

ESCENARIOS-PNACC 2012: RESULTADOS DE REGIONALIZACIÓN DINÁMICA

Jesús FERNÁNDEZ¹, Lluís FITA², Markel GARCÍA-DÍEZ^{1,3}, Juan Pedro MONTÁVEZ⁴, Pedro JIMÉNEZ-GUERRERO⁴, Marta DOMÍNGUEZ⁵, Raquel ROMERA⁵, Noelia LÓPEZ DE LA FRANCA⁵, Enrique SÁNCHEZ⁶, Giovanni LIGUORI⁷, William David CABOS⁷, Miguel Ángel GAERTNER⁶

¹*Depto. de Matemática Aplicada y CC Computación. Universidad de Cantabria*

²*Climate Change Research Center: University of New South Wales. Australia*

³*Instituto de Física de Cantabria. CSIC-Universidad de Cantabria*

⁴*Depto. de Física. Universidad de Murcia*

⁵*Instituto de Ciencias Ambientales. Universidad de Castilla-La Mancha*

⁶*Depto. de Ciencias Ambientales. Universidad de Castilla-La Mancha*

⁷*Depto. de Física. Universidad de Alcalá de Henares*

jesus.fernandez@unican.es, l.fitaborrell@unsw.edu.au, markel.garcia@unican.es, montavez@um.es, pedro.jimenezguerrero@um.es, Marta.Dominguez@uclm.es, Raquel.Romera@uclm.es, Noelia.LopezFranca@uclm.es, e.sanchez@uclm.es, giovanni.liguori@uah.es, william.cabos@uah.es, Miguel.Gaertner@uclm.es

RESUMEN

Este trabajo describe los resultados de la regionalización dinámica de escenarios del AR4 llevada a cabo en el marco del proyecto ESCENA, que es una colaboración de las universidades de Castilla-La Mancha, Cantabria, Murcia y Alcalá de Henares para contribuir a los escenarios regionales del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (Escenarios-PNACC 2012). Los resultados cubren tres escenarios de emisiones (A1B, A2 y B1) y tres modelos globales diferentes (ECHAM5, HadCM3 y Arpege), regionalizados por 4 modelos regionales diferentes (PROMES, WRF, MM5 y REMO) para el periodo 1951-2050.

Esta contribución detalla las características de los productos generados en el proyecto, y que se encuentran a disposición de los usuarios.

Palabras clave: Modelos Regionales Anidados, Cambio climático, Regionalización dinámica, Incertidumbre.

ABSTRACT

This work summarizes the dynamical downscaling of the AR4 climate change scenarios carried out in the framework of the ESCENA project. This project is a collaborative effort of the Universities of Castilla-La Mancha, Cantabria, Murcia and Alcalá de Henares, in order to contribute to the regional scenarios of the Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (Escenarios-PNACC 2012). The results of this project cover three emissions scenarios (SRES A1B, A2 and B1) and three different global climate models (ECHAM5, HadCM3 and Arpege), downscaled by means of 4 different regional climate models (PROMES, WRF, MM5 and REMO) for the period 1951-2050.

This communication summarizes the main features of the products generated within this project. These products are publicly available for end-users.

Key words: Regional climate models, Climate change, Dynamical downscaling, Uncertainty.

1. INTRODUCCIÓN

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) tiene como uno de sus objetivos desarrollar una nueva generación de escenarios regionales de cambio climático para el territorio español (Escenarios-PNACC 2012), utilizando todas las técnicas disponibles, y ponerlos a disposición de la sociedad en general. Esta nueva generación de escenarios regionales se nutre de la colaboración de distintos grupos de investigación e instituciones con experiencia en estos temas, organizados en dos acciones estratégicas del Plan Nacional de I+D+i 2008-11 para regionalización estadística (ESTCENA) y dinámica (ESCENA), junto con los proyectos de regionalización llevados a cabo en AEMET. Esta comunicación describe los resultados del proyecto de regionalización dinámica ESCENA, desarrollado en este marco, y que es complementario al proyecto de regionalización estadística ESTCENA descrito en otra comunicación de este libro (Gutiérrez et al., 2012).

