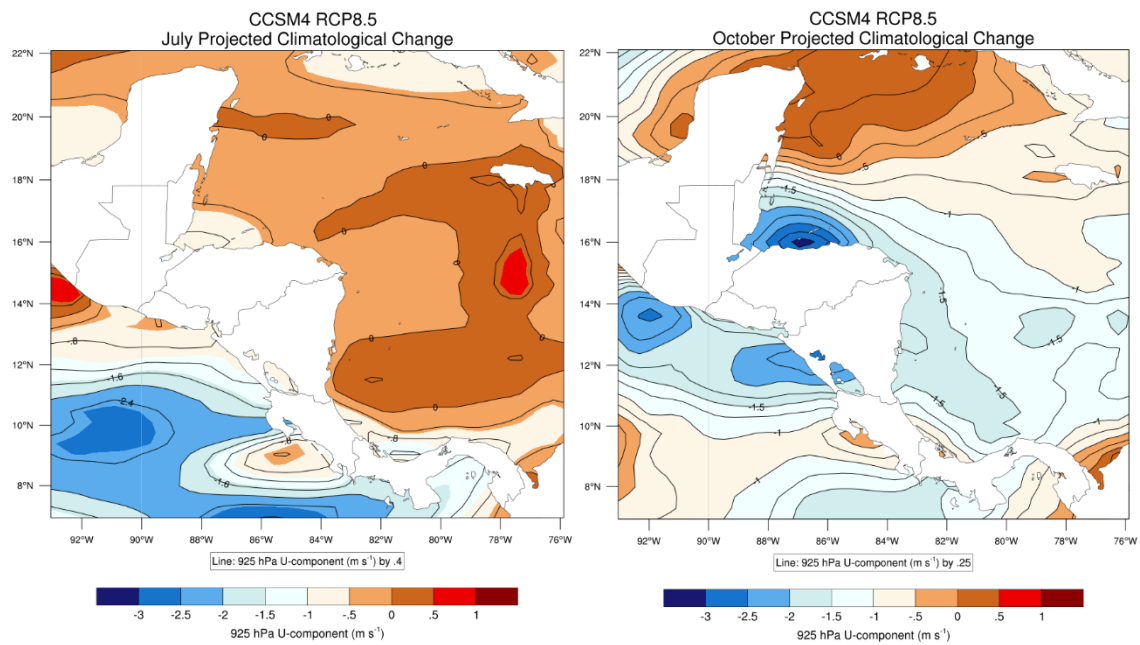


Figura 10. Cambio de la componente zonal media del viento en 925 hPa entre la simulación de futuro y la línea base (FT – HS). A la izquierda (derecha) el mes de julio (octubre). Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4-NCAR y el RCP8.5.

El ciclo anual proyectado para mediados de siglo (figura 11) presenta velocidades que oscilan entre 12 m/s y 16 m/s, variabilidad que es aún más baja que la del periodo de clima presente y el histórico. (figuras 7 y 8). Esta condición se debe al aumento en la intensidad del mínimo del otoño y la poca o nula variación del máximo de verano. La figura 12 muestra la diferencia entre los escenarios de futuro y el de línea base, donde se puede observar que la intensidad del CLLJ manifiesta un aumento poco significativo (0 – 1.5 m/s) con respecto al clima presente, salvo un leve debilitamiento del máximo del verano. Al calcular el cambio con respecto al periodo histórico (2001-2010), para el cual el modelo WRF ha sido forzado con el reanálisis NNRP, igualmente se observa un aumento en la velocidad del CLLJ, no obstante se notan diferencias más significativas en la primavera y el otoño, en los cuales los aumentos llegan hasta los 6 m/s.

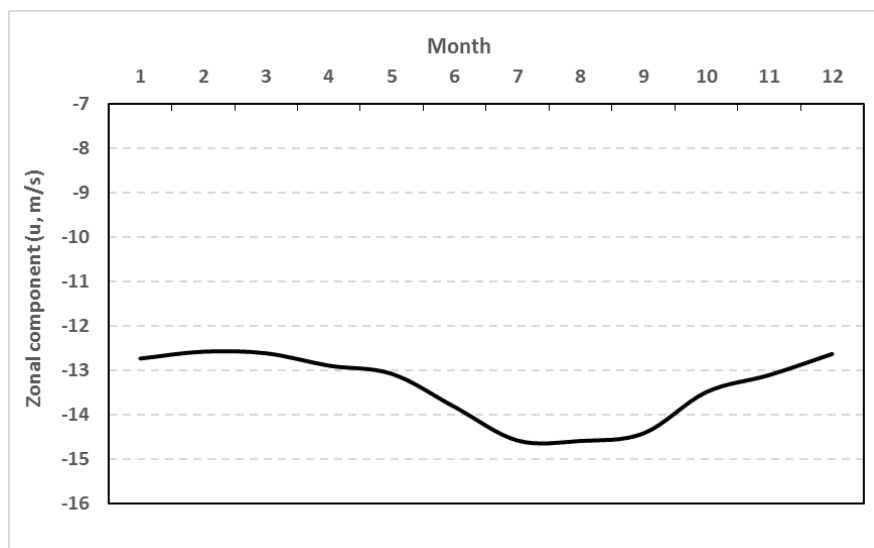


Figura 11. Variación mensual de la componente zonal (u , m/s) del viento para el nivel de 925 hPa en el punto 15°N , 78°O , para el escenario futuro (2061-2070). Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4 y el RCP8.5.

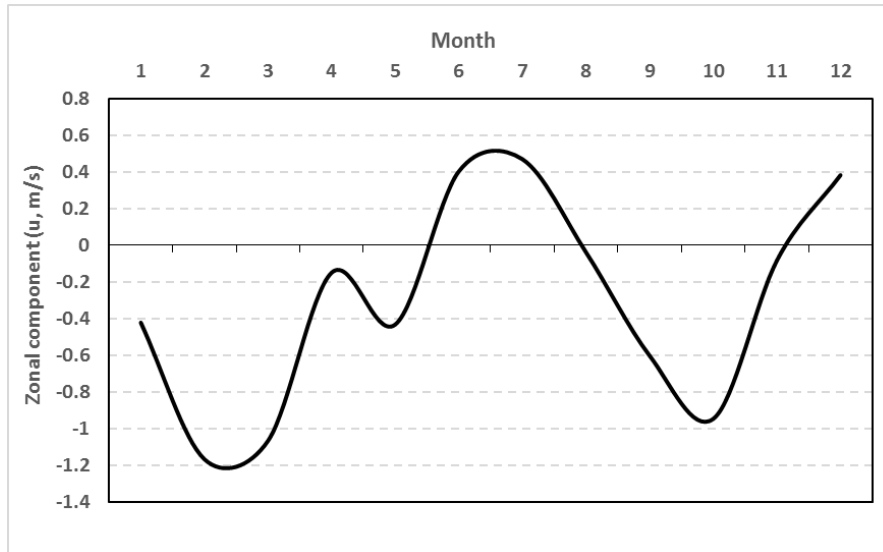


Figura 12. Cambio entre el escenario futuro (2061-2070) y el de línea base (2011-2020) de la componente zonal (u , m/s) del viento para el nivel de 925 hPa en el punto 15°N , 78°O . Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4 y el RCP8.5.

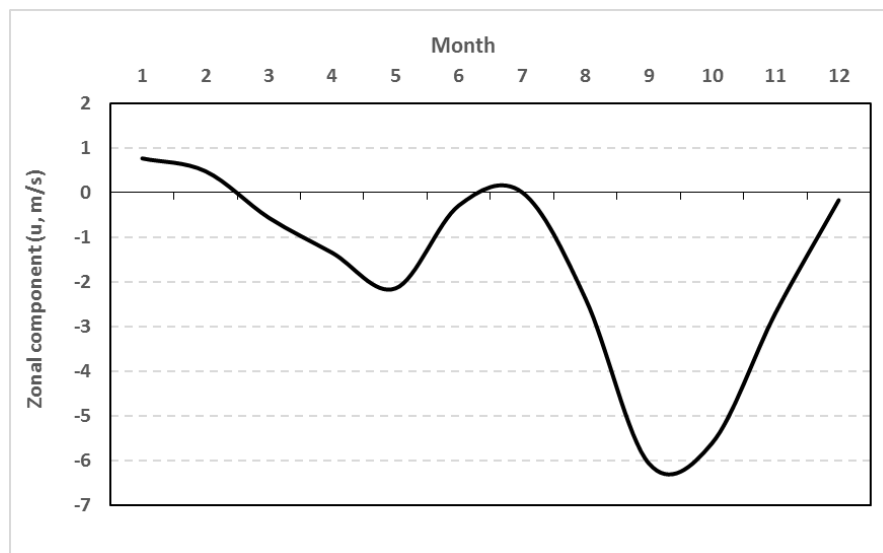


Figura 12. Cambio entre el escenario futuro (2061-2070) y el histórico (2001-2010) de la componente zonal (u , m/s) del viento para el nivel de 925 hPa en el punto 15°N , 78°O . Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4 y el RCP8.5.

