

GENERACIÓN DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS REGIONALIZADOS EN ESPAÑA MEDIANTE UNA METODOLOGÍA ESTADÍSTICA DE ANÁLOGOS EN DOS PASOS

Jaime Ribalaygua⁽¹⁾, María del Carre⁽¹⁾ y Luis Torres⁽¹⁾

⁽¹⁾Fundación para la Investigación del Clima, Calle Tremps, 11, Madrid, fic@ficlima.org

INTRODUCCIÓN

Existe un consenso prácticamente unánime en la comunidad científica internacional que alerta sobre un cambio en el clima del planeta (von Storch y Stehr, 2006; von Storch, 2004). Esta comunidad está de acuerdo en que (IPCC, 2007):

- el calentamiento del sistema climático es inequívoco y ya evidente a partir de observaciones y registros que demuestran el aumento de la temperatura del aire y los océanos, la reducción de las masas de hielo y el aumento del nivel del mar
- se ha incrementado la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos
- el origen de la mayor parte de esos cambios reside muy probablemente en la actividad humana
- los cambios se intensificarán en el futuro, pudiendo llegar a ser mucho mayores si no reducimos de forma drástica la emisión de gases de efecto invernadero (GEI)
- los cambios en el sistema climático, de producirse en la magnitud prevista, alterarán fuertemente el funcionamiento de los sistemas naturales y sociales.

Para resolver el problema hay que abordarlo desde la causa, esto es, es necesario reducir las emisiones de GEI. Pero esto no es suficiente. Las emisiones pasadas y presentes han comprometido de alguna manera a la Tierra a un cierto nivel de cambio climático, al menos en las próximas décadas. Es necesario por tanto, enfrentar estos efectos con medidas de adaptación.

Para afrontar esta adaptación, en primer lugar hay que disponer de escenarios de clima futuro, posteriormente evaluar el impacto de dicho clima futuro en cada uno de los sectores afectados (recursos hídricos, agrícola, forestal, ecología/biodiversidad, energía, turismo, salud, erosión, urbanismo, usos del suelo, transporte, presión migratoria, seguridad alimentaria...), y finalmente diseñar políticas de adaptación, buscando minimizar los impactos negativos y maximizar los positivos.

Ya hay disponibles escenarios climáticos utilizables para la evaluación de impactos: con incertidumbres menores y mejor cuantificadas que antes, con especificidad local, y abarcando la primera mitad del siglo XXI (no sólo para finales de este siglo), que son la resolución espacial y el alcance temporal que se requieren para planificar medidas de adaptación.

1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA:

Para superar las limitaciones del downscaling estadístico que la bibliografía sugiere, es importante hacer la selección de predictores bajo consideraciones teóricas, y teniendo en

cuenta el uso final de la metodología. Por ello, en la selección o desarrollo de una metodología de downscaling estadístico deben tenerse siempre presentes las siguientes ideas:

1. El problema de las relaciones no-estacionarias y el “overfitting”: los predictores deben ser forzamientos físicos de los predictandos (esos vínculos físicos no cambiarán)
2. Las características y limitaciones de los MCGs: usar predictores simulados con fiabilidad por el MCG. Considerar también la resolución espacial y temporal del MCG
3. No debe hacerse estratificación estacional en la búsqueda de relaciones, porque las características de las estaciones pueden variar en un escenario de cambio climático

De acuerdo con estas ideas, se pueden hacer algunas consideraciones generales sobre la selección de predictores:

- De acuerdo con la idea 1:
 - Seleccionar predictores bajo consideraciones teóricas, más que análisis empíricos, que no garantizan relaciones físicas. Los predictores deben ser forzamientos físicos de los predictandos, y las relaciones a buscar deben ser las que mejor reflejen esos vínculos físicos, que se mantendrán en el futuro, incluso en un contexto de cambio climático.
- De acuerdo con la idea 2:
 - Usar como predictores patrones espaciales mejor que valores puntuales (menos fiables en los MCGs). Además, los patrones aportan información sobre flujos, advecciones...
 - Usar variables de atmósfera libre, mejor simuladas que las de superficie.
 - Usar variables que sean fiablemente simuladas por los MCGs para el futuro: diferencias con la predicción operativa
 - No ajustarse a la resolución temporal o espacial del MGC supone “perder información”. Muchos forzamientos físicos sólo se captan usando resoluciones finas. Por ello, debería trabajarse a escala diaria y sinóptica.
- De acuerdo con la idea 3:
 - No hacer estratificación estacional en la búsqueda de relaciones
- Otras recomendaciones:
 - Usar metodologías capaces de captar relaciones no-lineales entre predictores y predictandos
 - Los predictandos obtenidos deben tener coherencia espacial y meteorológica. Existen técnicas para garantizar esta coherencia

- Se deben simular adecuadamente los valores extremos de los predictandos, evitando el “suavizado de extremos”. Para ello se puede incluir un postproceso.