Los modelos climáticos globales (GCMs) poseen una resolución espacial insuficiente para representar el clima a escala regional. Estos modelos no pueden reproducir de forma realista procesos atmosféricos de escala espacial similar o inferior al de las celdillas en que se discretiza el globo (cientos de kilómetros) para su resolución numérica. El clima de la Península Ibérica es el resultado de la acción de la circulación global y de sus interacciones con la orografía, los contrastes mar-tierra y de otros efectos locales que actúan en escalas claramente inferiores a las que puede resolver en la actualidad un GCM. Por ello, es necesario utilizar técnicas de regionalización (Giorgi y Mearns, 1991) que aprovechen la información de gran escala de los GCMs y la transfieran a la escala regional teniendo en cuenta las características que modulan el clima a esta escala.

La técnica de regionalización dinámica consiste en aplicar modelos regionales de clima (en adelante RCMs, del inglés *Regional Climate Model*) para realizar proyecciones de cambio climático en escalas de decenas de kilómetros de forma físicamente consistente. Los RCMs son esencialmente similares al módulo atmosférico de cualquier GCM, pero se aplican a un área limitada del globo, de forma que pueden ser ejecutados con mayor resolución y resolver adecuadamente la orografía, líneas de costa, usos de suelo, etc. Estos modelos requieren condiciones iniciales y de frontera (en los bordes del dominio regional) que se toman de las proyecciones de un modelo global.

Al igual que ocurre con los GCMs, diferentes centros desarrollan RCMs que difieren en diferentes aspectos como la forma de discretizar las ecuaciones o la forma de tratar los procesos que no es capaz de resolver la rejilla. La existencia de diferentes formulaciones en los RCMs introduce un nuevo elemento en la cadena de incertidumbres de la proyección del clima futuro. La forma de tratar esta incertidumbre, al igual que con los GCMs, es mediante el uso de un conjunto (*ensemble*) multi-modelo de simulaciones. Estos conjuntos multi-modelo consisten en realizar simulaciones de características similares con distintos RCMs. En Europa, esta aproximación se ha llevado a cabo en el marco de una serie de proyectos financiados a lo largo de las dos últimas décadas por la Unión Europea, culminando en el año 2009 con el proyecto ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org>). En este proyecto, referencia metodológica de ESCENA, se consideraron los RCMs más avanzados desarrollados en Europa (15 modelos en total), para generar proyecciones regionalizadas de cambio climático sobre una rejilla que abarca toda Europa con una resolución de 25km anidados en distintos GCMs del IPCC-AR4 forzados por un único escenario común de emisiones (A1B). Los resultados de este proyecto constituyen el conjunto de escenarios regionales más completo y actual a escala europea.

Esta misma metodología se ha seguido en ESCENA (sección 2) de forma que se complementan y amplían los escenarios obtenidos en estos proyectos anteriores, mediante el uso de nuevos RCMs (o nuevas versiones) y nuevas combinaciones GCM-RCM con escenarios de emisiones adicionales. En

el ámbito de la coordinación en la generación de *ensembles* multi-RCM, cabe destacar la reciente iniciativa internacional CORDEX (http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/SF_RCD_CORDEX.html), que promueve la generación y mejora de simulaciones regionales sobre una serie de regiones estándar. La iniciativa Euro-CORDEX producirá en años venideros escenarios regionales sobre toda Europa con una resolución cercana a los 10km. En la actualidad, todavía se están iniciando las simulaciones de referencia, con las que ESCENA comparte el forzamiento de ERA-Interim (sección 2.1).

2. PROYECTO ESCENA

El proyecto ESCENA (“Generación de escenarios regionalizados de cambio climático en España con modelos de alta resolución”) aglutina los esfuerzos de regionalización dinámica de las proyecciones globales del AR4 por parte de 4 grupos de investigación que vienen colaborando en este proyecto desde 2009. Cada grupo aporta su experiencia en la simulación numérica con un modelo climático regional diferente. En particular, las instituciones participantes son la Universidad de Castilla-La Mancha (modelo PROMES), que actúa como coordinador del proyecto, la Universidad de Murcia (modelo MM5), la Universidad de Alcalá de Henares (modelo REMO) y la Universidad de Cantabria (modelo WRF).