Como bien es sabido, el CLLJ influye significativamente en la temporada de lluvias de Centroamérica, en este sentido el incremento en la intensidad del CLLJ proyectado por el modelo WRF tiene el efecto de ocasionar una disminución significativa en el ciclo anual de la lluvia de la ciudad de Guatemala (ubicada a sotavento de la dirección de los vientos del este). Según la figura 13 las

disminuciones llegan hasta un 50% en meses como julio y setiembre. Esto significa que el veranillo o canícula sería más intenso que en el clima actual, incluso se podría interpretar que se extendería a setiembre.

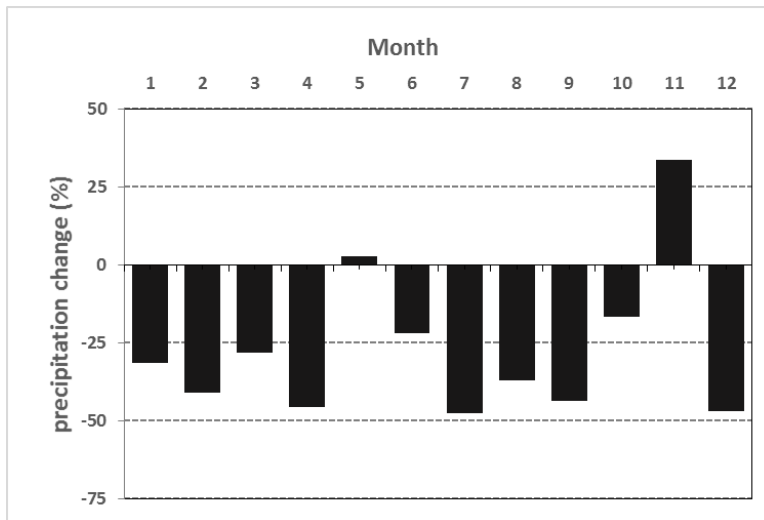
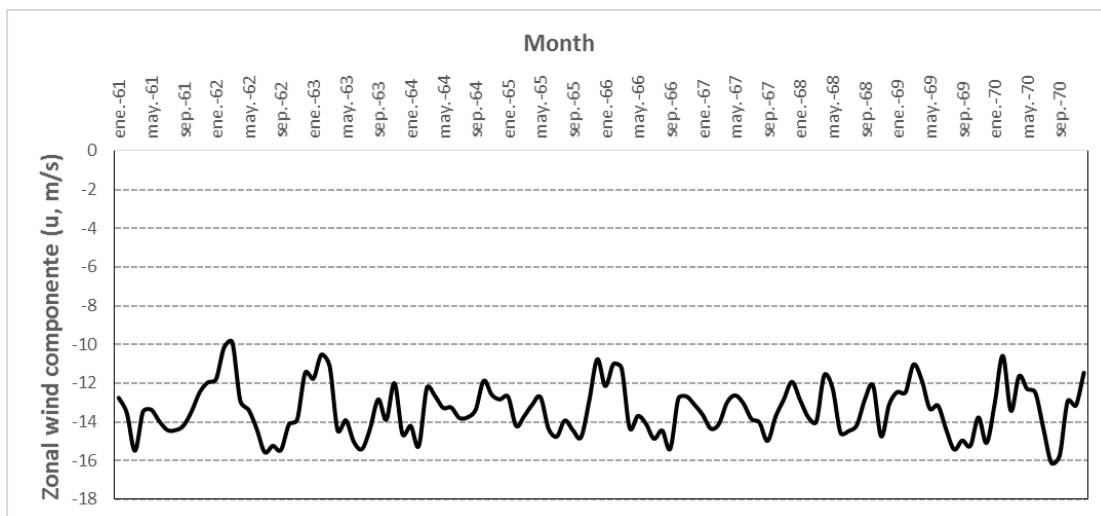


Figura 13. Cambio entre el escenario futuro (2061-2070) y el de línea base (2011-2020) de la lluvia en la ciudad de Guatemala. Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4 y el RCP8.5.



REFERENCIAS

Mora, I. & J.A. Amador. 2000. El ENOS, el IOS y la corriente en chorro de bajo nivel en el oeste del Caribe. *Top. Meteor. Oceanogr.* 7: 1–20. Available at the Instituto Meteorológico Nacional. (<http://www.imn.ac.cr/publicaciones/index.html>), San José, Costa Rica.

Chunzai Wang, 2007. Variability of the Caribbean Low-Level Jet and its relations to climate. *Clim. Dyn* (2007) 29:411–422.

- Muñoz, E., Busalacchi, A.J., Nigam, S. and Ruiz-Barradas, A., 2007. Winter and summer structure of the Caribbean Low-level Jet. *Journal of Climate*, 21, 1260–1276.
- Amador, J.A., 2008. The Intra-Americas Sea Low-level Jet, overview and future research. *Annals of the New York Academy of Science*, 1146, 153–188. doi: 10.1196/annals.1446.012
- Amador, J.A. and Magaña, V.O., 1999. Dynamics of the low level jet over the Caribbean Sea. In: *Preprints, 23rd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology*. American Meteorological Society, Dallas, Texas, 868–869.
- Taylor MA, Enfield DB, Chen AA. 2002. The influence of the tropical Atlantic vs. the tropical Pacific on Caribbean Rainfall. *Journal of Geophysical Research* 107(c9).
- Campbell JD, Taylor MA, Stephenson TS, Watson RA, Whyte FS. 2010. Future climate of the Caribbean from a regional climate model. *International Journal of Climatology* 31: 1866–1878.
- Castro DM, da Rocha RP, Benzanilla-Morlot A, Alvarez-Escudero L, Reyes-Fernandez JP, Silva-Vidal Y, Arritt RW. 2006. Sensitivity studies of the RegCM3 simulation of summer precipitation, temperature and local wind field in the Caribbean region. *Theoretical and Applied Climatology* 86: 5–22.
- Diro, G.T., Rauscher, S.A., Giorgi, F. and Tompkins, A.M. (2012) Sensitivity of Seasonal Climate and Diurnal Precipitation over Central America to Land and Sea Surface Schemes in RegCM4. *Climate Research*, 52, 31-48.
- Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, de Vries B, Fenhann J, Gaffin S, Gregory K, Grubler A, Jung TY, Kram T, La Rovere EL, Michaelis L, Mori S, Morita T, Pepper W, Pitcher H, Price L, Raihi K, Roehrl A, Rogner HH, Sankovski A, Schlesinger M, Shukla P, Smith S, Swart R, van Rooijen S, Victor N, Dadi Z. 2000. *IPCC Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press: Cambridge and New York.
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J. and Rose, S.K., 2011. The Representative Concentration Pathways: An Overview. *Climatic Change*, 109 (1-2), 5-31.
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Duda, M.G., Huang, X-Y., Wang, W. and Powers, J.G. (2008) A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR, 113 p.
- Gent, P.R., Danabasoglu, G., Donner, L.J., Holland, M.M., Hunke, E.C., Jayne, S.R., Lawrence, D.M., Neale, R.B., Rasch, P.J., Vertenstein, M., Worley, P.H., Yang, Z.-L. and Zhang, M. (2011) The Community Climate System Model Version 4. *Journal of Climate*, 24, 4973-4991.
- Oglesby, R. , Rowe, C. , Grunwaldt, A. , Ferreira, I. , Ruiz, F. , Campbell, J. , Alvarado, L. , Argenal, F. , Olmedo, B. , del Castillo, A. , Lopez, P. , Matos, E. , Nava, Y. , Perez, C. and Perez, J. (2016) A High-Resolution Modeling Strategy to Assess Impacts of Climate Change for Mesoamerica and the Caribbean. *American Journal of Climate Change*, 5, 202-228.

Working Group 3: Mountain Precipitation and Glaciers

Marcos Andrade, Alan Llacza

This Working Group focuses on precipitation in the very mountainous terrain that comprises much of the region. In Central America, this is primarily rainfall, but in the northern Andes of Bolivia, Peru, and Ecuador snowfall and the resultant impacts on mountain glaciers is also extremely important. At least initially the group is concentrating on Bolivia (and surrounding regions) because of the availability of a catalog of long and relevant simulations with WRF.

Contents: Workshop presentation by Marcos Andrade and Alan Llacza

Climate change in the Central Altiplano

Marcos Andrade: Universidad Mayor de San Andres

Alan Llacza: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Resultados de un modelo regional de alta resolución espacial para la evaluación de posibles cambios del clima en los Andes centrales.