La metodología de downscaling de la Fundación para la Investigación del Clima (ver figura 1) es estadística. En un primer paso se seleccionan de un banco de datos de referencia del pasado, las situaciones atmosféricas de baja resolución más parecidas a la del día problema. En un segundo paso se realiza, entre la población de días análogos seleccionados, una regresión lineal múltiple con selección automática de predictores, y se aplica esa regresión a los valores de los predictores (p.ej. configuraciones simuladas por el MCG) del día problema, para estimar el valor del predictando (temperaturas máxima y mínima y precipitación diarias) en dicho día. La ejecución de este segundo paso (es decir, la búsqueda de relaciones predictores / predictando) tras una estratificación previa (la del paso 1), que selecciona días similares al día problema en cuanto a nubosidad y precipitación (la medida de similitud se ajustó con ese objetivo), permite reducir mucho la no linealidad en las relaciones entre predictores y predictandos.

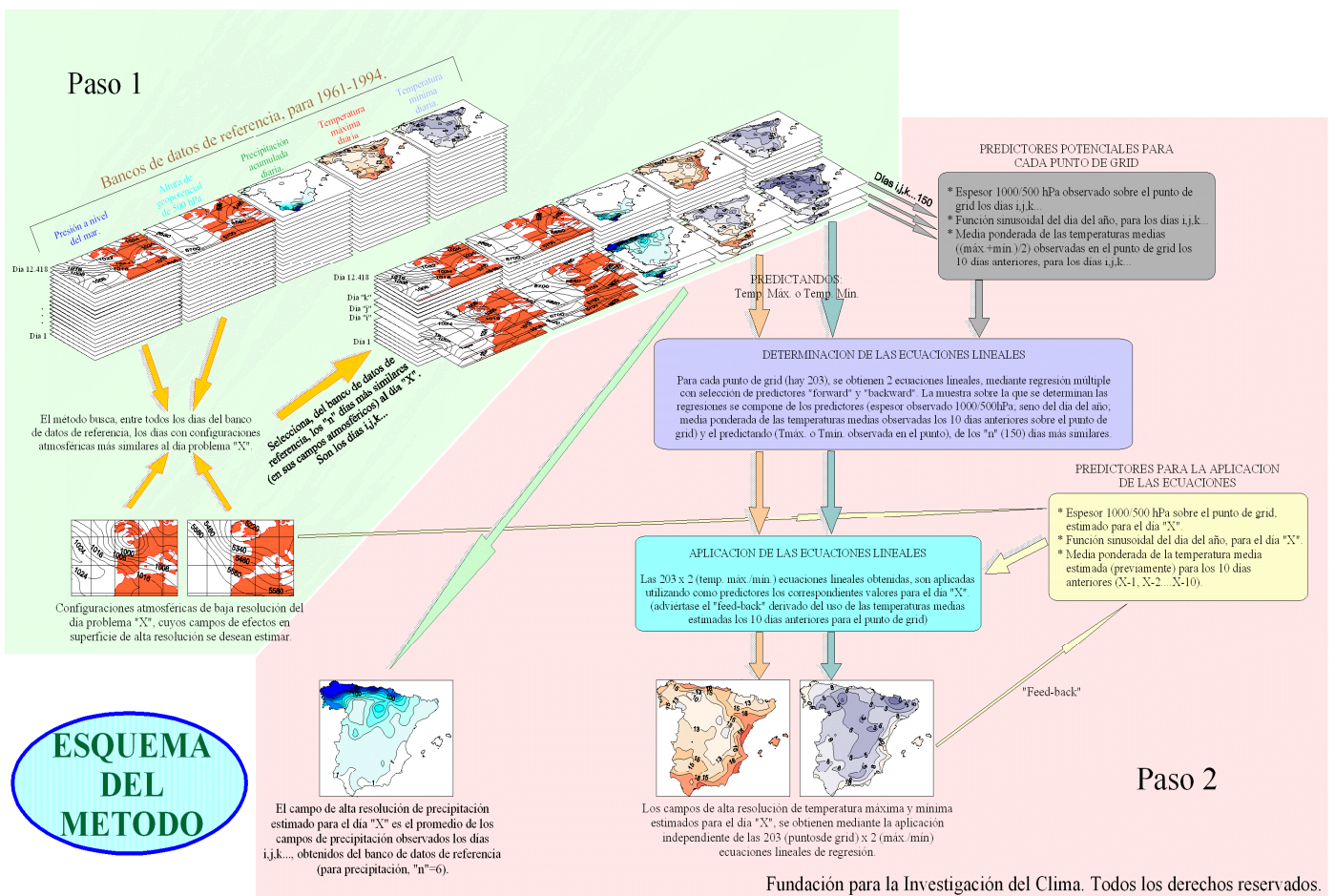


Figura 1: Esquema de la metodología de downscaling estadístico de la Fundación para la Investigación del Clima

Esta metodología es muy robusta desde el punto de vista teórico, y aporta soluciones muy eficaces y relativamente innovadoras. Por ejemplo, se ha incorporado una aproximación probabilística que ha permitido mejorar la capacidad de la metodología