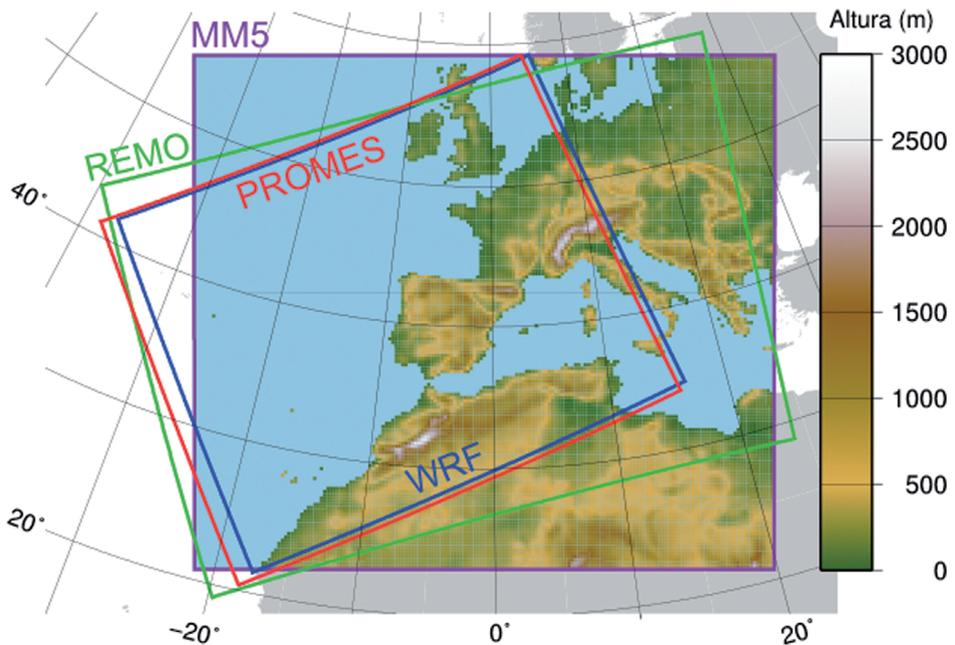


FIG. 1: Dominio espacial cubierto por cada uno de los modelos regionales de ESCENA. Se muestra únicamente el área aprovechable de cada simulación, es decir, después de eliminar la zona de relajación. En escala de color se muestra la orografía del modelo MM5. Figura adaptada de Jiménez-Guerrero et al. (2012).

Las simulaciones realizadas (véanse secciones 2.1 y 3) comparten un dominio mínimo que cubre todo el territorio español, incluidas las Islas Canarias, aunque cada modelo ha utilizado un dominio diferente (figura 1). La resolución horizontal es de aproximadamente 25 Km, por lo que la representación de regiones pequeñas como las Islas Canarias sigue siendo limitada.

Las simulaciones regionales se han anidado a simulaciones globales del AR4 (véase sección 2.2) con resoluciones horizontales del orden de 200-300 Km, por lo que se ha aumentado la resolución de éstas en un orden de magnitud.

ESCENA persigue la producción de escenarios de cambio climático para la primera mitad del siglo XXI complementarios a los producidos en el marco de proyectos anteriores como ENSEMBLES. En este sentido, comparte con éste resolución espacial, aunque el dominio de simulación se ha centrado sobre la Península Ibérica (figura 1) y se ha extendido para cubrir las Islas Canarias, de forma que cubre también otras zonas no consideradas en proyectos anteriores, como el noroeste de África. También se comparten dos de los modelos regionales de ENSEMBLES (PROMES y REMO), aunque incluyen en ESCENA diversas mejoras. Por último, se han utilizado los mismos modelos globales que forzaron las simulaciones de ENSEMBLES, aunque se ha tomado la realización número 2 del modelo ECHAM5/MPI-OM, en lugar de la 3, que se utilizó mayoritariamente en ese proyecto (estas realizaciones muestrean la incertidumbre asociada a la variabilidad interna del modelo global).

Por otro lado, ESCENA añade dos modelos regionales que no estaban presentes en proyectos europeos multi-modelo anteriores (MM5 y WRF) y explora los escenarios A2 y B1, además del A1B utilizado en ENSEMBLES. Además de estas fuentes de incertidumbre, se explora la incertidumbre asociada a las parametrizaciones físicas (Fernández et al. 2007, Jerez et al. 2012) mediante la inclusión de dos configuraciones del modelo WRF (véase sección 2.1).