Índice

1. Introducción
2. Datos utilizados
3. Metodología
4. Resultados y discusión
5. Conclusiones
6. Bibliografía
7. Anexos

NOTA: En el presente estudio no se considera los glaciares debido a que no hay información confiable de precipitación y/o no se dispone de pocos años para alturas mayores a 4500 msnm

2. Datos utilizados

2.1. Modelo regional WRF	[UNL]
2.2. Datos de superficie de precipitación y temperatura	[MARCOS]
2.3. Datos en malla para precipitación (PISCO) y temperatura (AgMERRA).	[ALAN]
2.4. Datos de viento del reanálisis ERA-Interim.	[ALAN]

3. Metodología

3.1. Validación a escala mensual [1981-2010]

3.1.1. Selección del área de estudio (proyecto DECADE, características topográficas, etc.)	[MARCOS]
3.1.2. Diagramas de dispersión de la precipitación y temperatura [Observado y WRF-UNL]	[MARCOS]
3.1.3. Evolución anual de las diferencias mensuales.	[MARCOS]
3.1.4. Mapas de las diferencias climáticas mensuales y/o trimestrales [PISCO/AgMERRA y WRF-UNL].	[ALAN]
3.1.4. Mapas de diferencias de la climatología de viento [Viento zonal a 200hPa]	[ALAN]
3.1.5. Mapas de la humedad (por decidir) -> Mejor convergencia humedad	

3.2. Cambios a futuro [RCP 8.5]

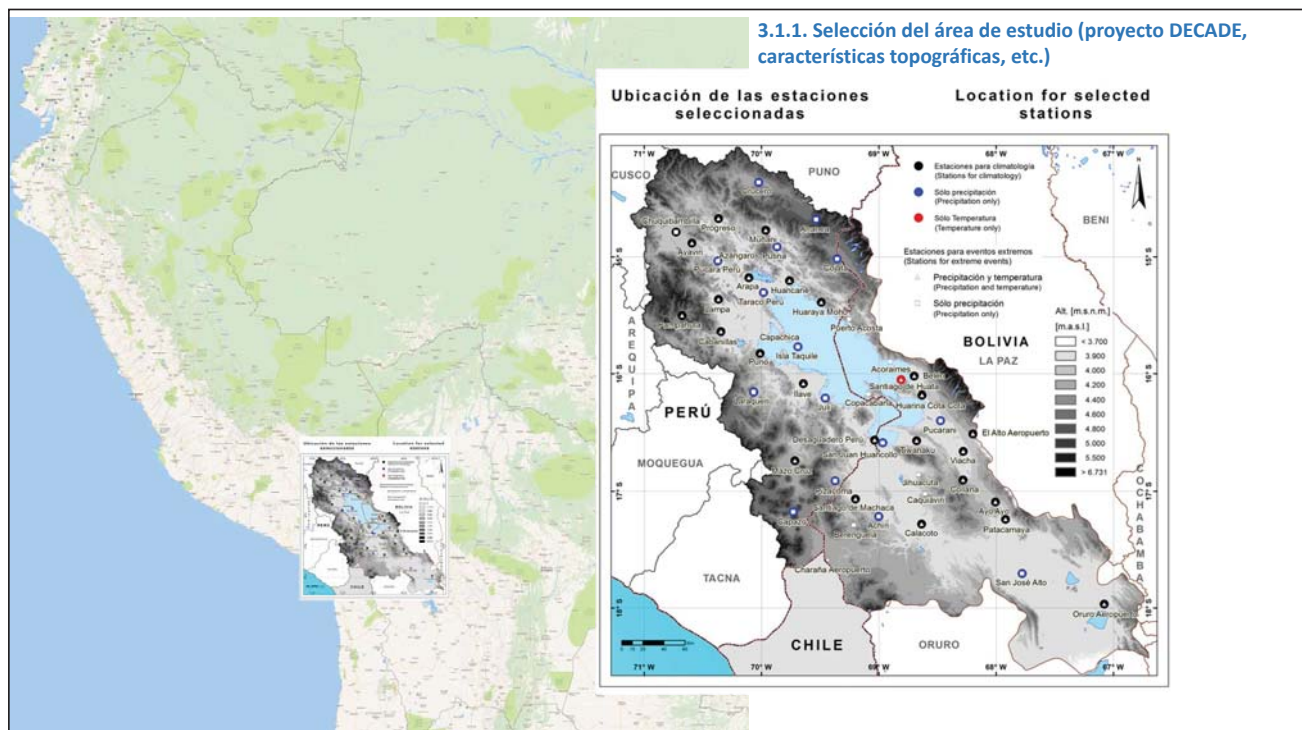
3.2.1. Mapas trimestrales de los cambios de precipitación y temperatura [con significancia estadística]	[ALAN]
3.2.2. Evolución anual de los cambios a futuros.	[MARCOS]

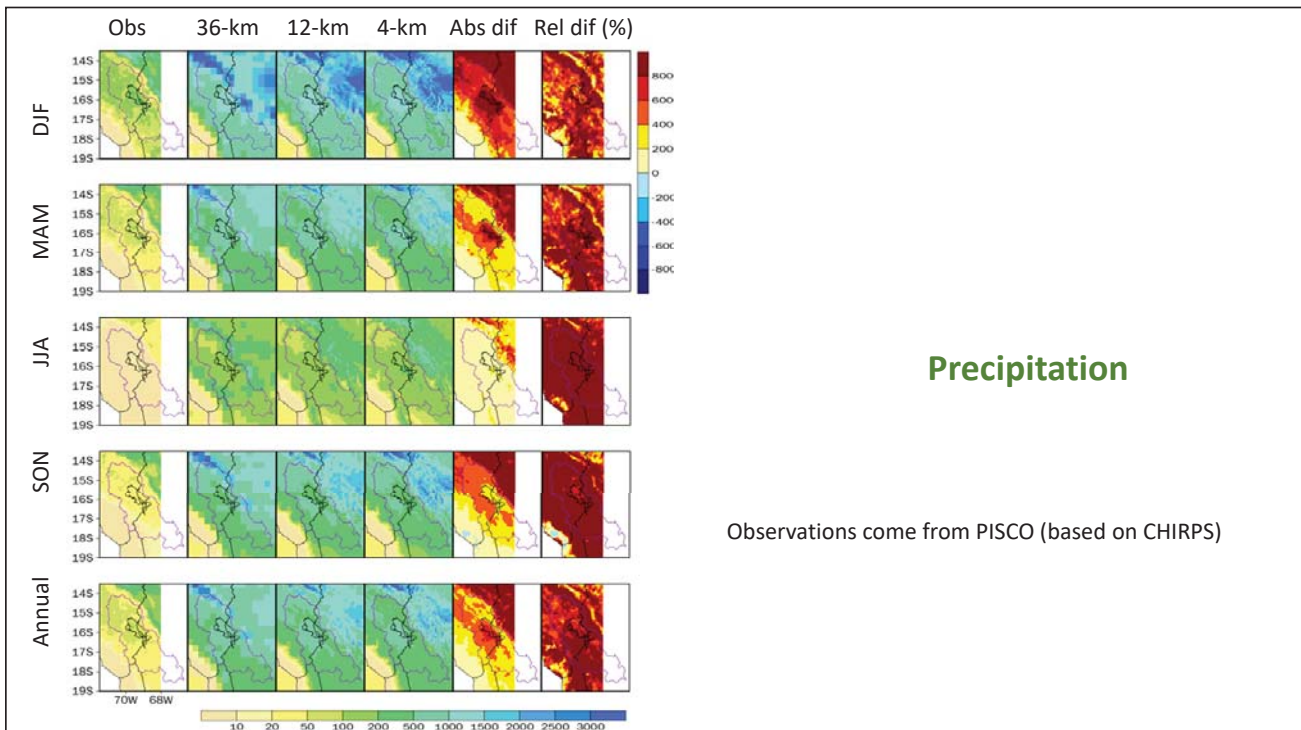
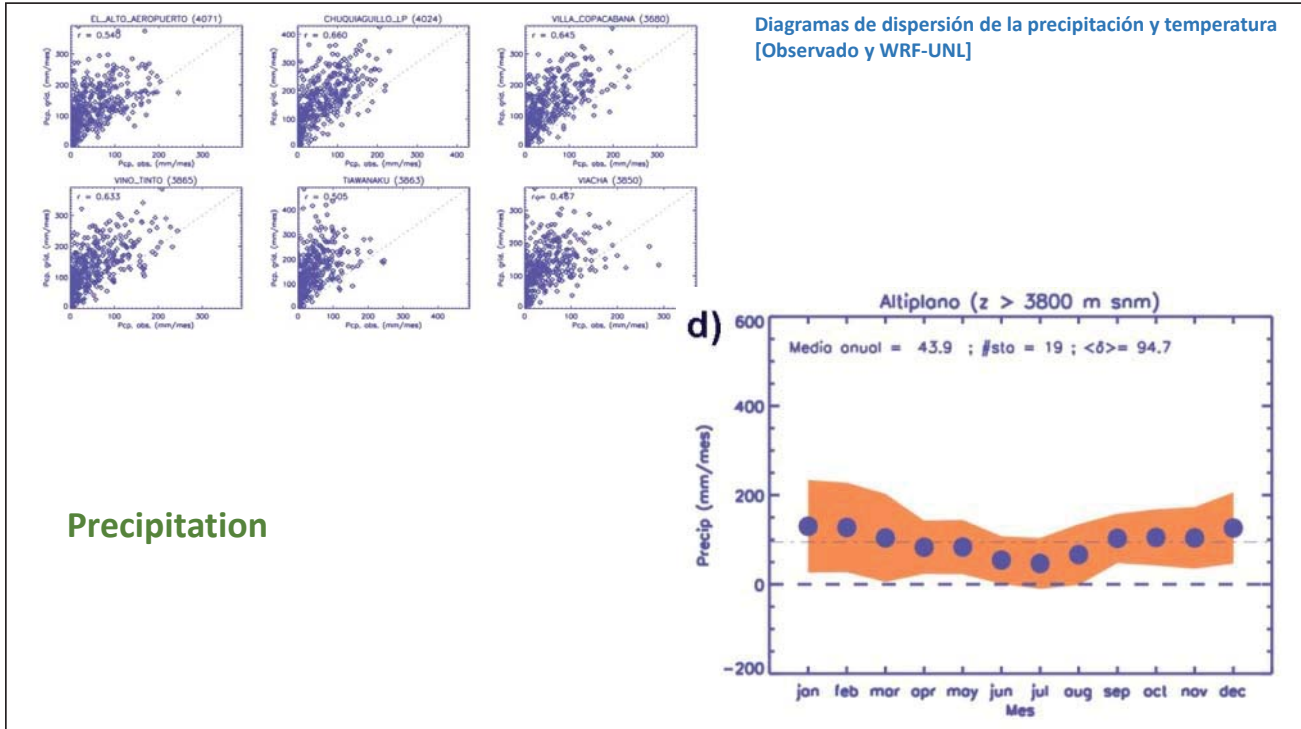
4. Resultados y discusión