para simular fenómenos extremos de precipitación, como pudo comprobarse en el proyecto STARDEX, enfocado precisamente a extremos meteorológicos. La selección de predictores y el resto de fases de desarrollo de la metodología se realizaron tras un detallado análisis teórico, intentando dar respuesta a las consideraciones anteriores.

2. VERIFICACIÓN:

La verificación de esta metodología (en su versión más evolucionada) ha sido realizada con éxito en varias ocasiones (Goodess et al., 2007). La figura 2 muestra, por ejemplo, la verificación realizada en el marco de la primera fase del Programa Nacional de Generación de Escenarios Climáticos Regionales (ver www.aemet.es, El Clima, Cambio Climático). Los resultados de esta verificación son excelentes para temperatura (con errores menores a 0,1°C), y claramente peores para precipitación (con errores entorno al 15% de infraestima).

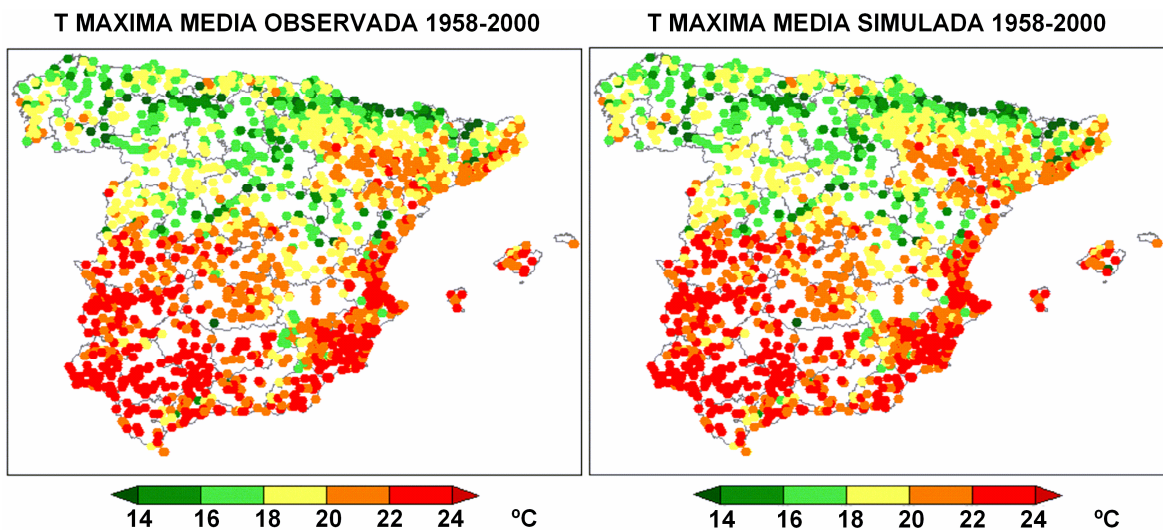


Figura 2: Comparación entre los valores observados y simulados de la media anual de temperatura máxima del periodo 1958-2000

3. ESCENARIOS:

Una vez verificada con éxito la metodología, se aplica a diferentes salidas de MCGs. Para consultar los resultados completos, tanto gráficos y mapas como las series de valores diarios simulados para cada observatorio, debe acudir al portal de AEMET. A continuación se ofrece un resumen de esos resultados.