2.1. Modelos regionales

En ESCENA se han utilizado 4 modelos regionales diferentes que representan el estado del arte de la modelización numérica de la atmósfera a alta resolución. Las características de los modelos se describen en detalle en Jiménez-Guerrero et al. (2012) y Domínguez et al. (2012). La tabla 1 resume detalles técnicos relacionados con la resolución y proyección geográfica de los modelos, que es importante para los usuarios de los resultados, ya que los datos de mayor resolución se encuentran en la malla nativa de cada modelo, que no es regular en latitud-longitud. La tabla 1 proporciona, además, la referencia para obtener todos los detalles en cuanto a la dinámica y parametrizaciones físicas de los modelos.

RCM	Proyección	Res. Horiz.	Res. Vert.	Referencia
PROMES	Lambert cónica	25 Km	37	Domínguez et al. (2010)
MM5	Lambert cónica	25 Km	30	Grell et al. (1994)
REMO	Lat-lon polo rotado	0.22°	31	Jacob et al. (2001)
WRF	Lambert cónica	25 Km	33	Skamarok et al. (2008)

TABLA 1: Resolución horizontal y vertical (número de niveles) de cada uno de los modelos utilizados y referencia bibliográfica.

Una de las tareas iniciales del proyecto ha sido el estudio y adaptación de los modelos a la zona de interés. A modo de ejemplo, García-Díez et al. (2012) realizan un estudio de la sensibilidad del clima simulado con WRF sobre Europa a la elección de la parametrización de capa límite planetaria (PBL). Además de la validación del modelo en base a climatologías, realizan un análisis del ciclo diario, que supone una validación mucho más exigente para los modelos regionales y que permite un

análisis en base a procesos físicos (Nikulin et al. 2012). Este estudio inicial pone de manifiesto que la elección de la parametrización de la PBL introduce cambios notables en la simulación de variables superficiales (las de mayor interés a escala regional y de impactos). Además, no es posible elegir una única parametrización que funcione mejor a lo largo de todo el ciclo anual, como ya se había puesto de manifiesto en estudios previos (Fernández et al. 2007, Jerez et al. 2012). Tras este estudio inicial, en ESCENA se decide utilizar la parametrización de la PBL en el WRF para explorar esta fuente de incertidumbre. En concreto, se utiliza un esquema local (WRF-A), Mellor-Yamada-Janjic, y uno no local (WRF-B), el desarrollado en la Yonsei University, que es una nueva versión de la parametrización MRF utilizada en las simulaciones con MM5.

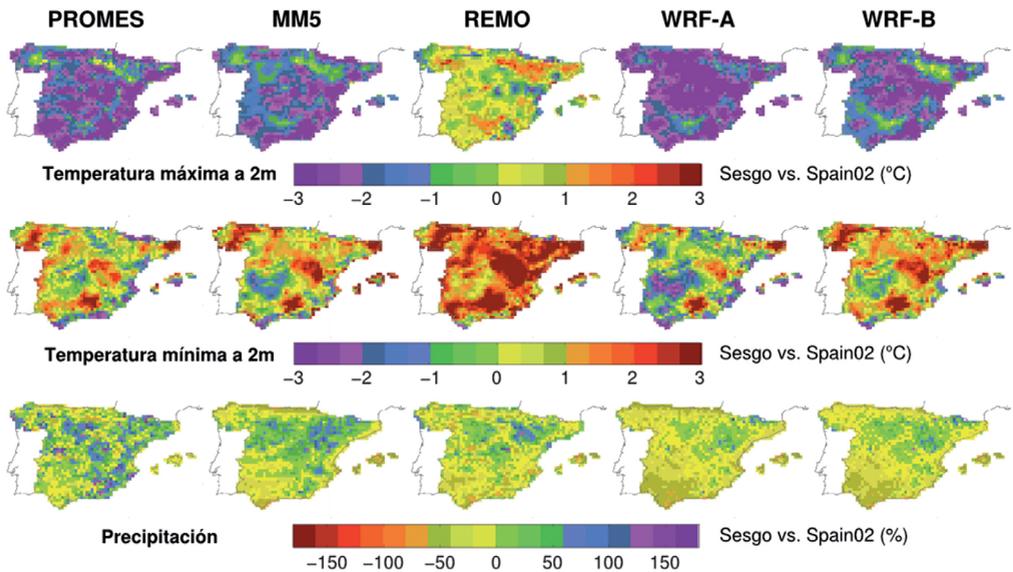


FIG. 2: Sesgos de los modelos regionales de ESCENA en invierno (DEF), con respecto a la base de datos Spain02. Figura adaptada de Jiménez-Guerrero et al. (2012).