- 4.1. Resultados de la validación.
- 4.2. Diferencias entre modelos y escenarios de emisión.
- 4.3. Incertidumbres “total”

5. Anexos

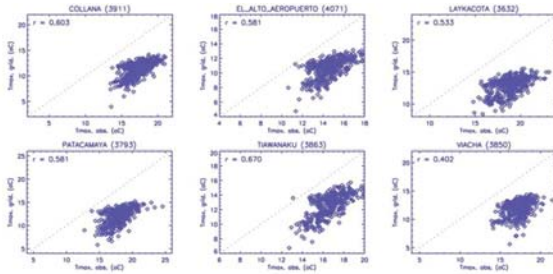
Evaluación de cambios para RCP2.6 y RCP 4.5 [Incertidumbre].



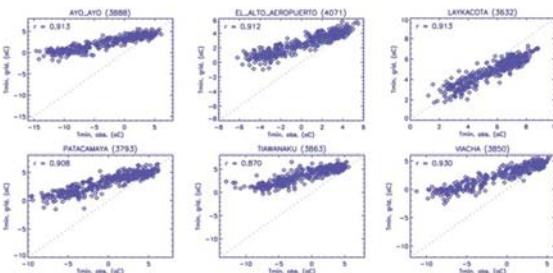


Temperature

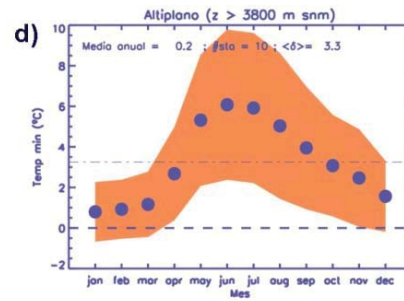
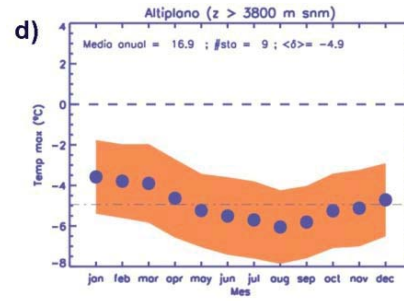
Tmax



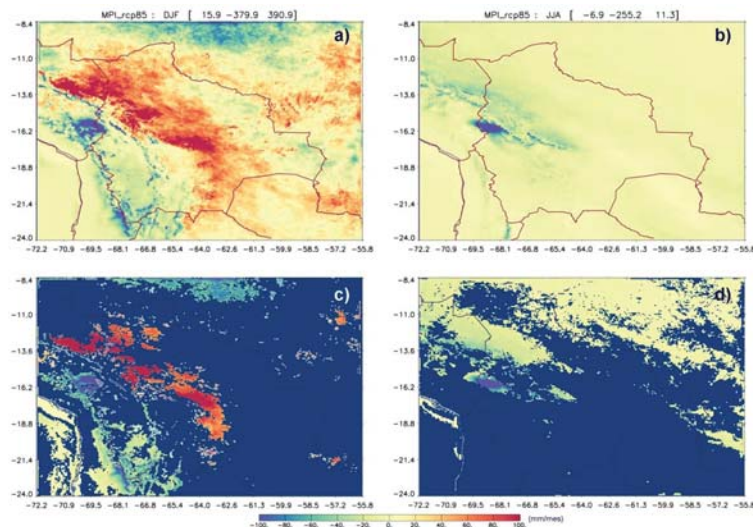
Tmin



Diagramas de dispersión de la precipitación y temperatura [Observado y WRF-UNL]

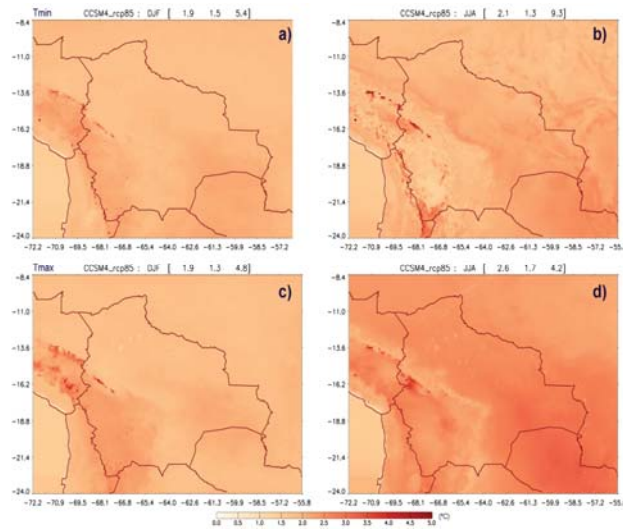


Projected changes in the region



Precipitation

Projected changes in the region



Temperature

Are the changes statistically significant?

Because different models have different projections and also different characteristics (internal variability for instance) we would like to scale the results:

$$z = \frac{x_{fut} - x_{pres}}{\sigma_{pres}} = \frac{\Delta x}{\sigma_{pres}}$$

For the time being a simple way of looking at this new variable would be:

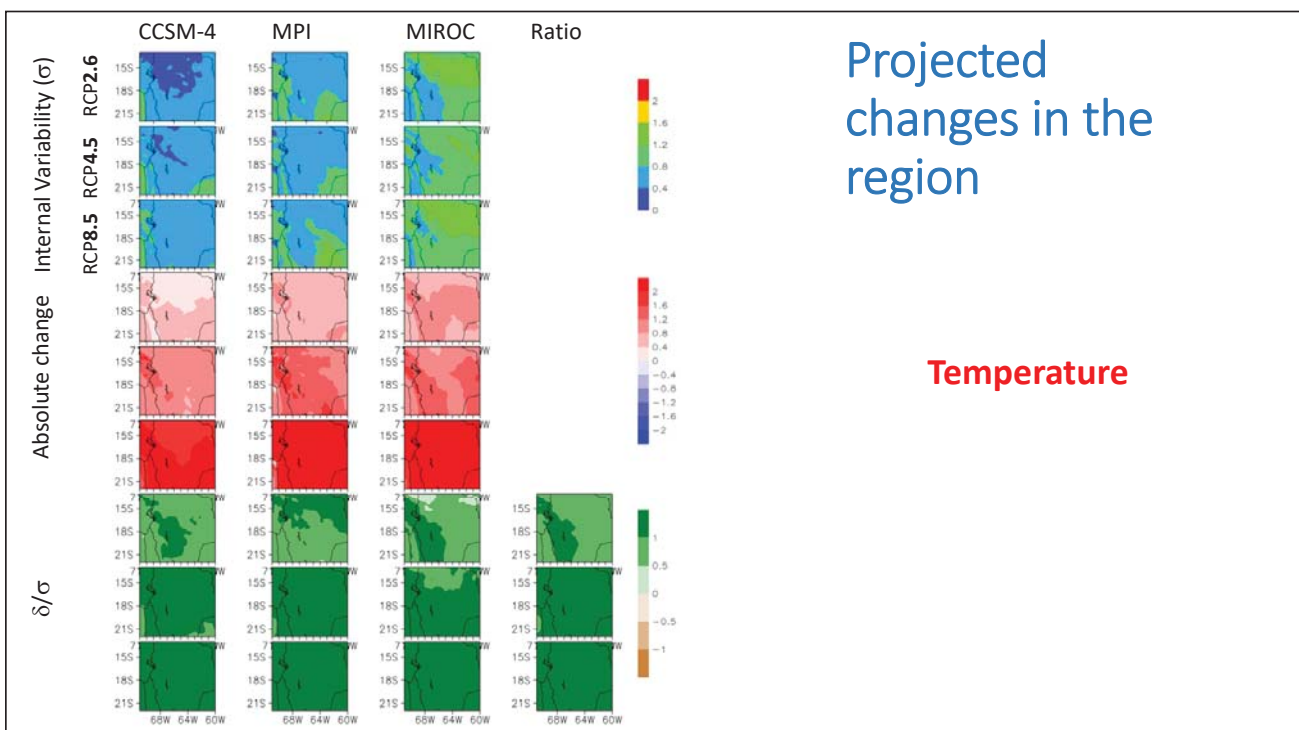
if $|z| > 1$ it is likely that the change is significant,
Otherwise the change is NOT significant

