

Fiabilidad de los modelos del CMIP5 para la cuenca del río Usumacinta bajo el método REA

CMIP5 Models Reliability for the Usumacinta Basin Driven by the REA Method

Mercedes Andrade-Velázquez, CONACYT-Centro de Cambio Global y la Sustentabilidad
Martín J. Montero-Martínez, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

RESUMEN. Las proyecciones de cambio climático apuntan, de manera general para México, a un incremento de temperatura y una disminución de la precipitación. Sin embargo, para llevar a cabo estudios de impacto a nivel regional es necesario aumentar la resolución espacial de estas proyecciones en algo que se conoce como reducción de escala. En este trabajo se presenta la aplicación del método Reliability Ensemble Averaging (REA) en la cuenca del río Usumacinta, utilizándolo como método de reducción de escala para las proyecciones de temperatura y precipitación con los escenarios generados por el Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 5. El REA permite identificar modelos climáticos globales que cuentan con una mayor fiabilidad en una región de estudio dada. De esta forma, el presente estudio presenta un análisis cualitativo del comportamiento del factor de fiabilidad para los modelos climáticos globales en la región de estudio para tres Trayectorias Representativas de Concentración (RCP, por sus siglas en inglés). Los resultados muestran que no hay un solo modelo con alta fiabilidad para toda la región de estudio, sino que la fiabilidad varía tanto espacial como temporalmente. La fiabilidad se determina para las variables de temperatura máxima y precipitación, para la primera, se mantiene la fiabilidad del modelo por RCP para los dos periodos de tiempo, mientras que para la precipitación no. Los resultados muestran que no hay un solo modelo con alta fiabilidad para toda la región de estudio, sino que la fiabilidad varía tanto espacial como temporalmente.

PALABRAS CLAVE: cambio climático, escenarios, modelos acoplados atmósfera-océano, REA, Usumacinta.

ABSTRACT. Climate change projections point, generally for Mexico, to an increase in temperature and a decrease in precipitation. However, to carry out impact studies at a regional level it is necessary to increase the spatial resolution of these projections in what is known as downscaling. This paper shows the application of the Reliability Ensemble Averaging (REA) method in the Usumacinta River Basin, using it as a downscaling method for temperature and precipitation projections with the new scenarios generated by the Coupled Models Intercomparison Project Phase 5. The REA allows to identify global climate models with higher reliability in a given study region. Thus, this study presents a qualitative analysis of the behavior of the reliability factor for global climate models in the study region for three Representative Concentration Pathways (RCP). The reliability is determined for the variables of maximum temperature and precipitation, the results of the temperature variables show that the reliability of the model is maintained by RCP for the two periods of time, while for the precipitation that is not the case. The results show that there is not a single model with higher reliability for the entire study region, but that reliability varies both spatially and temporally. The reliability is determined for the variables of maximum temperature and precipitation, the results of the temperature variables show that the reliability of the model is maintained by RCP for the two periods of time, while for the precipitation that is not the case.

KEYWORDS: climate change, scenarios, atmosphere-ocean coupled general models, REA, Usumacinta

Introducción

Es una realidad que la temperatura superficial global continúa aumentando, registros de estos incrementos son reportados por los diferentes centros climáticos, ejemplo la NASA/NOAA (<https://go.nasa.gov/2016climate>), quienes muestran que el año 2016 ha sido el más caliente y en donde la anomalía de la temperatura es ya de 1°C con respecto al período base 1951-1980. De seguir con esta tendencia es muy probable que se alcancen los umbrales de las Trayectorias de Concentración Representativa (RCP por sus siglas en inglés; Moss y col., 2008) menos extremos, RCP 4.5 y RCP 6, con incrementos de hasta 1.4°C y 1.3°C para mediados de siglo y de 1.8°C y 2.2°C para el 2100 respectivamente a nivel global (IPCC 2013). En el caso del RCP 8.5, el cual contiene el forzante radiativo mayor, los umbrales son 2.0 °C y 3.7°C respectivamente.

Estos escenarios son generados bajo el Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 5 (CMIP5 por sus siglas en inglés), el cual comprende a más de 50 modelos de circulación general acoplados océano-atmósfera (AOCGM por sus siglas en inglés) y 20 grupos de modelación (Taylor y col., 2012). Estos modelos son desarrollados con la finalidad de describir el clima global del sistema Tierra, los cuales cuentan con diferentes componentes, como son atmósfera, aerosoles, hielo marino y oceánico, vegetación dinámica, ciclo del carbono (IPCC, 2001, 2013). Es por ello que son usados también para generar proyecciones bajo diferentes forzamientos, entre estos está el radiativo, el cual traduce las emisiones de gases de efecto invernadero concentradas en la atmósfera. Sin embargo, estos modelos constan de una resolución espacial de ~ 0.2° a 4°, donde los RCP no son de alta resolución (Taylor y col., 2012) por lo que usualmente no se emplean directamente en estudios regionales. Para estos casos, se emplean técnicas de reducción de escala, como son las técnicas dinámicas y estadísticas. Las técnicas dinámicas se caracterizan por usar modelos de mayor resolución espacial, pero de cobertura menor a la global, donde los AOCGM restringen las condiciones de frontera.