Los RCMs suelen mostrar sesgos respecto a la realidad observada (figura 2). Esto es debido a que utilizan principios físicos para obtener las variables climáticas a partir de unas condiciones de frontera distantes y el conocimiento de otras variables no climáticas (como las características del terreno y la vegetación) que, a menudo, se conocen con poca precisión. Además, la representación de fenómenos de pequeña escala se aborda necesariamente mediante modelos físicos simplificados (parametrizaciones) que dependen de parámetros no observables que tienen que ser calibrados empíricamente. Por lo tanto, los datos proporcionados por un RCM deben ser interpretados y utilizados a la luz de estos sesgos (por ejemplo, corrigiéndolos estadísticamente, o utilizando análisis insensibles a ellos). A cambio, estos modelos proporcionan multitud de variables climáticas (véase, por ejemplo, la tabla 4) consistentes dinámicamente entre sí y con los forzamientos, tanto los de gran escala (circulación del GCM, concentraciones de GHG, etc.) como los que modulan el clima regional (orografía, usos y tipo de suelo, lagos y líneas de costa, etc.).

Las primeras simulaciones disponibles en ESCENA constituyen simulaciones con condiciones de frontera “perfectas”, que permiten establecer los sesgos de cada modelo (figura 2) y entrenar modelos estadísticos para corregirlos, si este paso fuera necesario. Las condiciones de frontera se tomaron del

reanálisis ERA-Interim (Dee et al, 2011), que es la última generación de reanálisis producido en el Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio. Estas simulaciones cubren el periodo 1989-2008. Este mismo reanálisis es el que se está utilizando actualmente en CORDEX. Nótese que las simulaciones de referencia en ENSEMBLES utilizaron el reanálisis ERA40 (ya que ERA-Interim no estaba disponible), al igual que la calibración de la regionalización estadística en ESTCENA (ya que ERA40 proporciona un periodo más largo para dar mayor significación a las relaciones empíricas encontradas).

2.2. Modelos globales

En ESCENA se han utilizado tres GCMs diferentes del AR4, interpolados de sus resoluciones nativas a mallas Gaussianas de resoluciones aproximadas dadas en la tabla 2 y a niveles de presión en la vertical. Los datos se han obtenido directamente de los centros productores, a los que agradecemos su esfuerzo en la generación, almacenamiento y distribución de las salidas. Estas salidas no están disponibles públicamente con la resolución temporal (6 horaria) y vertical requerida para su uso como condiciones de frontera en los RCMs.

Acrónimo	ECHAM5 r2	CNCM3	HadCM3 Q3,Q16
Institución	Max Planck Institute für Meteorologie, Alemania	CNRM-MétéoFrance, Francia	Met Office Hadley Center, Reino Unido
Referencia	Jungclauss et al. (2006)	Salas-Méllia et al (2005)	Collins et al (2006)
Atmósfera	ECHAM5	ARPEGE CI3	HadAM3
Resolución	T63 L31	T63 L45	3.75°x2.5° L19
Res. ESCENA	~1,875°x1,875° L14	~2.8°x2.8° L9	3.75°x2.5° L19
Océano	MPI-OM	OPA 8.1	HadOM3

TABLA 2: *Modelos globales utilizados en escena*

Con el modelo HadCM3 se ha explorado la incertidumbre asociada a la perturbación de parámetros físicos en el GCM (Collins et al, 2006). En particular, se han seleccionado dos configuraciones de parámetros que dan lugar a una baja (HadCM3Q3) y alta (HadCM3Q16) sensibilidad de la temperatura global.

3. BASE DE DATOS RESULTANTE

La combinación de todos los modelos regionales (sección 2.1) con todos los modelos globales (sección 2.2) forzados con los tres escenarios de emisiones SRES A1B, A2 y B1, da lugar a una “matriz de simulaciones” enorme, que no es posible afrontar. Ante la imposibilidad de rellenar por completo la matriz existen dos opciones: (1) explorar menos incertidumbres para rellenarla por completo o (2) rellenar un número limitado de combinaciones, para poder estudiar, al menos parcialmente, las diferentes fuentes de incertidumbre. En ESCENA, como en ENSEMBLES, se ha seguido esta última aproximación. Sin embargo, se ha diseñado la matriz de simulaciones (tabla 3) de forma que todos los modelos regionales se han anidado a una misma simulación global (ECHAM5r2-A1B) y varios modelos regionales (PROMES, MM5) se han anidado a todas las simulaciones globales disponibles. En total, se han llevado a cabo 1500 años de simulaciones regionales de alta resolución.

