

FORZAMIENTO EXTERNO, RESPUESTA TÉRMICA Y SENSIBILIDAD CLIMÁTICA EN SIMULACIONES Y RECONSTRUCCIONES DEL ÚLTIMO MILENIO

L. Fernández-Donado^(1,2), J. F. González-Rouco^(1,2), C. C. Raible⁽³⁾, D. Barriopedro⁽¹⁾, J. Luterbacher⁽⁴⁾,
J. H. Jungclauss⁽⁵⁾, D. Swingedouw⁽⁶⁾, J. Servonnat⁽⁶⁾, S. Tett⁽⁷⁾, P. Brohann⁽⁸⁾, E. Zorita⁽⁹⁾,
S. Wagner⁽⁹⁾, C. M. Ammann⁽¹⁰⁾, P. Yiou⁽⁶⁾, S. Lorenz⁽⁵⁾, S. J. Phipps⁽¹¹⁾

(1) Universidad Complutense de Madrid, Spain. laurafernandez@fis.ucm.es (2) Instituto de Geociencias, CSIC-UCM, Madrid, Spain (3) Physics Institute, University of Bern, Switzerland (4) Justus Liebig University of Giessen, Germany (5) Max Planck Institute, Hamburg, Germany (6) LSCE, Paris, France (7) School of Geosciences, University of Edinburgh, UK (8) Hadley Centre, UK (9) Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Germany (10) National Center for Atmospheric Research, Boulder, USA (11) University of New South Wales, Sydney, Australia

El presente trabajo analiza un conjunto de 26 simulaciones forzadas procedentes de 8 modelos climáticos acoplados de atmósfera y océano (del inglés, AOGCMs) para el último milenio. Los modelos, la longitud de las simulaciones forzadas y el número de las mismas, así como las referencias correspondientes se indican en la Tabla 1.

Modelo	(nº simulaciones) periodo comprendido	Referencia
ECHO-G	(2)1000-1990 AD/(1) 8000-0 BP	González-Rouco et al. (2003, 2006)
CSM1.4	(1)850-1999 AD	Ammann et al. (2007)
CCSM3	(1)1000-2100 AD/(4)1500-2100 AD	Hofer et al. (2010)
MPI-ESM	E1(5)800-2000 AD/E2(3)800-2000 AD	Jungclauss et al. (2010)
CNRM	(1)1001-1999 AD	Swingedouw et al. (2010)
IPSL	(1)1001-2000 AD	Servonnat et al. (2010)
CSIRO	(3)1-2000 AD/(3)501-2000 AD	Phipps et al. (2011)
HadCM3	(1)1492-1999 AD	Tett et al. (2007)

Tabla 1.- Modelos y simulaciones utilizadas en este trabajo. La primera columna indica el modelo climático utilizado, mientras que la segunda muestra entre paréntesis el número de simulaciones procedentes de este modelo que se han tenido en cuenta junto con el periodo que comprenden. El hecho de que aparezcan dos conjuntos de simulaciones para algunos modelos se debe a variaciones en los forzamientos externos aplicados (no mostrados en la Tabla).

Las simulaciones analizadas se obtienen bajo diferentes consideraciones de forzamiento externo aplicado, tanto natural (actividad solar y volcánica) como antropogénico (gases de efecto invernadero, aerosoles, cambios en el uso de suelo...). Estos forzamientos varían para cada modelo, no sólo el número de forzamientos considerado, sino también la estimación/reconstrucción de cada uno de ellos. Se caracteriza cada forzamiento, haciendo un especial hincapié en la variabilidad solar, puesto que se inclu-

yen simulaciones que consideran estimaciones de la misma bastante diferentes entre sí dentro del marco actual de incertidumbre existente para este forzamiento. Para cada modelo se obtiene un forzamiento total equivalente que aglutina todas las contribuciones al forzamiento para cada modelo en uno único.

El análisis llevado a cabo se centra principalmente en la respuesta en temperatura del conjunto de simulaciones, su evolución temporal, su caracterización espacial para la transición del Óptimo Medieval (del inglés, MCA) a la Pequeña Edad Glacial (del inglés, LIA) y su relación con el forzamiento externo aplicado. La relación cuasi lineal existente entre el forzamiento total equivalente y la evolución temporal de temperatura permite calcular una sensibilidad climática para el último milenio, PTCR (Paleo Transient Climate Response), para cada modelo y compararla con los valores conocidos de sensibilidad climática de equilibrio y de las proyecciones de cambio climático futuro.

A su vez, se realiza una comparación entre las simulaciones y las reconstrucciones climáticas disponibles para el último milenio. Para las reconstrucciones climáticas no se encuentra linealidad con el forzamiento externo, de modo que el cálculo de la PTCR se basa en el cociente entre las diferencias de temperatura y de forzamiento para distintos periodos característicos del último milenio (i.e. MCA, LIA).

REFERENCIAS:

- Ammann, C. M., F. Joos, D. S. Schimel, B. L. Otto-Bliesner, and R. A. Tomas, 2007: Solar influence on climate during the past millennium: Results from transient simulations with the NCAR Climate System Model, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 104, 3713-3718, doi:10.1073/pnas.0605064103.
- González-Rouco, J. F., E. Zorita, U. Cubasch, H. von Storch, I. Fisher-Bruns, F. Valero, J. P. Montavez, U. Schlese, and S. Legutke, 2003b: Simulating the climate since 1000 AD with the AOGCM ECHO-G, *ESA*, SP 535, 329-338.
- González-Rouco, J. F., H. Beltrami, E. Zorita, and H. von Storch, 2006: Simulation and inversion of borehole temperature profiles in surrogate climates: Spatial distribution and surface coupling, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L01703, doi:10.1029/2005GL024693.
- Hofer, D., Raible, C., Stocker, T., Banerjee, R., Gupta, S., Miura, H., Borole, D., Hu, Y., Yang, J., Kettle, A., et al.: Variations of the Atlantic meridional overturning circulation in control and transient simulations of the last millennium, *Clim. of the Past Discuss.*, 6, 1267-1309, 2010
- Jungclaus, J., Lorenz, S., Timmreck, C., Reick, C., Brovkin, V., Six, K., Segschneider, J., Giorgetta, M., Crowley, T., Pongratz, J., et al.: Climate and carbon-cycle variability over the last millennium, *Clim. of the Past*, 6, 723-737, 2010
- Phipps, S., Rotstayn, L., Gordon, H., Roberts, J., Hirst, A., and Budd, W.: The CSIRO Mk3L climate system model version 1.0-Part 1: Description and evaluation, *Geoscientific Model Development*, 4, 483-509, 2011.

- Servonnat, J., Yiou, P., Khodri, M., Swingedouw, D., and Denvil, S.: Influence of solar variability, CO₂ and orbital forcing during the last millennium in the IPSLCM4 model, *Clim. of the Past*, 6,445–460, 2010.
- Swingedouw, D., Terray, L., Cassou, C., Voltaire, A., Salas-Melia, D., and Servonnat, J.: Natural forcing of climate during the last millennium: fingerprint of solar variability, *Clim. Dyn.*, pp. published online, 1–16, 2010.
- Tett, S. F. B., R. Betts, T. J. Crowley, J. Gergory, T. C. Johns, A. Jones, T. J. Osborn, E. Ostrom, D. L. Roberts, and M. J. Woodgate, 2007: The impact of natural and anthropogenic forcings on climate and hydrology since 1550, *Clim. Dyn.*, 28, 3-34.