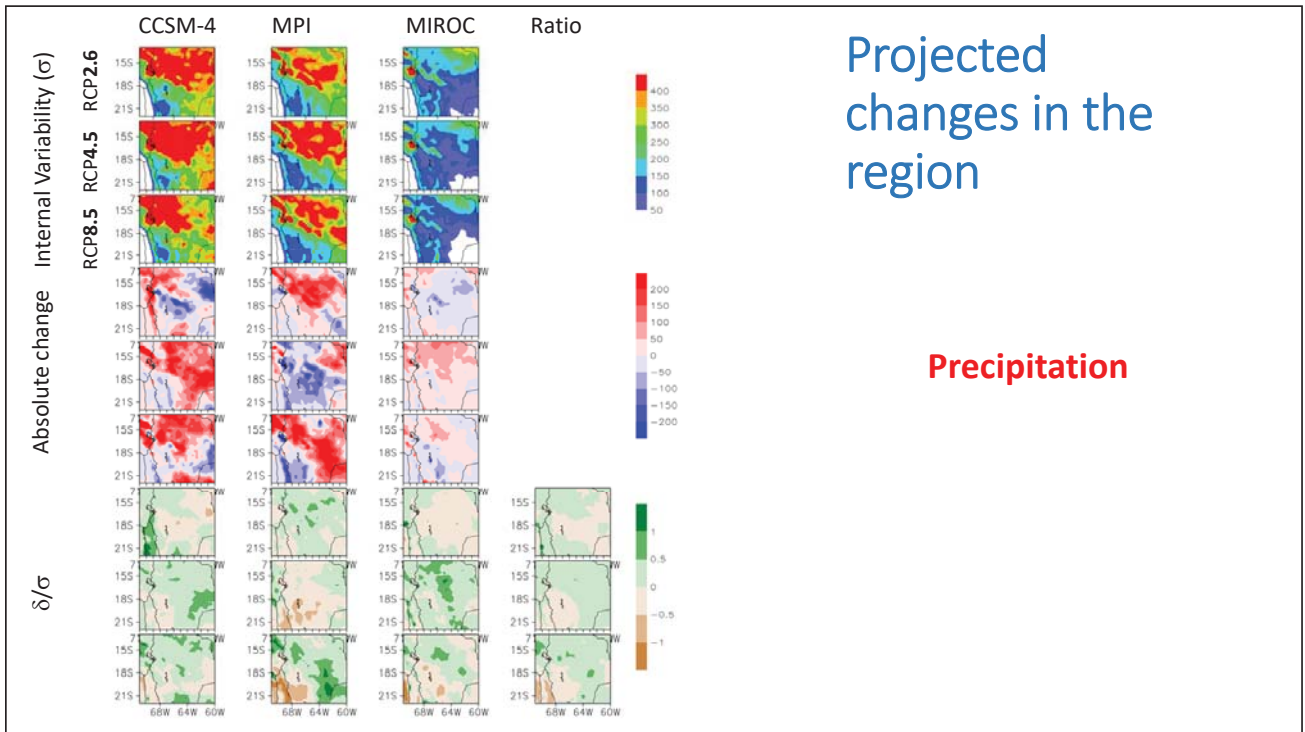
Are the changes statistically significant?

We want to report first the possible **sign** of the change. If all three models show positive or negative changes, then the sign is clear, but if two show positive and one negative or viceversa, then

we compute the mean of z for all models and then check if this mean value is greater than 1. If yes we can report the sign as positive or negative, otherwise we can say nothing

We need to have a better statistic framework for this procedure but this could give us an idea in the meantime

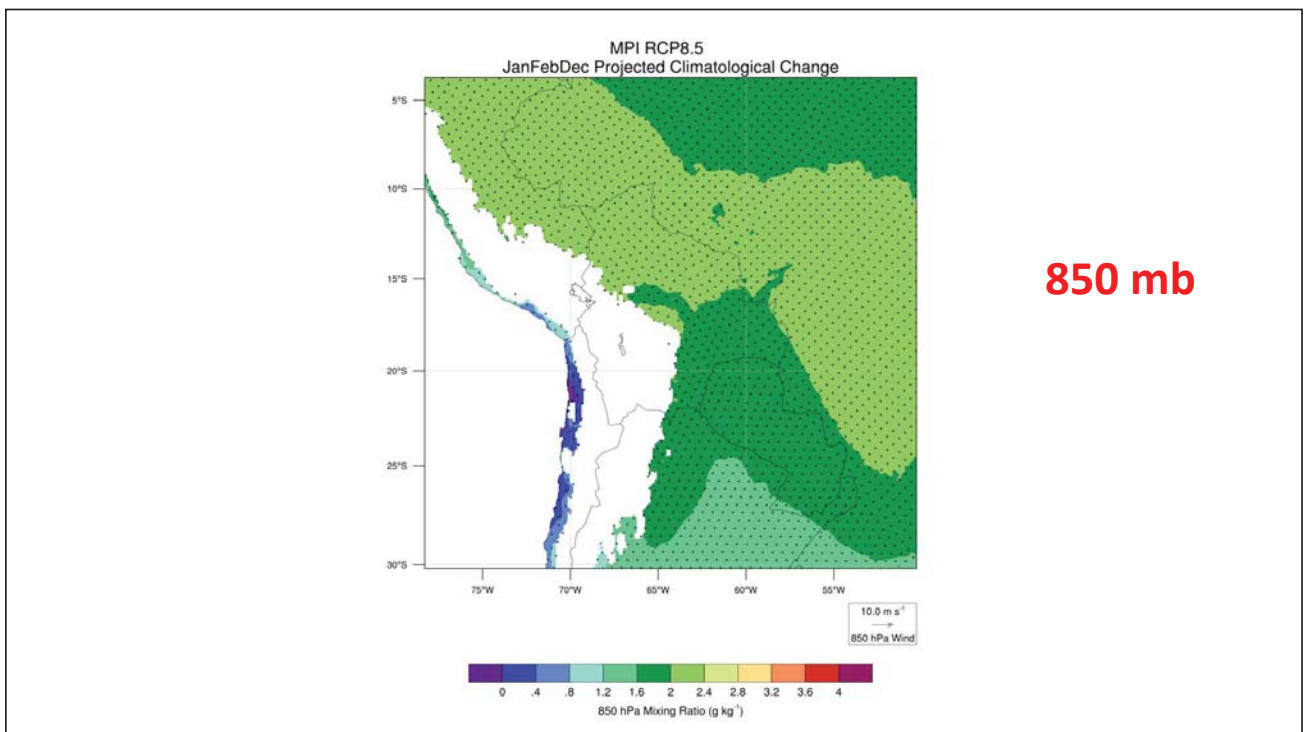
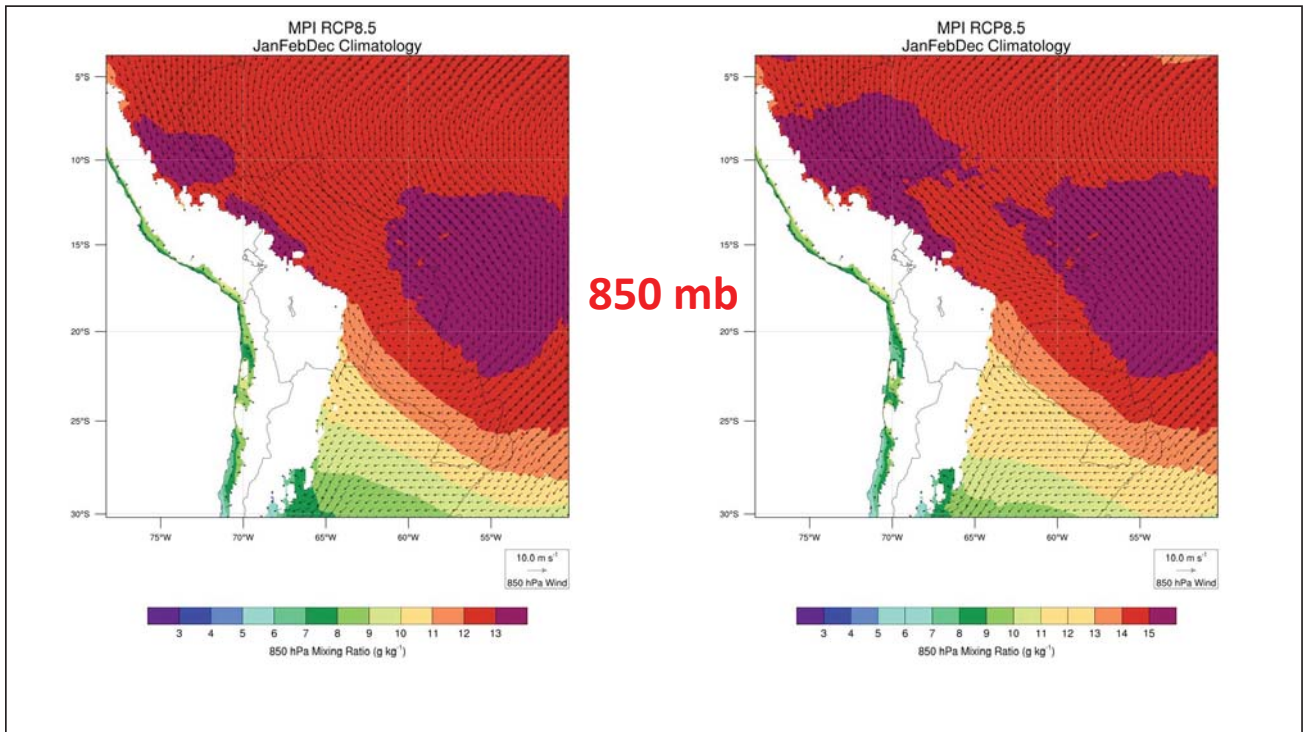