GCM	Escenarios	ESCENA				
		PROMES	MM5	REMO	WRF-A	WRF-B
ECHAM5 r2	CTRL	+	+	+	+	+
	A1B	+	+	+	+	+
	A2	+	+		+	
	B1	+	+	+		
CNCM3	CTRL	+	+			
	A1B	+	+			
	B1	+	+			
HadCM3 Q3	CTRL	+	+			
	A1B	+	+			
HadCM3 Q16	CTRL	+	+			
	A1B	+	+			

Tabla 3: Matriz de proyecciones de escena, con las distintas combinaciones GCM/RCM para las que están disponibles las variables de la tabla 4. cada cruz (+) representa 50 años de simulación: 1951-2000 (CTRL) ó 2001-2050 (a1b/a2/b1).

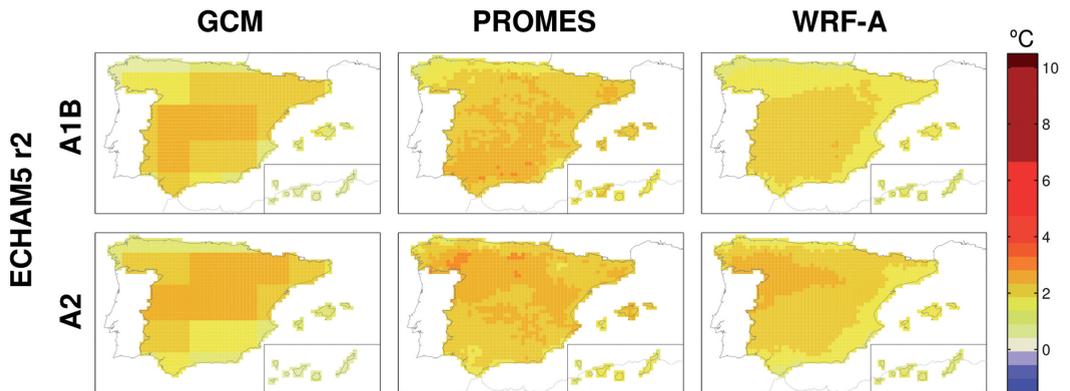


FIG. 3: Cambios en la temperatura máxima de verano (JJA) proyectados por los modelos PROMES y WRF-A anidados en el modelo ECHAM5 r2 (se muestra su salida directa en la columna GCM) para el periodo 2021-2050 respecto a la climatología del periodo 1961-1990.

El resultado final del proyecto ESCENA consiste en un conjunto de proyecciones para las variables mostradas en la tabla 4, que están disponibles para las combinaciones Escenario/GCM/RCM mostradas en la tabla 3 a través de la página web del proyecto: <http://proyectoescena.uclm.es>. En esta página Web se encuentra el portal de entrada a los datos en su malla original y máxima resolución temporal. Además, se enlaza con los datos de proyecciones agregados a escala mensual e interpolados a mallas regulares en latitud-longitud. En este portal se pueden consultar las últimas actualizaciones de datos, resultados básicos de los cambios proyectados para el periodo 2021-2050 con respecto al periodo de referencia 1961-1990 (e.g. figura 3), así como análisis del papel que juegan cada una de las fuentes de incertidumbre consideradas en el proyecto. Las principales publicaciones e informes técnicos relacionados con el proyecto se encuentran también disponibles a través de este portal de Internet.