La tabla 1 muestra el aumento de la temperatura (promedio de todos los observatorios, en este caso andaluces, pero con resultados similares para el conjunto nacional) simulado para cada década, para dos escenarios de emisiones (A2 y B2). Puede verse que la máxima se incrementaría por encima de los 2°C en la década del 2040, y que reducir emisiones (B2) tiene un efecto claro (a principios de siglo da más calentamiento porque también contempla una mayor redistribución de la riqueza, que aumentaría a corto plazo las emisiones de los países en desarrollo).

DECADA	T MAX		T MIN	
	A2	B2	A2	B2
2011-2020	0.95	1.21	0.75	0.99
2021-2030	1.59	1.55	1.20	1.09
2031-2040	1.79	1.77	1.40	1.40
2041-2050	2.05	1.97	1.57	1.50
2051-2060	2.75	2.48	2.11	1.89
2061-2070	3.50	2.39	2.61	1.83
2071-2080	3.84	2.74	2.87	2.05
2081-2090	4.59	3.13	3.43	2.39
2091-2100	5.28	3.15	3.85	2.40

Tabla 1: Aumento de la temperatura en °C (promedio de todos los observatorios andaluces) simulado para cada década, para dos escenarios de emisiones A2 y B2.

Pero esta información promedio para todos los observatorios, siendo importante, es insuficiente, como se ha dicho, para planificar actuaciones, que exige disponer de información para el punto del territorio en el que actuar. La figura 3 muestra el escenario previsto para el periodo 2041-2070 obtenido por downscaling de la salida del MCG canadiense CGCM2 para el escenario de emisiones A2, para temperatura máxima de enero y de julio. Se muestra el cambio simulado en °C con respecto al periodo de referencia 1961-1990.

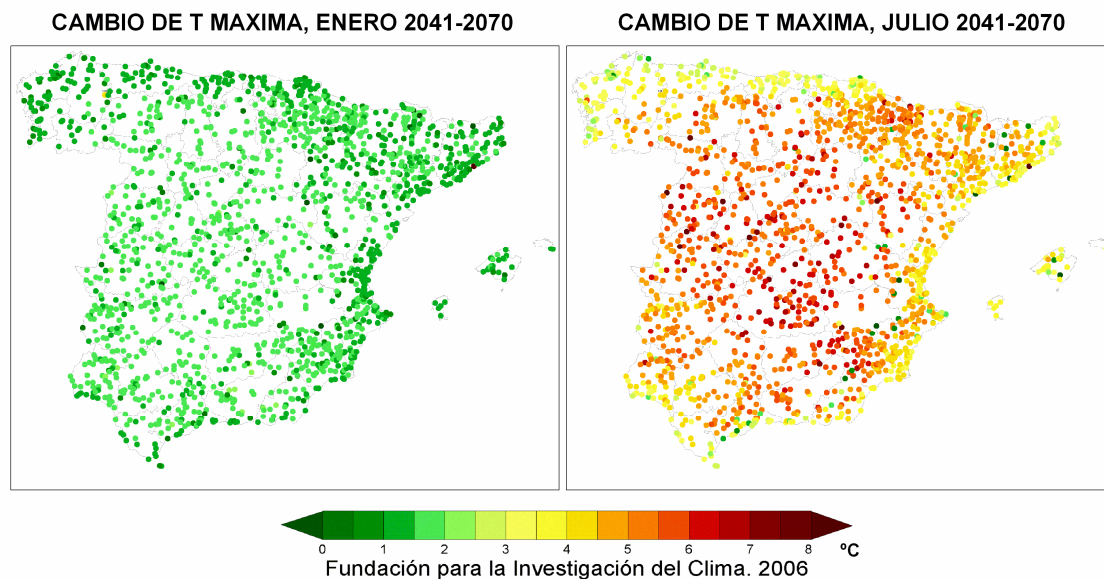


Figura 3: Cambio simulado de temperatura máxima (°C) previsto para 2041-2070, respecto a 1961-1990, para los meses de enero y julio. Modelo CGCM2, escenario A2.

En esta figura se observan las conclusiones más importantes de los escenarios generados:

1. Existe una gran heterogeneidad espacial, de forma que observatorios muy próximos presentan cambios notablemente diferentes, lo que justifica la utilidad y necesidad del downscaling.

2. Los calentamientos simulados son mayores para las zonas de interior que para las costas, y para las zonas de montaña con respecto a las zonas de menor altitud
3. Existe una gran heterogeneidad intraanual, siendo los calentamientos simulados para verano mucho mayores que los de invierno.

La figura 4 muestra la misma información, para julio de 2071-2100, con calentamientos superiores a los 8°C. No obstante hay que resaltar que el clima simulado para tan avanzado el siglo es tan diferente al actual, que es posible que la metodología esté fuera de su rango de aplicabilidad.

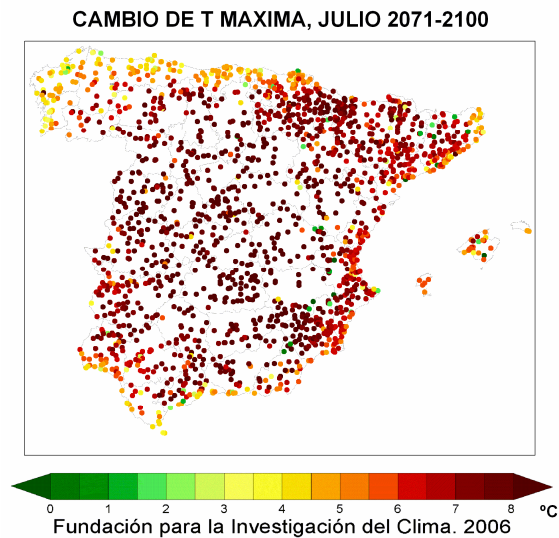


Figura 4: Cambio simulado de temperatura máxima (°C) previsto para 2071-2100, respecto a 1961-1990, para el mes julio. Modelo CGCM2, escenario A2 .

Estos resultados son coherentes con los obtenidos por otras metodologías de downscaling y con otros MCGs, como se detalla en el informe del portal de AEMET.

4. BIBLIOGRAFÍA

Déqué, M., R.G. Jones, M. Wild, F. Giorgi, J.H. Christensen, D.C. Hassell, P.L. Vidale, B. Rockel, D. Jacob, E. Kjellström, M. de Castro, F. Kucharski and B. van den Hurk, 2005: Global high resolution versus Limited Area Model climate change projections over Europe: quantifying confidence level from PRUDENCE results. *Clim. Dyn.*, 25(6), 653-670.

Goodess, C.M., Anagnostopoulou, C., Bárdossy, A., Frei, C., Harpham, C., Haylock, M.R., Hundecha, Y., Maheras, P., Ribalaygua, J., Schmidli, J., Schmith, T., Tolika, K., Tomozeiu, R. and Wilby, R.L., 2007: An intercomparison of statistical downscaling methods for Europe and European regions – assessing their performance with respect to extreme temperature and precipitation events. *Climatic Change*, submitted.

Gutiérrez, J.M., R. Cano, A.S. Cofiño, and C. Sordo, 2004: "Redes Probabilísticas y Neuronales en las Ciencias Atmosféricas", Monografías del Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, ISBN: 84-8320-281-6

Hewitt, C.D., 2005: The ENSEMBLES Project: Providing ensemble-based predictions of climate changes and their impacts. Published article appears in the EGGS newsletter, 13, 22-25. <http://www.the-eggs.org/?issueSel=24>

Huebener, H., Cubasch, U., Langematz, U., Spanghel, T., Nierhorster, F., Fast, I. and Kunze, M., 2007: "Ensemble climate simulations using a fully coupled ocean-troposphere-stratosphere General Circulation Model (GCM)". *Phil. Trans. R. Soc. A* 365. (doi:10.1098/rsta.2007.2078)

IPCC, 2007: "Climate Change 2007, Fourth Assessment Report of the IPCC - The Physical Science Basis (contribution of Working Group I); Impacts, Adaptation and Vulnerability (contribution of Working Group II); Mitigation of Climate Change (contribution of Working Group III); The Synthesis Report", Cambridge University Press.

Murphy, J., 1999: An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate, *Journal of Climate*, 12, 2256-2284.

Trigo, R.M. and Palutikof, J.P., 2001: 'Precipitation scenarios over Iberia: A comparison between direct GCM output and different downscaling techniques', *Journal of Climate*, 14, 4422-4446.

von Storch, H., 1994: Inconsistencies at the Interface of Climate Impact Studies and Global Climate Research. Report 122, Max-Planck-Institut für Meteorologie.

von Storch, H., 2004: A global problem - Global Change and the Earth System: A Planet under Pressure (Buchbesprechung). *Nature*. Vol. 429 (2004) 6989, 244 - 245.

von Storch, H. and N. Stehr, 2006: Anthropogenic climate change - a reason for concern since the 18th century and earlier. *Geogr. Ann.*, 88 A (2): 107-113.