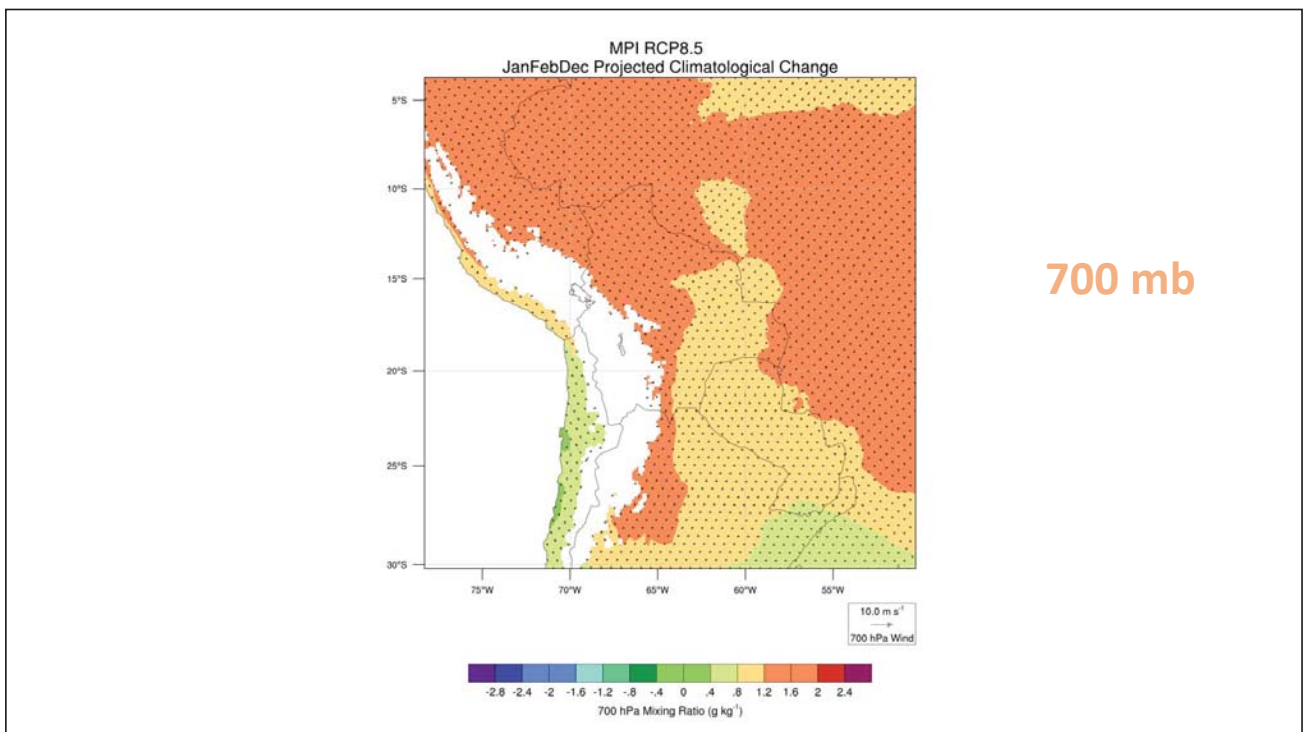
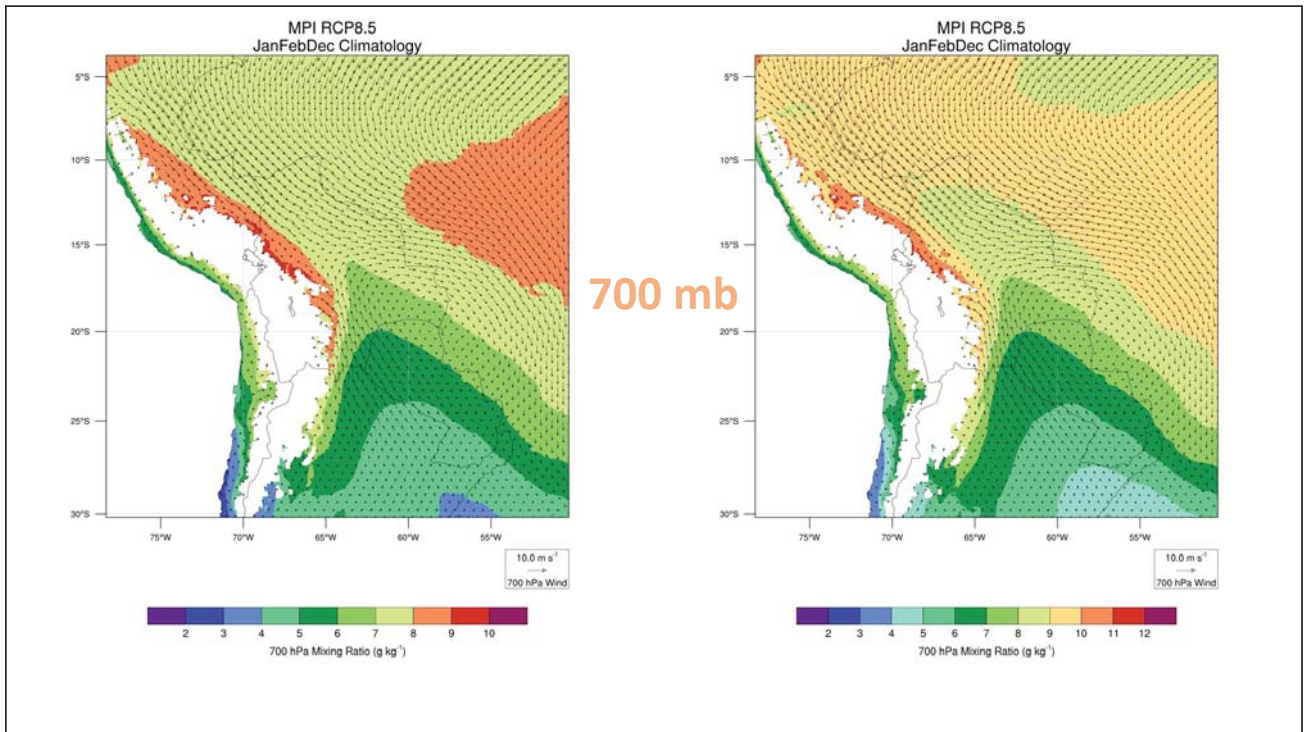