VARIABLE	ABREVIATURA	FREC.	UNIDADES
Variables 2D			
Temperatura del aire a 2m	tas	3h	K
Temperatura máx/mín del aire a 2m	tasmax / tasmin	d	K
Temperatura superficial máx/mín	tsmax / tsmin	d	K
Temperatura superficial del mar	sst	d0	K
Velocidad U/V del viento a 10 metros	uas / vas	3h	m s-1
Velocidad máx. del viento a 10 metros	wssmax	d	m s-1
Humedad específica a 2m	huss	3h	kg kg-1
Humedad relativa a 2m	hurs	3h	1
Humedad relativa máx/mín a 2m	hursmax / hursmin	d	1
Temperatura del punto de rocío a 2m	tdps	3h	K
Presión al nivel del mar	psl	3h	Pa
Presión en superficie	ps	3h	Pa
Precipitación	pr	d	kg m-2 s-1
Precipitación máxima en una hora	prhmax	d	kg m-2 s-1
Precipitación de gran escala	prls	d	kg m-2 s-1
Precipitación convectiva	prc	d	kg m-2 s-1
Agua precipitable	prw	d	kg m-2
Precipitación en forma de nieve	prsn	d	kg m-2 s-1
Evaporación	evspsbl	3h	kg m-2 s-1
Nubosidad total (fracción)	clt	d	1
Flujo de calor sensible/latente en superf.	hfss / hfsl	3h	W m-2
Flujo de calor hacia el suelo	hfso	d	W m-2
Rad. onda corta/larga neta en superf.	rss / rls	d	W m-2
Rad. onda corta/larga incidente en superf.	rsds / rlds	d	W m-2
Rad. onda corta/larga neta en el tope atm.	rst / rlut	d	W m-2
Rad. onda corta/larga incidente en el tope atm.	rsdt	d	W m-2
Humedad en los 10 primeros cm del suelo	mrsos	d	kg m-2
Humedad total del suelo	mrso	d0	kg m-2
Acumulación de nieve en superficie	snw	d0	kg m-2
Escorrentía superficial	mrros	d	kg m-2 s-1
Variables 3D (en niveles de presión)			
Altura geopotencial ^(A)	zg	6h	m
Humedad relativa ^(B)	hur	6h	1
Velocidad del viento U/V ^(C)	ua / va	12h	m/s
Temperatura ^(D)	ta	d0	K

TABLA 4: Variables de salida del proyecto escena. se muestra la máxima resolución temporal disponible: instantánea cada 3/6/12 horas (3h/6h/12h), instantánea diaria a las 0:00 horas (D0), promedio/acumulado/máximo/mínimo diario (D). las variables 3d están disponibles en niveles de presión: (A) 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300 y 100 HPA, (B) 1000, 925, 850 y 700 HPA, (C) 850, 700 y 500 HPA, (D) 1000, 850, 700 y 500 HPA.

4. CONCLUSIONES

El proyecto ESCENA proporciona proyecciones climáticas que cubren el periodo 1951-2050 obtenidas mediante la regionalización dinámica de proyecciones globales del 4º informe de evaluación del IPCC. Estas proyecciones cubren las incertidumbres asociadas a los escenarios de emisiones, a la formulación de los GCMs, a los parámetros de un GCM, a la formulación de los RCMs y a la elección de parametrizaciones en el RCM. A pesar de que su elevado coste computacional impide la simulación de todas las combinaciones posibles, este conjunto de datos sin precedentes sobre la Península Ibérica posibilita un elevado número de estudios tanto en climatología como en los diversos sectores de impactos.

Los resultados del proyecto son especialmente útiles en estudios que involucran variables difícilmente medibles y de las que no se dispone de observaciones con la suficiente densidad espacial o continuidad temporal. En esta situación, las técnicas dinámicas de regionalización son las únicas que permiten obtener un conjunto de variables que mantienen las relaciones físicas causales entre ellas y que, además, se obtienen sobre una malla regular en el espacio y con una alta frecuencia temporal. Así, las variables de la base de datos de ESCENA resuelven incluso el ciclo diario de algunas variables como la temperatura, el viento o la humedad y proporcionan variables como los flujos de calor en superficie, de los que se dispone de pocas observaciones.

Como cualquier otro modelo, los RCMs poseen sesgos respecto a la realidad observada. En parte heredados de los GCMs y en parte generados por las propias aproximaciones de los RCMs. Estos sesgos deben ser evaluados y tenidos en cuenta a la hora de aplicar las salidas de este proyecto. Estas salidas, así como información técnica, publicaciones y resultados del proyecto se encuentran disponibles públicamente a través de la página Web <http://proyectoescena.uclm.es>.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, dentro de la acción estratégica Energía y Cambio Climático (proyecto ESCENA, “Generación de escenarios regionalizados de cambio climático en España con modelos de alta resolución”, Ref: 200800050084265). Se agradece también a los proveedores de datos de modelos globales: Instituto Max Planck de Meteorología (Alemania, modelo ECHAM5/MPI-OM), Centro Nacional de Investigaciones Meteorológicas - MétéoFrance (Francia, modelo CNRM-CM3) y Met Office Hadley Center (Reino Unido, modelo HadCM3).