Por otro lado, las técnicas estadísticas generan las proyecciones climáticas mediante relaciones estadísticas entre componentes principales de mayor y menor escala de variables climáticas. Entre éstas, también se conoce el método de *Reliability Ensemble*

Averaging (REA; Giorgi y Mearns 2002, Tebaldi y col., 2005, Montero y col., 2010, Cavazos y col., 2013, Colorado-Ruiz y col., 2018). Este método cuenta con dos criterios para evaluar cada modelo empleado y genera las proyecciones mediante un ensamble de dichos modelos. Los criterios son conocidos como criterio de desempeño (parte histórica) y criterio de convergencia (parte futura), los cuáles se convolucionan para obtener la evaluación global del modelo por punto de malla a nivel regional, más adelante se detalla.

Para estudios de impactos de cambio climático en diferentes niveles espaciales y temporales se utilizan los resultados de las proyecciones de cambio climático generados por los AOCGM. Es por ello que resulta de mayor importancia contar con proyecciones de cambio de variables climáticas para corto, mediano y largo plazo, así como de conocer cuales es su fiabilidad.

En este trabajo se presenta un análisis cualitativo del comportamiento del factor de fiabilidad en las inmediaciones de la cuenca del río Usumacinta con la finalidad de detectar aquellas zonas en las que dicho factor sea significativamente más alto, lo cual quiere decir que exista mayor confianza en las proyecciones de los modelos. De esta forma, se presenta la metodología del estudio en la sección 2, los resultados generados en la sección 3; la discusión se presenta en la sección 4 y las conclusiones en la sección 5. La sección 6 corresponde a los agradecimientos y la sección 7 enlista las referencias.

2. Metodología

2.1 Datos y región de estudio

Las bases de datos utilizada para este estudio son cortesía del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. La Tabla 1 lista los AOCGM del CMIP5 empleados por Cavazos y col. (2013) bajo el método REA (Cavazos y col.; Colorado-Ruiz y col., 2018). Los datos cuentan con resolución original espacial ~ 2° x 2° (lat x lon), esto equivale a ~ 200 km x 200 km. El método REA permite alcanzar una resolución mayor, que en el presente caso corresponde a 0.5° x 0.5° (ver Colorado-Ruiz y col. para detalle). Las variables utilizadas para el presente estudio son la temperatura máxima (Tmx; de aquí en adelante), y la precipitación (Pr; de aquí en adelante). Los escenarios empleados bajo el REA, son RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5, los cuales se describen

en la Tabla 2. En el presente estudio se emplean los tres escenarios RCPs, arriba mencionados, donde la evolución del forzante radiativo, es una característica del escenario (Taylor y col. 2009), esto permite determinar si el tipo de escenario influye en la fiabilidad de las proyecciones del presente estudio. La resolución temporal de los datos es mensual y cubre los periodos de 2015-2039 y 2075-2099, conocidos como futuro cercano y lejano, respectivamente.

El presente estudio comprende la región de la cuenca del Río Usumacinta, ubicada en territorio mexicano, guatemalteco y belicense. En México, los estados que la comprenden son Tabasco, Chiapas y Campeche. Esta región se caracteriza por conte-

ner una riqueza en recursos naturales, como es su biodiversidad, además cuenta con un tercio del escurrimiento de agua a nivel nacional (INECC, 2018). La precipitación llega a alcanzar, en la parte fronteriza, los 1500 mm y hasta los 5000 mm, mientras que la temperatura va de 8 a 12 °C en la sierra y de 26 a 30 °C en las planicies (IMTA, 2017). En la región se presentan diferentes fenómenos hidrometeorológicos que producen la precipitación y que son afectados por modulares climáticos globales, así como por los efectos del calentamiento global, influyendo también en la temperatura regional (Andrade-Velázquez, 2017). Las actividades antropogénicas de la región que contribuyen al cambio climático son la ganadería, extracción de petróleo y gas a cielo abierto, quema de cobertura vegetal y/o su tala (IMTA, 2017). Aceves-Navarro y col. (2017) reportan la presencia de cambios en la temperatura y precipitación en la cuenca baja del Usumacinta, los cuales sugieren producirse por el cambio climático. Es por ello, y dada su importancia natural, que es necesario conocer cuál es la fiabilidad de las proyecciones de cambio en el clima generadas por los AOCGM para los efectos del cambio climático que se registrarían a mediano y largo plazo.

TABLA 1. Lista de los 15 modelos del CMIP5 que se utilizaron para la reducción de escala en México utilizando REA (Cavazos y col.)

| # | MODELO | INSTITUTO | MODELO | RCP |
|----|--------|--------------|----------------|---------------|
| 0 | | BCC | BCC-CSM1.1 | 4.5, 6.0, 8.5 |
| 1 | | CCCMA | CanESM2 | 4.5, 8.5 |
| 2 | | CNRM-CERFACS | CNRM-CM5 | 4.5, 8.5 |
| 3 | | CSIRO-QCCCE | CSIRO-Mk3-6-0 | 4.5 |
| 4 | | NOAA GFDL | GFDL-CM3 | 6.0, 8.5 |
| 5 | | NASA GISS | GISS-E2-R | 4.5, 6.0, 8.5 |
| 6 | | MOHC (INPE) | HadGEM2-ES | 4.5, 6.0, 8.5 |
| 7 | | INM | INMCM4 | 4.5, 8.5 |
| 8 | | IPSL | IPSL-CM5A-LR | 4.5, 6.0, 8.5 |
| 9 | | MIROC | MIROC5 | 4.5, 6.0, 8.5 |
| 10 | | MIROC | MIROC-ESM-CHEM | 4.5, 6.0 |
| 11 | | MIROC | MIROC-ESM | 4.5, 6.0, 8.5 |
| 12 | | MPI-M | MPI-ESM-LR | 4.5, 8.5 |
| 13 | | MRI | MRI-CGCM3 | 4.5, 8.5 |
| 14 | | NCC | NorESM1-M | 4.5, 6.0, 8.5 |

Para detalle ver: <https://cmip.llnl.gov/cmip5/index.html>

TABLA 2. Características de los escenarios de cambio climático “Trayectorias de Concentración Representativas”, RCP -por sus siglas en inglés. IPCC, 2013.

| ESCENARIO | FORZAMIENTO RADIATIVO | CONCENTRACIÓN DE CO ₂ | EVOLUCIÓN |
|-----------|--|---|---------------------------------------|
| RCP 8.5 | 8.5 W/m ² en 2100 | ~1370 CO ₂ -eq en 2100 | En aumento |
| RCP 6.0 | ~ 6 W/m ² estabilizado a partir de 2100 | ~ 850 CO ₂ -eq estabilizado a partir de 2100 | Estabilización sin trans-limitaciones |
| RCP 4.5 | ~ 4.5 W/m ² estabilizado a partir de 2100 | ~ 650 CO ₂ -eq estabilizado a partir de 2100 | Estabilización sin trans-limitaciones |

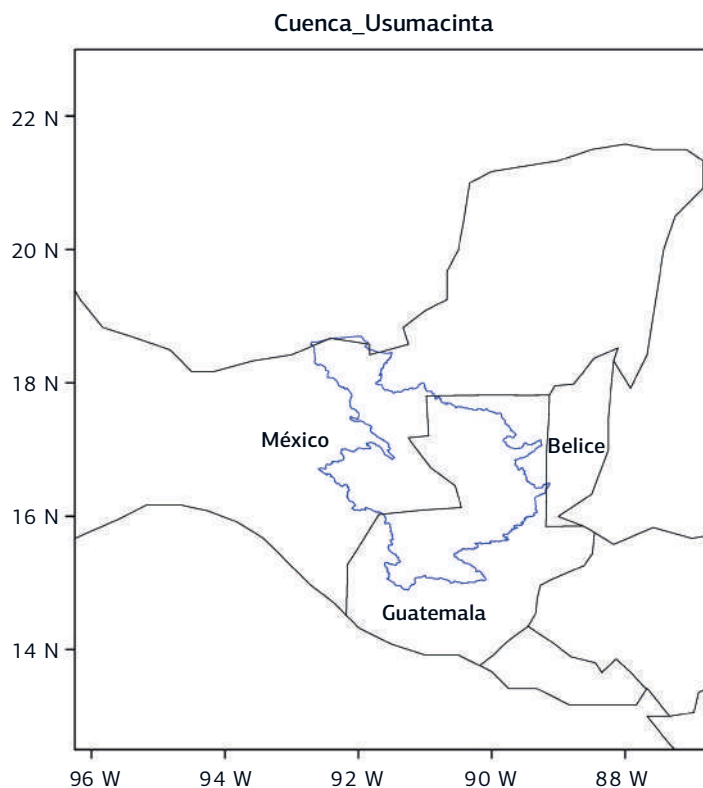


FIGURA 1. Región de estudio. Elaboración propia.

2. 2 Cálculo del factor de fiabilidad R_i

Para determinar la fiabilidad de las proyecciones bajo los escenarios RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5, se calcula el factor de fiabilidad (R_i), ecuación 1, el cual es la convolución de los criterios de desempeño (R_b) y de convergencia (R_d), ver Giorgi y Mearns (2002) para detalle, en el caso de m y n son igual a 1:

$$R_i = [(R_{b,i})^m \times (R_{d,i})^n]^{1/(m \times n)} \quad (1)$$

$$R_i = [(R_{b,i}) \times (R_{d,i})] \quad \text{con } m, n = 1 \quad (2)$$

i denota el índice del AOCGM, ver Tabla 1 para detalle.

De acuerdo a la metodología del REA, el factor $R_{b,i}$ en las ecuaciones 1 y 2, es el que proporciona la información sobre la habilidad de los modelos para representar el clima histórico de la variable en el período de referencia (Cavazos y col., 2013) y $R_{d,i}$ proporciona qué tanto difiere la proyección de cada modelo del ensamble de modelos. Estos procesos se realizan por punto de malla, espacial y temporal. Por tanto, R_i provee la fiabilidad total por modelo. Aquí se presenta el comportamiento de este factor de fiabilidad R_i en la cuenca del río Usumacinta.

3. Resultados del factor de fiabilidad

Los RCPs son los nuevos escenarios desarrollados, cada uno con las características de forzamiento radiativo y concentraciones de CO_2 particulares, que representan varios posibles escenarios (Moss y col. 2010). Estos escenarios proveen las trayectorias de las posibles emisiones generadas por las diferentes actividades antropogénicas (Moss y col. 2010), es por ello que determinar la fiabilidad de las proyecciones por cada RCP permite delimitar tales actividades. Los resultados del factor de fiabilidad R_i de Tmx para los tres RCPs en los periodos de tiempo 2015-2039 y de 2075-2099 se muestran en las Figuras 2 y 3, respectivamente. Estas figuras muestran los AOCGM (modelos; de aquí en adelante) con el mayor número de meses con fiabilidad alta. Los mapas muestran a R_i por mes, en ambos periodos de tiempo, lo que permite conocer la fiabilidad del modelo mensualmente. Se puede observar que R_i cambia tanto temporal como espacialmente con el modelo.

Para Tmx en el período de 2015-2039, la región donde los modelos se desempeñan mejor (~1) es la NO y NE, particularmente en los meses de enero a febrero, salvo el escenario RCP 8.5, que se extiende hasta el mes de junio. Para el resto del año, este desempeño disminuye hasta valores entre 0.1 y 0.5

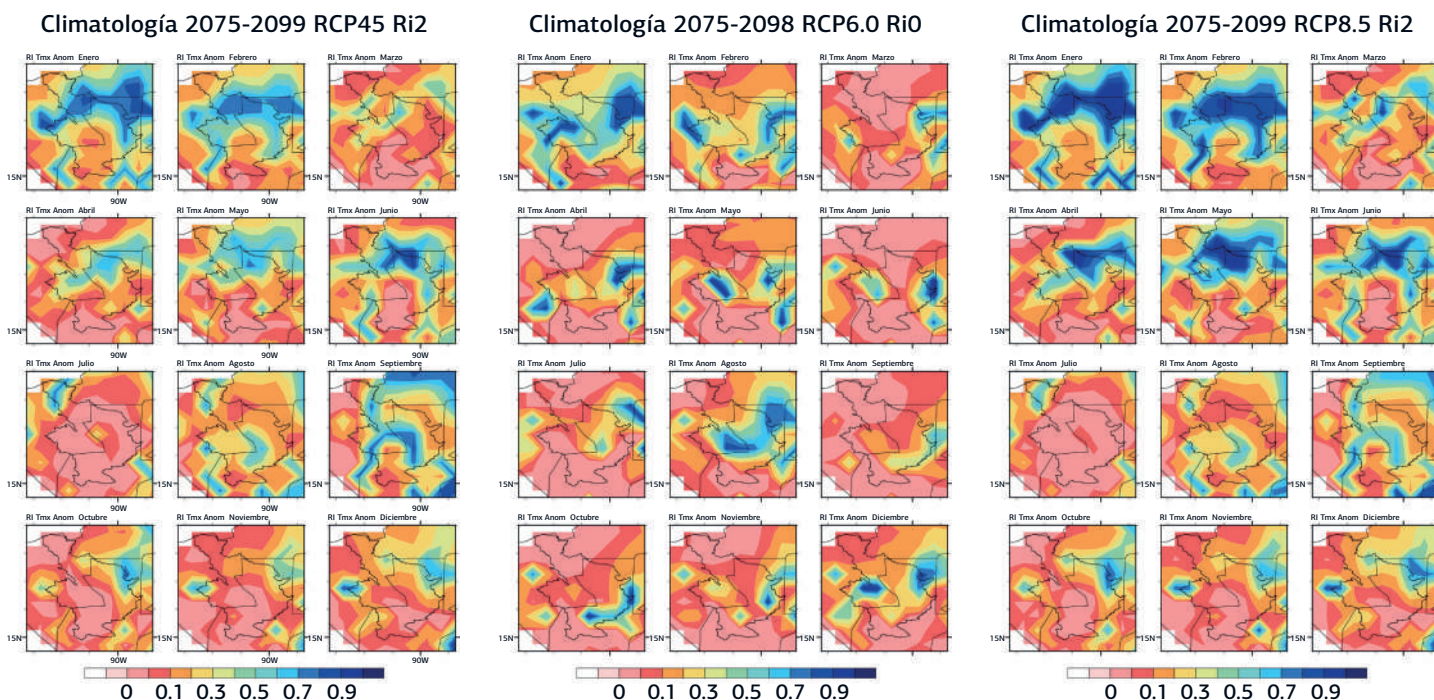


FIGURA 2. Factor de fiabilidad de los AOGCM con los tres RCP para Tmx en el periodo 2015-2039, a) RCP 4.5, b) RCP 6.0 y c) RCP 8.5; de izquierda a derecha.

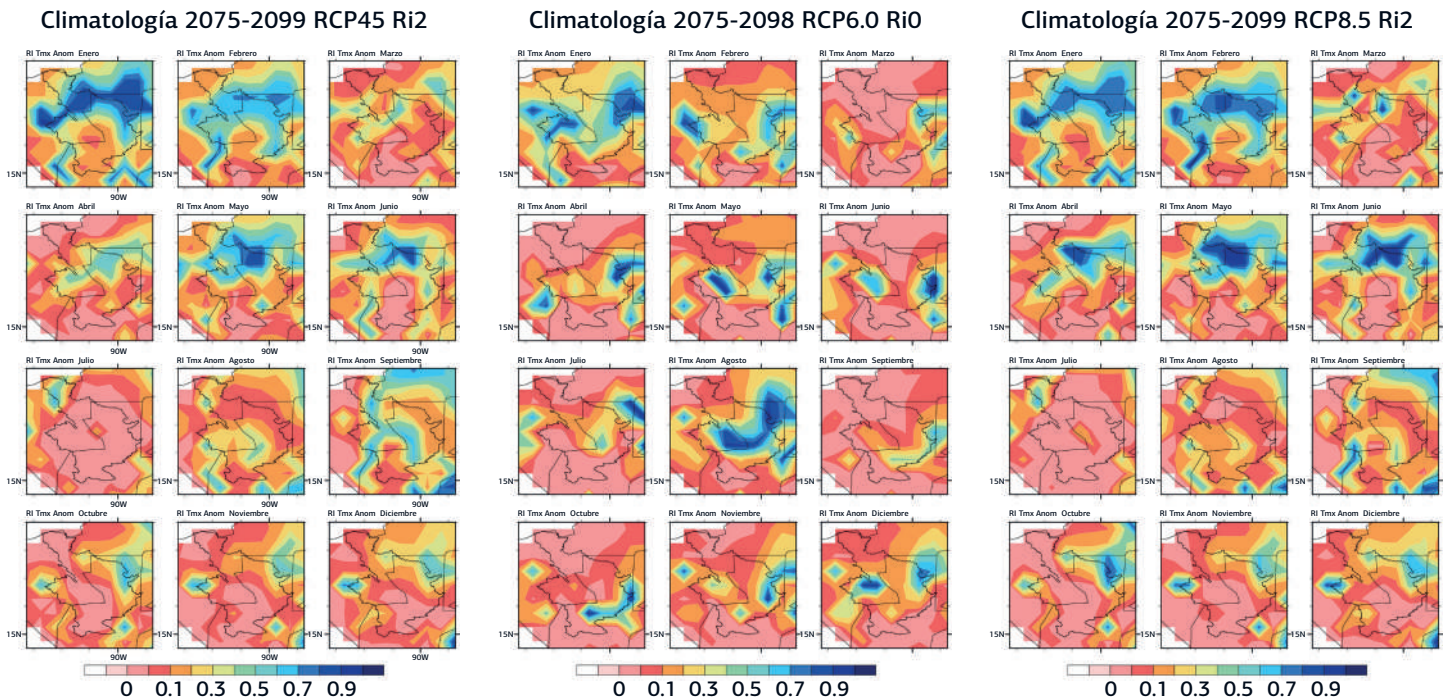


FIGURA 3. Factor de fiabilidad de los AOGCM con los tres RCP para Tmx en el periodo 2075-2099, a) RCP 4.5, b) RCP 6.0 y c) RCP 8.5; de izquierda a derecha.

donde los modelos de los tres escenarios coinciden para el mes de julio y de octubre a diciembre. En el caso de 2075-2099, se mantiene este comportamiento para RCP4.5 y RCP 8.5, y para RCP 6.0 baja el desempeño en los meses de enero y febrero. No obstante, los modelos con mayor fiabilidad en ambos periodos de tiempo se mantienen, ver Tabla 1 para detalle. El cambio más drástico se da en los valores de R_i de junio a julio en la parte norte de la cuenca, en donde los valores van desde 1 (en junio) hasta 0.1 (en julio) para los tres RCPs y los dos periodos. Esto muestra que la región en la cuenca donde las proyecciones de Tmx tienen mayor fiabilidad es la Norte, implicando que los cambios de Tmx por efectos por el cambio climático en esa zona son de mayor fiabilidad.

En el caso de Pr podemos ver, en las Figuras 4 y 5, correspondientes a aquellos modelos que muestran la mejor fiabilidad de la proyección de cambio en los periodos de tiempo 2015-2039 y 2075-2099, respectivamente, para la región.

Cuando R_i se incrementa se puede observar que hay un mayor número de meses donde es ~ 1 en los dos periodos de tiempo (2015-2039 y 2075-2099), además en los tres RCP, los modelos muestran en la sección NO en los meses de Febrero, Marzo y Abril un R_i alto. Para la parte sur (SO y SE), el modelo de RCP 6.0 muestra mayor fiabilidad en los meses de

Julio a Diciembre. Mientras RCP 8.5 muestra esta señal sólo en Julio; en el caso de RCP 4.5 este comportamiento en ese mes se observa sólo en el periodo de 2075-2099. El modelo del escenario RCP 4.5 muestra un menor valor de R a lo largo de los meses en el periodo 2015-2039, a diferencia de RCP 6.0 y de RCP 8.5. Sin embargo, en el caso de RCP 8.5, R varía arealmente entre ~ 0.3 y 1, mientras que en RCP 6.0, R varía arealmente de 0 a 1. En el caso de 2075-2099, este comportamiento se conserva, con excepción del modelo de RCP 4.5, donde incrementa el número de meses con R_i alto. Cabe notar que el modelo en RCP 4.5 no se mantiene en los dos periodos de tiempo.

Por otro lado, en el caso de Tmx, los modelos se preservaron para cada escenario en ambos periodos de tiempo, esto sugiere que los cambios en Tmx para el futuro lejano como el cercano son coherentes en los modelos. En el caso de Pr, los modelos cambiaron para ambos periodos de tiempo para el escenario RCP 4.5, indicando inconsistencia en la evolución temporal del modelo.

4. Discusión

La fiabilidad de los modelos para Tmx con los tres escenarios en la región es muy baja. Mientras que R_i para la variable Pr muestra valores mayores. Cabe

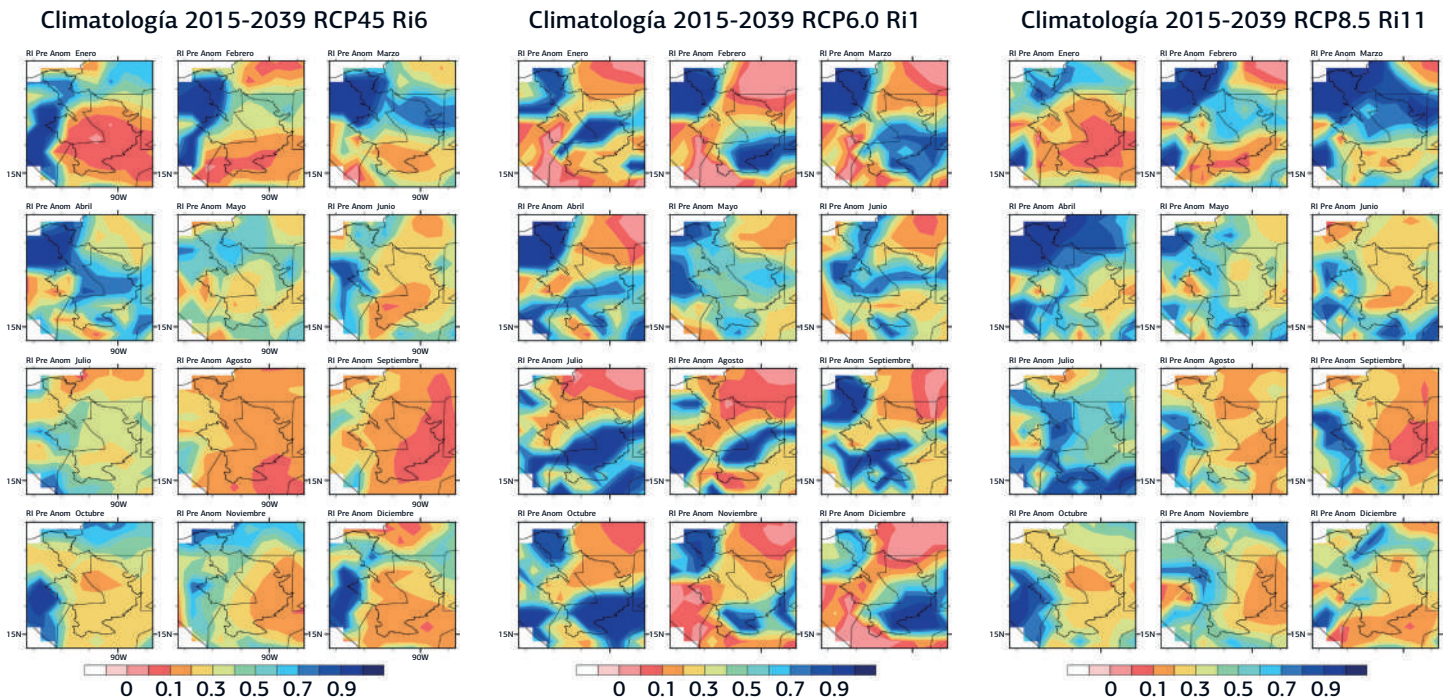


FIGURA 4. Factor de fiabilidad de los AOGCM con los tres RCP para Pr en el periodo 2075-2099, a) RCP 4.5, b) RCP 6.0 y c) RCP 8.5; de izquierda a derecha.

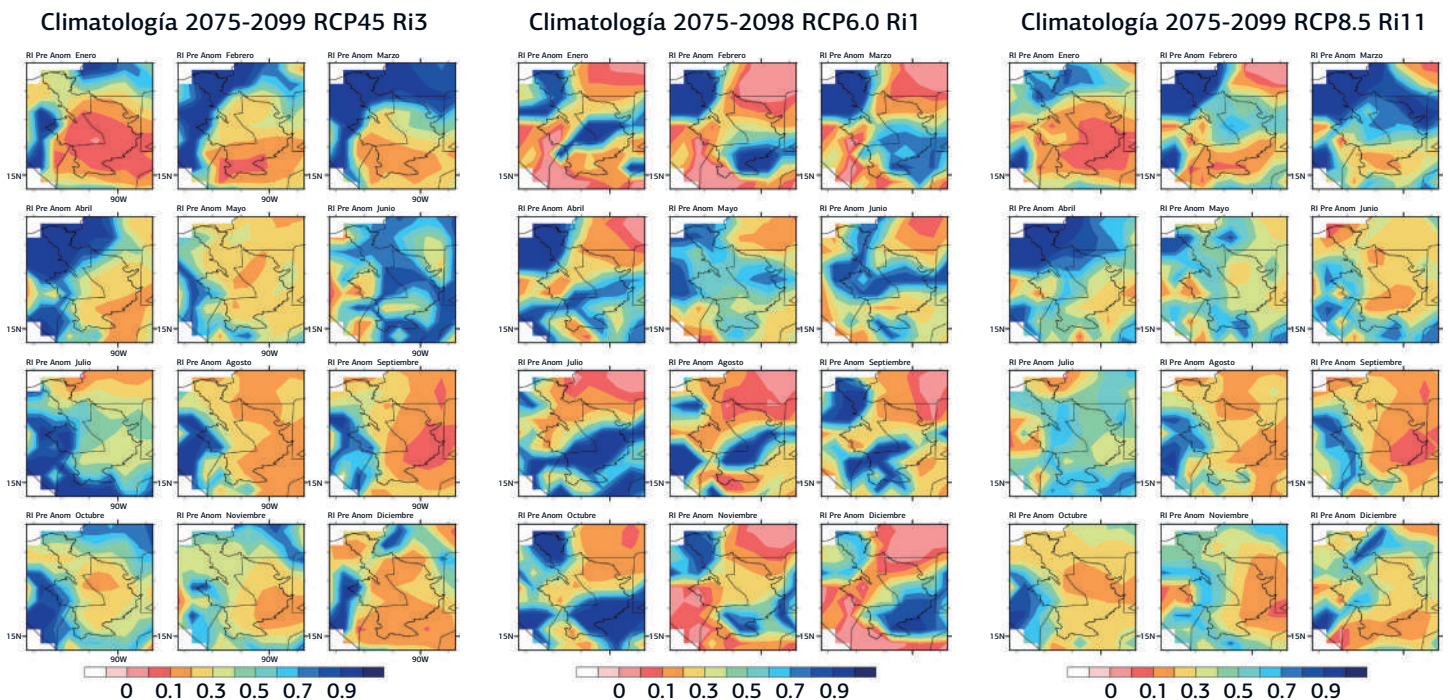


FIGURA 5. Factor de fiabilidad de los AOGCM con los tres RCP para Pr en el periodo 2075-2099, a) RCP 4.5, b) RCP 6.0 y c) RCP 8.5; de izquierda a derecha.

mencionar que este resultado no indica que los modelos tienen un mejor desempeño para la variable Pr que para Tmx, donde es sabido que a nivel global esta última variable es mejor representada por los

modelos IPCC (2013). Se debe tomar en cuenta que Ri es una convolución del desempeño de los modelos y que tanto difieren de la proyección del ensamble. Por ello decimos que los modelos difieren menos en la

proyección de Pr que en la proyección de Tmx para esta región.

Se muestra que ningún modelo, sólo, cuenta con alta fiabilidad para toda la región, apoyando a Colorado-Ruiz y col. (2018), quienes sugieren usar mejor un ensamble de modelos. No obstante, la zona Norte de la cuenca del Río Usumacinta mantiene alta fiabilidad tanto para Tmx como Pr. Esto sugiere que las proyecciones de cambio de Tmx y Pr en esa zona son más confiables, independientemente del modelo o escenario RCP.

Sin embargo, se observa el comportamiento de Ri en toda la cuenca, cambia temporalmente por RCP. Por último, los modelos que se muestran con mayor fiabilidad para la variable Tmx se mantienen para ambos periodos de tiempo, con los tres RCPs en el caso de Pr, esto no se observa con todos los RCPs. Por tanto, se nota una dependencia de las proyecciones en el modelo más que en el escenario usado.

5. Conclusiones

El factor de fiabilidad R determina los modelos con los valores más altos tanto espacial como temporalmente. En el caso de la cuenca del Usumacinta, se observa que tanto para Tmx como para Pr la parte norte (ubicada en México) presenta la mayor fiabilidad para las proyecciones de los modelos. En el caso de Tmx, los modelos con mayor R para cada escenario se mantienen en los dos periodos de tiempo. De manera general, no se encontró un escenario preferente para Tmx, ya que el comportamiento de Ri se conserva para ambos periodos de tiempo. Mientras que, para Pr, el comportamiento de Ri solo es consistente para RCP 6.0.

Un estudio de este tipo no se ha encontrado para la zona, permitiendo que los resultados obtenidos contribuyan en la generación de conocimiento local. Aunado a que es un ejercicio que se requiere se realice en otras regiones del país, de tal manera que los resultados de las proyecciones de los escenarios de cambio climático converjan en la fiabilidad de las mismas.

Agradecimientos

Los autores participan y agradecen a la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos, REDESClim.

We acknowledge the World Climate Research Programme's Working Group on Coupled Modelling, which is responsible for CMIP, and we thank the climate modeling

groups (listed in Table 1 of this paper) for producing and making available their model output.

BIBLIOGRAFÍA

- Aceves-Navarro, L., Rivera-Hernandez, B., Arrieta-Rivera, A., Juarez-Lopez, J. F., Mendez-Adorno, J.M. y Ramos-Alvarez, C. (2017). Tendencias de cambio climático en los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del Río Usumacinta. En "La cuenca del Río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático". Denise Soares y Antonino García García (Coord.). PP. 57-75. ISBN: 9786079368814. IMTA, México.
- Andrade-Velázquez, M. (2017). Visión climática de la precipitación en la cuenca del Río Usumacinta. En "La cuenca del Río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático". Denise Soares y Antonino García García (Coord.). PP. 57-75. ISBN: 9786079368814. IMTA, México.
- Cavazos, T., Salinas, J. A., Martínez, B., Colorado, G., De Grau, P., Prieto, R., Conde, C., Quintanar, A., Santana, J. S., Romero, R., Maya, M. E., Rosario, J. G., Ayala, Ma. R., Carrillo, H., Santiesteban, O. y Bravo, M. E. (2013). Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional.
- Colorado-Ruiz G, Cavazos T, Salinas JA, De Grau P, Ayala R. Climate change projections from Coupled Model Intercomparison Project phase 5 multi-model weighted ensembles for Mexico, the North American monsoon, and the mid-summer drought region. *Int. J. Climatol.* 2018; 1-18.
- Giorgi F, Mearns LO (2002). Calculation of average, uncertainty range and reliability of regional climate changes from AOGCM simulations via the Reliability Ensemble Averaging (REA) method. *J. Clim.* 15:1141-1158
- Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J. and Lister, D.H. (2014), Updated high-resolution grids of monthly climatic observations the CRU TS3.10 Dataset. *Int. J. Climatol.*, 34: 6236-42.
- INECC, 2018. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA Y CAMBIO CLIMATICO. SEMARNAT. sitio visitado en 2018: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/402/cuencas.html>.
- IPCC, (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell,

- and C.A. Johnson (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- IPCC, (2012). Summary for Policymakers. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3-21.
- IPCC, (2013). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and 21 P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Montero- Martínez, M.J., Martínez, J., Castillo, N.I., y Espinoza, B.E. (2010). Escenarios climáticos en México proyectados para el siglo XXI: precipitación y temperaturas máxima y mínima, en *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. Eds. P.F. Martínez Austria y C. Patiño Gómez, 162 pp., IMTA, México, pp. 39-63.
- Moss, R., Mustafa Babiker, Sander Brinkman, Eduardo Calvo, Tim Carter, Jae Edmonds, Ismail Elgizouli, Seita Emori, Lin Erda, Kathy Hibbard, Roger Jones, Mikiko Kainuma, Jessica Kelleher, Jean Francois Lamarque, Martin Manning, Ben Matthews, Jerry Meehl, Leo Meyer, John Mitchell, Nebojsa Nakicenovic, Brian O'Neill, Ramon Pichs, Keywan Riahi, Steven Rose, Paul Runci, Ron Stouffer, Detlef van Vuuren, John Weyant, Jean Pascal van Ypersele, Tom Wilbanks, and Monika Zurek, (2008). *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*. Technical Summary. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, pp. 25.
- Moss, R. H., and Coauthors, 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, 747-756, doi:10.1038/nature08823.
- Taylor, K. E., R. J. Stouffer, and G. A. Meehl, 2009: A summary of the CMIP5 experiment design. PCMDI Rep., 33 pp. [Available online at http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/docs/Taylor_CMIP5_design.pdf].
- Taylor, K.E., R.J. Stouffer, G.A. Meehl (2012). An Overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 485-498.
- Tebaldi, C., Smith, R., Nychka, D. and Mearns L. (2005). Quantifying Uncertainty in Projections of Regional Climate Change: A Bayesian Approach to the Analysis of Multimodel Ensembles. *Journal of Climate*, Vol. 18, 1524-1540.