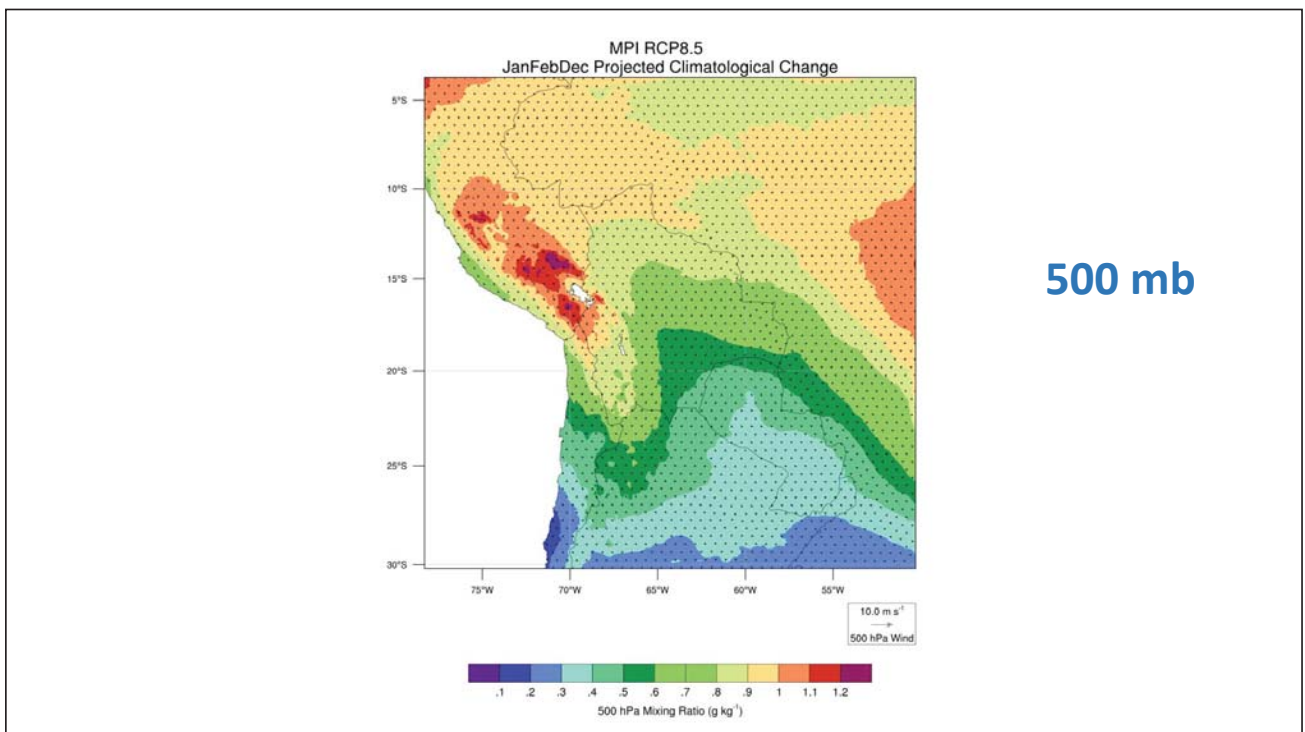
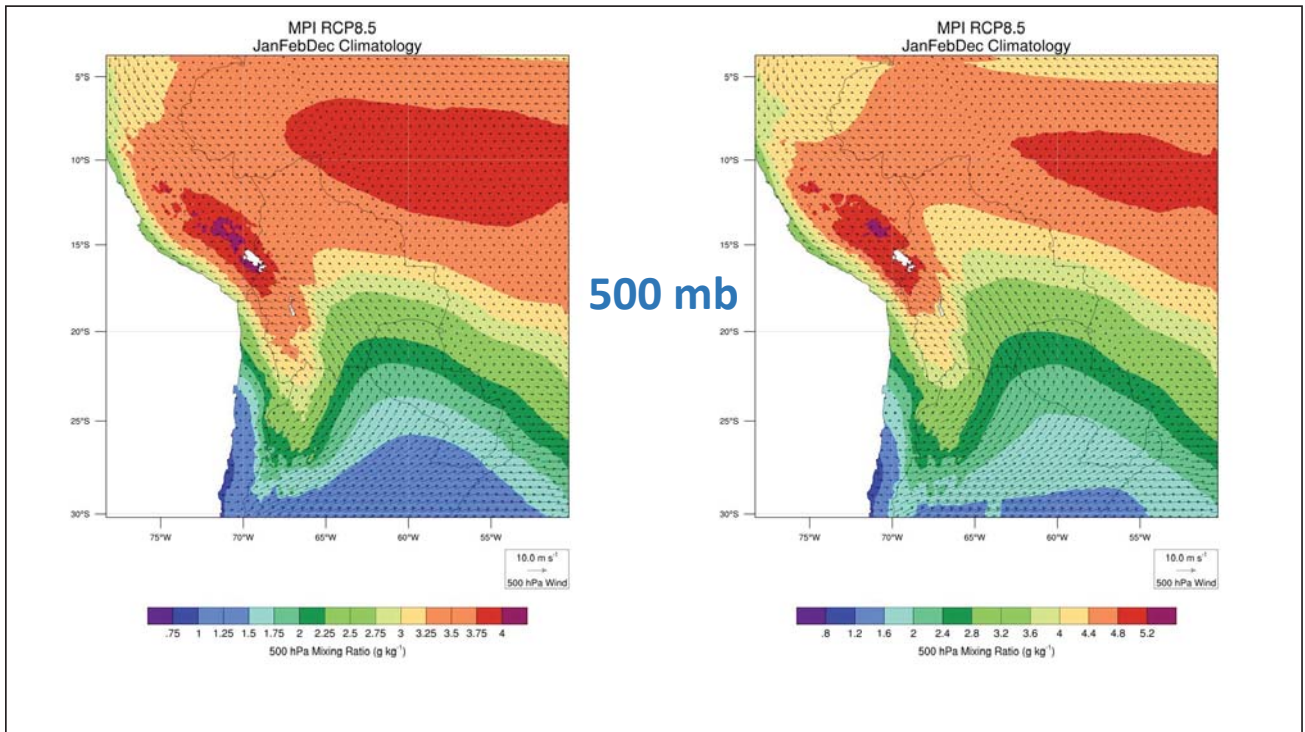
Projected changes in the region

Precipitation

Sugerencias?







Diagramas de dispersión de la precipitación y temperatura
[Observado y WRF-UNL]

MODELO	Lago Norte			Lago Sur			Oruro			Potosí			
	δ	Media Pres	Cambio %	δ	Media Pres	Cambio %	δ	Media Pres	Cambio %	δ	Media Pres	Cambio %	
MPI	-33.7	253.3	-13.3	-40.4	223.8	-18.1	-11.5	91.6	-12.6	-16.6	78.5	-21.1	-16.3
MIROC	-46.9	187	-25.1	-19.6	120	-16.3	-12.9	56	-23.0	-20.5	80.2	-25.6	-22.5
CCSM4	-37	393.8	-9.4	-24.8	283.4	-8.8	-10.1	136.9	-7.4	-3	139.8	-2.1	-6.9
			-15.9			-14.4			-14.3			-16.3	

Appendix D: Climate Portal evaluation results

Workshop Exercises

The following is a set of exercises for the 5 applications included in the Climate Portal along with questions about the applications and the corresponding sections of the User Guide. The questions (in black) are followed by the responses (in red) with separate bullets for each participant's response, if not left blank. Developer comments are interspersed (in green), as appropriate.

Overview

1. What parts of this section were unclear to you?

- OK!
- Model year? The climate of any specific year have no sense!! The offset datasets, why is it important? Allowing pop-ups in Firefox (no content option in the left-side panel)
- How is the summer climatology calculated? What period is used for “Offset”? Why when you select annual, you can also select another month? For the precipitation, is the average or accumulation at monthly or annual scale calculated?
- no one
- none
- I think it is necessary to clear out the concept of “reanalysis” and which were the database used for the reanalysis

2. What information should be added?

- OK!
- URL? rccdp.unl.edu; For which Firefox version is working well (the manual); some link for reanalysis description (NNRP)
- all is OK
- in this section, nothing else
- in the case of wind speed surface parameter, it is necessary to define how they are registered or for which averaging time are related (means [1 hr or 10 min] or gusts). The same for atmospheric wind parameter, and define in this case what does “Level (hPa)” means
- Read the manual first! (maybe as the first thing)

3. Is the information in the tables adequate? Necessary? Understandable?

- Yes!
- Yes
- adequate
- instruction to set up browser are correct and clear
- Yes, they are OK

Preliminaries

1. Make a folder on your desktop to store the images you create during the testing.
 - OK
2. As explained in the Overview, the Climate Portal applications make use of pop-ups to display the graphs created by the User, open Help menus, and display ancillary maps. Before you start using these applications, you will need to set your browser to allow pop-ups from <http://rccdp.unl.edu>. Instructions for the two most popular browsers are given in the Overview.
 - Spanish version?
 - may vary a bit, according to the version
 - works good
 - OK, it works

MapMaker

1. Make a map of historical climatological temperature over Panama for the Fall season (September, October, November). Make a PNG image and try some of the plot modifications; when you are satisfied with your results, save a copy into the testing folder you created. Note, in the space below, any problems, issues or unexpected results you encountered.

- It doesn't work for Honduras d01 Historical ERA-I Climatology [*n.b.*, Honduran group did not save results for d01, as noted in the manual]
- No problems/issues
- when changing the default interval 1 to 2, the color bar is divided, but the colors are kept every 2 values
- with right button of mouse I tried to save the image choosing "save as" and it didn't work using Chrome [*n.b.*, this is a known issue with some versions of Chrome, as noted in the manual]
- latitude, longitude adjustment (check); scale (check)
- it works
- it can be convenient to clear-out that if you choose less of 12 months and chose the annual option the generated map will be average of annual data
- "Winter wrap" only in NH (thanks for fixing!); how to clear previous wind selection

2. Map 700 hPa geopotential height for January over Bolivia from model year 61 (*i.e.*, the first year of the “mid-century” run) using the MPI simulations for RCP8.5 (*i.e.*, “MPI_rcp85” scenario). Overlay with wind barbs at the same height. Make an SVG image and try some of the plot modifications; when you are satisfied with your results, save a copy into the testing folder you created. Note, in the space below, any problems, issues or unexpected results you encountered.

- OK!
- No problems/issues
- no problem found
- unselect parameter plot (fill, line) [*n.b.*, user can ctrl-click on radio buttons to unselect]
- works good
- no problem

3. What parts of this section were unclear to you?

- I think it is clear
- how to save in SVG
- No one
- all clear
- it is OK

4. What information should be added?

- Comparison between seasonal cycle mid-century -- vs -- Present-day; include variability (box-plot); I saw it in Indices session - OK
- Derived variables (shear, divergence)
- period for climatologies
- I think all is fine
- it can be convenient to mention each of the set of parameters where and what for are used in the WRF, or at least put the reference where we can find this information (in the reference, indicate the link for the User’s Guide of WRF)

5. Are the maps produced self-explanatory and labeled adequately? If not what explanation is needed in the manual? What additional labeling is needed?

- Labels can be done by the user, i.e. let the user to modify it
- Yes, they are self-explanatory
- Now is OK
- In general, where you have no choice but one, it would help if the user is given no option (the only one goes by default automatically); Maybe for the graphs for the future it would be good to have in the label the name of the Run (Present or Future) [*n.b.*, added]; It does not make sense to choose a particular year for Future runs

Verify

1. Make a scatterplot of observed and modeled temperature for Salina Cruz, Oaxaca, Mexico (located on the western end of the Gulf of Tehuantepec, on the Pacific Ocean at the narrowest part of southern Mexico). Make a PNG image and try some of the plot modifications; when you are satisfied with your results, save a copy into the testing folder you created. Note, in the space below, any problems, issues or unexpected results you encountered.
 - OK
 - no problem found
 - in the plot the symbol of the legend for a domain can be confused with an outlier. Maybe a frame can help.
 - the legends on the map should be inside a box, because they are confused with the plotted points
 - make a uniform titles for GSOD and GHCN options; I couldn't get the resume table to pass it to a power point file [*n.b.*, copy-and-paste works, some reformatting may be necessary]
2. Make a time series plot of observed and modeled precipitation for Guantanamo Bay Naval Air Station, Cuba (located on the southern coast at the mouth of the large bay near the eastern end of the island). Make a PDF image and try some of the plot modifications; when you are satisfied with your results, save a copy into the testing folder you created. Note, in the space below, any problems, issues or unexpected results you encountered.
 - I could create PDF file, but I could not save in a carpet. I tried to download and even I tried to save making right-button mouse and appear in a pop-up menu with "save as" option, but after giving click there, do not appear box-dialog to give a name and a carpet to save the file [*n.b.*, this is a known issue with some versions of Chrome, as noted in the manual]
 - No problems
 - "save as" not working; solved, sending to print as a PDF
 - works good
 - Guantanamo: Lat:20.02, Long: -75.12, to get data, OK; No problems

3. What parts of this section were unclear to you?

- none
- It is OK

4. What information should be added?

- it is OK
- is OK

5. Are the graphs and tables produced self-explanatory and labeled adequately? If not what explanation is needed in the manual? What additional labeling is needed?

- Yes, it is
- it is OK

TimeSeries

1. Make an annual climatology of observed (GSOD) and modeled temperature for Salina Cruz, Oaxaca, Mexico. Select both Historical and CCSM4_rcp85 scenarios. Make a PNG image and smooth the time series with a single pass of a 15-day running average; when you are satisfied with your results, save a copy into the testing folder you created. Note, in the space below, any problems, issues or unexpected results you encountered.

- OK!
- No problems
- country data not calculated in a rectangle area [*n.b.*, this was the result of a dataset that was not updated and was corrected during the workshop]
- if I choose daily or monthly plots, I got the same results. Also, how I get the annual climatology? it means over a year period? [*n.b.*, monthly time series are currently not available, but are being implemented based on participant requests at the workshop]
- it does not reset the number of passes displayed on the screen

2. Make an annual climatology of observed (GSOD) and modeled precipitation for a rectangular region encompassing El Salvador. Make two SVG images; first, use a single pass of a 15-day running average to smooth the data; then, use a 2-pass, 7-day smoother. When you are satisfied with your results, save copies of each plot into the testing folder you created. Note, in the space below, any problems, issues or unexpected results you encountered.

- OK
- No problems
- no issues found
- It did not work (San Salvador lat:13.69, long: -89.22) for GSOD; it works for GHCN (daily or monthly is the same?); the Time Series is for a point optinon but not for a rectangular region? [*n.b.*, unable to reproduce this problem]

3. What parts of this section were unclear to you?
 - none
 - did not work for all the cases required; it did not work for PNG option

4. What information should be added?
 - maybe daily data [*n.b.*, Time Series uses daily data only]
 - it is OK

5. Are the graphs produced self-explanatory and labeled adequately? If not what explanation is needed in the manual? What additional labeling is needed?
 - Title left in Time Series
 - Yes, it is
 - It is OK

Indices

1. Compute and plot observed (GHCN) and modeled TNx (maximum of daily minimum temperature) for Bogota/Eldorado, Colombia. Select both Historical and CCSM4_rcp85 scenarios. Make a PNG image; when you are satisfied with your results, save a copy into the testing folder you created. Note, in the space below, any problems, issues or unexpected results you encountered.
 - OK!
 - I don't have any problems with that
 - no issues found
 - El Dorado/Bogota (lat: 4.69, long: -74.07) No problems
2. Compute and plot monthly observed (GSOD) and modeled Rx5day (maximum 5-day precipitation) for Daniel Oduber Quiros International Airport in Liberia, Costa Rica. Select both Historical and CCSM4_rcp85 scenarios. Make a PNG image; when you are satisfied with your results, save a copy into the testing folder you created. Note, in the space below, any problems, issues or unexpected results you encountered.
 - OK!
 - no observed GSOD data for that station or indices not calculated with that source of data [*n.b.*, computation of standard climate indices places strict limits on amount of missing data allowed; this station has too many missing days in this dataset; if GHCN dataset is used, observed indices are computed]
 - D.O. Quiros Int. Airport, Liberia, CR (Lat: 10.59, Long: -85.54) OK, no problem
 - It is difficult to find a specific station
3. What parts of this section were unclear to you?
 - OK
 - none
 - it it OK

4. What information should be added?
 - I'd like something like this comparison between seasonal cycles simulated and observed, but including seasonal cycle from future climate corrected for example with change factor methodology or other
 - I will be interesting to have an intensity index to know about behavior of tropical cyclones

5. Are the graphs produced self-explanatory and labeled adequately? If not what explanation is needed in the manual? What additional labeling is needed?
 - Yes, it is
 - It is OK

Download

1. Download a netCDF file of data from the Bolivia project for domain 3 that will provide the expected climate change over the next 60 years based on the MIROC RCP8.5 scenario. Include surface temperature, precipitation, and mean sea-level pressure, as well as geopotential height at all available levels. Use ncdump to examine the contents of the file. Were all the selected variables and levels included?
 - daily or monthly? I did exercise with monthly [*n.b.*, climate change results are only available at monthly time resolution]
 - yes
 - no issues found
 - I could not open the file
 - To choose different levels, add a box to select “All” [*n.b.*, the default is all levels, will clarify]
2. Repeat part 1, but for only a single point somewhere near Lake Titicaca and download in CSV format. Load the data into LibreOffice Calc or Excel. Were all the selected variables and levels included?
 - daily or monthly? I did exercise with monthly [*n.b.*, climate change results are only available at monthly time resolution]
 - no issues found
 - yes, all variables are included
 - Lago Titicaca (Lat: -15.91, Long: -69.34) OK
3. What parts of this section were unclear to you?
 - I could not create CSV in point 2. Always netCDF [*n.b.*, currently, CSV is only available if only a single point (not an area) is selected; the CSV format does not provide for separate “sheets” as, for example, in Excel, that would allow multiple variables to be output over a geographic area]
 - none
 - OK

4. What information should be added?

- I think all is OK
- OK

5. Are the downloaded files self-explanatory and labeled adequately? If not what explanation is needed in the manual? What additional labeling is needed?

- Yes, it is
- OK