REFERENCIAS

- Collins, M.; Booth, B.; Harris G.; Murphy J.; Sexton D. y Webb M. (2006). “Towards quantifying uncertainty in transient climate change”. *Climate Dyn*, 27, pp: 127-147
- Dee, D. P. y otros 34 autores (2011). “The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system”. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 137, pp: 553-597.
- Domínguez, M.; Gaertner, M.A.; de Rosnay, P. y Losada T. (2010). “A regional climate model simulation over West Africa: parameterization tests and analysis of land surface fields”. *Climate Dynamics*, 35, pp: 249-265. DOI: 10.1007/s00382-010-0769-3
- Domínguez, M.; Romera, R.; Sánchez, E.; Fita, L.; Fernández, J.; Jiménez-Guerrero, P; Montávez, J.; Cabos, W.; Liguori, G. y Gaertner, M. A. (2011). “Precipitation and temperature extremes over peninsular Spain from a set of high resolution RCMs: spatial distribution and particular events”. *Climate Research*, Enviado.
- Fernández, J.; Montávez, J.P.; Sáenz, J.; González-Rouco, J.F. y Zorita, E. (2007). “Sensitivity of the MM5 mesoscale model to physical parameterizations for regional climate studies: Annual cycle”. *J Geophys Res*, 112, pp: D04101

- García-Díez, M.; Fernández, J.; Fita, L. y Yagüe, C. (2012) “Seasonal dependence of WRF model biases and sensitivity to PBL schemes over Europe”. *Quart J Roy Meteor Soc*, En prensa. DOI: 10.1002/qj.1976.
- Giorgi, F. y Mearns L. O. (1991). “Approaches to the simulation of regional climate change: A review”. *Rev. Geophys.*, 29, pp:191–216, DOI:10.1029/90RG02636.
- Grell, G.; Dudhia, J. y Stauffer, D. R. (1994). *A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5)*. National Center for Atmospheric Research Technical Note, TN-398+STR.
- Gutiérrez, J. M.; Ribalaygua, J.; Llasat, C.; Romero, R.; Abaurrea, J. y Rodríguez-Camino, E. (2012). Escenarios-PNACC 2012: Descripción y análisis de los resultados de regionalización estadística. En: Rodríguez Puebla, C.; Ceballos Barbancho, A.; González Reviriego, N.; Morán Tejeda, E. y Hernández Encinas, A. (Eds.). *Cambio climático, extremos y sus impactos*. Asociación Española de Climatología.
- Jacob, D.; van den Hurk, B. J. J. M.; Andrae, U.; Elgered, G.; Fortelius, C.; Graham, L.P. ; Jackson, S. D.; Karstens, U.; Koepken, C.; Lindau, R.; Podzun, R.; Rockel, B.; Rubel, F.; Sass, B. H.; Smith, R. y Yang, X. (2001). “A Comprehensive Model Intercomparison Study Investigating the Water Budget During the PIDCAP Period”. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 77, pp: 19-44.
- Jerez, S.; Montávez, J.; Jiménez-Guerrero, P.; Gómez-Navarro, J.; Lorente, R. y Zorita, E. (2012). “A multiphysics ensemble of present-day climate regional simulations over the Iberian Peninsula”. *Climate Dyn*, en prensa.
- Jiménez-Guerrero, P.; Montávez, J.; Domínguez, M.; Romera, R.; Sánchez, E., Fita, L.; Fernández, J.; Cabos, W.; Liguori, G. y Gaertner, M.A. (2012). “Description of mean fields and interannual variability in an ensemble of RCM evaluation simulations over Spain: results from the ESCENA project”. *Climate Research*, enviado.
- Jungclaus, J.; Keenlyside, N.; Botzet, M.; Haak, H.; Luo, J.; Latif, M.; Marotzke, J.; Mikolajewicz, U. y Roeckner, E. (2006). “Ocean circulation and tropical variability in the coupled model ECHAM5/MPI-OM”. *J. Climate*, 19, pp: 3952-3972.
- Nikulin, G.; Jones, C.; Samuelsson, P.; Giorgi, F.; Sylla, M.B.; Asrar, G., Büchner, M.; Cerezo-Mota, R.; Christensen, O. B.; