

# Modelización climática a escala regional: ¿modelos globales o regionales?

Francisco J. Tapiador<sup>3</sup>

Recibido: 15 de marzo del 2021. Recibido en revisión: 19 de abril del 2021. Aceptado: 17 de agosto del 2021

DOI: <https://doi.org/10.33132/27114260.1982>

## Introducción

Estamos inmersos en una emergencia climática que afecta a todo el planeta y que ejerce impactos muy diferentes sobre varias regiones. Conocer cuáles van a ser los mayores cambios en el futuro en función de una serie de caminos socioeconómicos es de una importancia fundamental para evaluar las respuestas de nuestras sociedades a los retos que se presentan. Las dos variables de mayor interés para atender a esta emergencia climática son la temperatura y la precipitación. Los cambios en ambas variables afectan no solo a la biota sino también a la actividad humana, por lo que el estudio de su variabilidad es primordial en sectores tales como la agricultura, la industria o el turismo.

Para conocer cuáles van a ser los cambios en la precipitación y en la temperatura es necesario recurrir a los modelos de clima, de los cuales hay casi un centenar hoy en día. Solo con ellos podemos analizar, por ejemplo, los cambios en los ciclos de las precipitaciones, un tema crítico para la agricultura y la gestión ambiental (Tapiador *et al.*, 2016). Para realizar estos estudios contamos con dos estrategias principales de modelización: usar modelos regionales o modelos globales. En esta breve nota pretendo apuntar los pros y los contras de cada uno, resumiendo, sin profundizar en algunos resultados de las contribuciones propias sobre el tema. Para una información más detallada se remite al lector a los artículos correspondientes.

¿Qué es un modelo de clima? Un modelo de clima es un programa informático que recoge todo nuestro conocimiento actual sobre cómo funciona la atmósfera, el océano, la criosfera y la biosfera. Gracias a ellos, y a partir de las ecuaciones básicas del movimiento de los fluidos, podemos predecir el comportamiento del clima. Esto es

---

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Ambientales y Bioquímica, Universidad de Castilla La Mancha, Toledo (España). francisco.tapiador@uclm.es <https://orcid.org/0000-0002-6773-5250>

muy diferente a los métodos puramente estadísticos, los basados en el análisis de las series temporales. Aquí no se trata de aprovechar funciones de autocorrelación espacial o temporal, o de explotar covariabilidades. Los modelos de clima emplean ecuaciones físicas básicas (en el sentido de fundamentales) y son mucho más potentes, mucho más precisos y, en resumen, las únicas herramientas viables que tenemos para saber algo sobre los impactos del clima en el futuro.

## Modelos regionales de clima

¿Qué es, en concreto, un modelo regional de clima? Es un modelo de clima que se aplica sobre una sección acotada del planeta, por ejemplo, Colombia, el área andina, o América del Sur (figura 1). Son modelos de alta resolución espacial, del orden de 10 o 25 km de malla, que permiten atender a los detalles de la topografía y de los usos del suelo de un lugar.

Estos modelos están "anidados", se dice, en un modelo más grande, aunque de peor resolución espacial; un modelo que puede tener una resolución del orden de los 100 km. Lo que hace este modelo global es proporcionar las condiciones laterales al modelo regional, mediante sus bordes y de una zona de "esponja" que se llama. El modelo regional aporta

las condiciones de contorno de un suelo más detallado, y lo que hace es mejorar de manera dinámica, de manera física, los resultados del global. Es un método, en suma, de mejora de la resolución espacial de un modelo "padre".

¿Por qué se hace así? ¿Por qué recurrimos a modelos regionales? La razón es que hace 30 años, cuando se desarrolló el primero de estos modelos, la capacidad de cálculo con las computadoras era mucho menor que la actual. En aquellos tiempos, ejecutar un modelo en todo el mundo a una resolución de 25 km era imposible, hubiera tardado demasiado tiempo. Se optó entonces por encajar un modelo de más resolución dentro de uno global y hacer que este fuera más detallado. Haciéndolo de esta manera conseguimos que el tiempo de proceso sea razonable y gracias a ello podemos realizar simulaciones climáticas (Tapiador *et al.*, 2020).

Los modelos regionales de clima son muy útiles para realizar simulaciones largas a alta resolución, pero tienen una serie de problemas. Los más importantes son los siguientes:

- Diferente física que su modelo padre. Esto genera inconsistencias conceptuales difíciles de asumir desde el punto de vista puramente científico.

- Flujo a gran escala. Afecta de manera determinante al dominio regional. Si no se captura correctamente debido a, por ejemplo, una longitud de onda mayor que el dominio, el modelo no puede ofrecer resultados fiables.
- Dependencia del modelo padre. Al final, los insumos del modelo regional dependen de manera determinante de las prestaciones del modelo global en el que se anidan. Un modelo regional no puede enmendar una física deficiente en su modelo padre.
- Acoplamiento del modelo oceánico. Aunque existen modelos regionales acoplados, la dinámica del océano a escala global afecta a espacios alejados y fuera del dominio de trabajo. Un modelo regional no puede considerar la dinámica oceánica en la otra punta del globo, la cual es sabido que sí puede ejercer un impacto en la zona de estudio.
- Problemas de borde. En los bordes del dominio los resultados de un modelo regional no suelen ser fiables. Esto limita aún más su aplicabilidad.
- Problema de dónde situar el dominio. Diferentes teselaciones producen resultados diferentes, lo cual es inaceptable. No hay un método unívoco para situar el dominio y, en todo caso, el dominio perfecto sería el global.
- Incongruencias en los solapes. Asociado a lo anterior. Modelos regionales que se solapan en una zona pueden dar valores radicalmente diferentes, aun descontando el borde.
- Para capturar la incertidumbre inherente a los sistemas complejos se recurre a técnicas de modelización por conjuntos. Pero la teoría detrás de ese método exige un número suficiente de miembros de los conjuntos que rara vez se satisface. Los pseudoensambles resultantes no son estadísticamente significativos, y además la media suele perjudicar a los modelos mejores. Esta limitación, no obstante, aparece también en los ensambles de modelos globales.

## Modelos globales de clima

Los modelos globales de clima, por otro lado, no presentan la mayoría de es-

tos problemas. Su única limitación hace 30 años es que tardaban mucho en realizar los cálculos, y eso hacía que su resolución espacial tuviera que ser muy baja, del orden de cientos de kilómetros. Pero todo eso ha cambiado, y hoy en día ya podemos contar con modelos globales con una resolución espacial del mismo orden que los modelos regionales y que, sin ser perfectos, no presentan tantos problemas prácticos y conceptuales.

Los modelos globales actuales son mucho más complejos que aquellos en los que se anidaban los regionales. Hoy se habla de “modelos del sistema Tierra”, porque incluyen cada vez más los ciclos biológicos, tanto en el mar como en las partes emergidas, intentando simular cada vez más procesos de los que sabemos que ocurren en el planeta.

Una comparativa entre modelos regionales y globales permite ofrecer las siguientes reflexiones:

1. Los modelos globales del sistema Tierra aplicados a una región son ya más adecuados que los modelos regionales para analizar los impactos del cambio climático. Esto es un cambio notable con respecto a unos pocos años, pero las mejoras en la resolución espacial y la inclusión

de nuevos procesos ha hecho que las simulaciones climáticas que vayan a ser usadas para aplicaciones tengan que venir de estas herramientas.

2. Las conclusiones y análisis basados en modelos regionales van a ser duramente cuestionados en el futuro debido a las limitaciones inherentes a su metodología, algunas de las cuales no tienen solución, y que no presentan los globales.
3. La evolución de la tecnología está claramente del lado de los modelos globales. Las mejoras constantes en velocidad de cálculo y las capacidades intrínsecas de los modelos globales en su inclusión de ciclos ambientales complejos los hacen más adecuados para estimar los cambios esperables en el clima, no solo a escala global, sino también regional.

## Resultados de los modelos

¿Cómo son de buenos los modelos en realidad, tanto los regionales como los globales/sistema tierra, y cómo pueden ser útiles para analizar el clima del futuro? Hace un par de años realiza-

mos varias investigaciones para intentar responder a esta pregunta. Primero comparamos los resultados de modelos regionales y globales con las observaciones existentes (figura 1), y después analizamos los cambios esperables en el futuro. Para esto lo que hicimos fue emplear clasificaciones climáticas. Aunque la precipitación es la variable principal cuando comparamos modelos, porque es muy difícil hacerlo bien, la unión de la temperatura y la precipitación nos define zonas climáticas de interés para la biota, y eso hace que la comparación tenga una trascendencia biológica adicional.

Uno de los resultados más importantes de las investigaciones es que los modelos aún tienen dificultades en modelizar la precipitación correctamente, algo que no sucede con la temperatura, cuyo campo escalar presenta una menor variabilidad espacial y menos puntos de ruptura. No obstante, la comparación con datos de referencia permite afirmar que las salidas de los modelos pueden ser útiles para muchas de las aplicaciones referentes al cambio climático.

## Conclusiones

Los modelos globales de clima y, en concreto, los denominados “modelos del

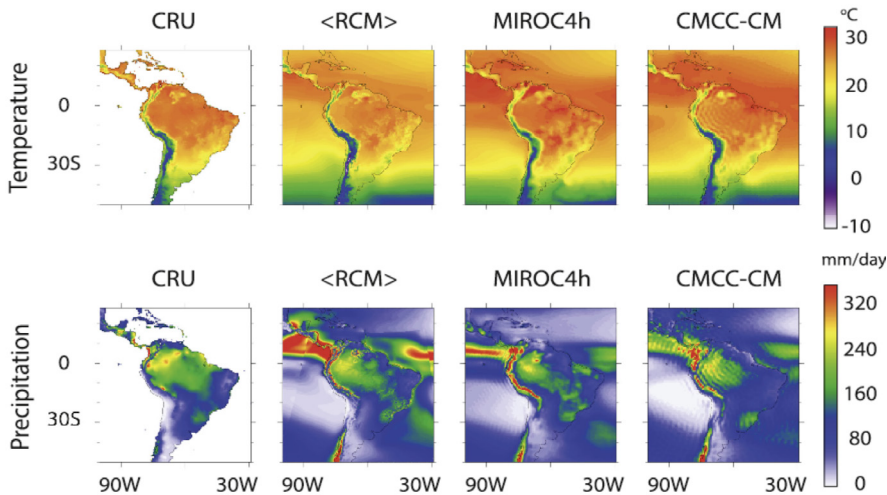


Figura 1. Estimaciones de temperatura y precipitación para clima presente de observaciones (CRU), la media de un pseudoensamble de modelos regionales (<RCM>) y dos modelos globales: MIROC4h y CMCC-CM

Fuente: Tapiador *et al.* (2019b).

sistema Tierra” son más adecuados para proporcionar información a nivel regional sobre la emergencia climática que los antiguos modelos regionales, cuyo uso se circunscribe a la realización de pruebas rápidas, por ejemplo, la implementación de nuevas microfísicas y análisis de sensibilidad de los parámetros y asunciones (Tapiador *et al.*, 2019a), o el prototipado de modelos.

Comparando modelos globales y regionales podemos establecer varias razones para preferir uno u otro en función de varios criterios. El resultado neto es favorable a los modelos globales:

- **Detalle.** Modelo global: resolución espacial comparable a los regionales.
- **Física.** Modelo global: formalmente y conceptualmente mejor, ya que ofrece consistencia física en todo el ámbito.
- **Computación.** Modelo global: tiempo de proceso razonable para resoluciones espaciales del orden de decenas de kilómetros.
- **Prestaciones en clima presente.** Modelo global: buenas prestaciones, se comparan favorablemente con las observaciones en simulaciones de clima presente.

- **Consistencia.** Modelo global: permite comparaciones directas con otras regiones del mundo, lo que evita el problema de las teselaciones y los bordes.
- **Desarrollo rápido.** Modelo regional: bueno para hacer pruebas y para prototipado.

El uso de salidas de modelos para estudios de adaptación y mitigación debería pues centrarse en los resultados de los modelos globales. Solo así se puede garantizar que las propuestas estén basadas en la mejor ciencia disponible en la actualidad, y que los resultados sean los mejores desde el punto de vista social y económico. El uso de modelos regionales en el ámbito concreto de la investigación científica en clima (contraste de hipótesis, desarrollo de parametrizaciones) aún cuenta con su campo de aplicación, aunque cada vez sea más limitado por causa de los avances en computación.

El nuevo informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), hecho público recientemente (IPCC, 2021), basa sus resultados centrales en las salidas de los modelos globales, dejando los modelos regionales para estudios de detalle y pendientes de verificación posterior. La comunidad científica es cada vez más

consciente de las limitaciones de los modelos regionales, en gran parte, como consecuencia de fallos y errores gruesos debido a algunos modelos regionales que no estaban a la altura. El IPCC no ha hecho más que reconocer esta realidad. En este sentido, si el aniversario de los 30 años de existencia de los modelos regionales fue considerado el canto del cisne de esta metodología, el informe del IPCC viene a certificar la apertura de una nueva era en la que los modelos globales ya han alcanzado la madurez suficiente para convertir a los regionales en una solución de compromiso que hubo que utilizar en el pasado hasta que la evolución tecnológica ha permitido una modelización robusta a escala global.

## Referencias

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu y B. Zhou (Eds.). Cambridge University Press.
- Tapiador, F.J., Behrangi, A., Haddad, Z. S., Katsanos, D. y de Castro, M. (2016). Disruptions in precipitation cycles: Attribution to anthropogenic forcing. *Journal of Geophysical Research*, 121(Iss. 5), 2161-2177. <https://doi.org/10.1002/2015JD023406>
- Tapiador, F.J., Sánchez, J. L. y García-Ortega, E. (2019a). Empirical values and assumptions in the microphysics of numerical models. *Atmospheric Research*, 215, 214-238. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.09.010>
- Tapiador, F. J., Moreno, R., Navarro, A., Sánchez, J. L. y García-Ortega, E. (2019b). Climate classifications from regional and global climate models: Performances for present climate estimates and expected changes in the future at high spatial resolution. *Atmospheric Research*, 228, 107-121. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.05.022>
- Tapiador, F. J., Navarro, A., Moreno, R., Sánchez, J. L. y García-Ortega, E. (2020). Regional climate models: 30 years of dynamical downscaling. *Atmospheric Research*, 235, 104785. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104785>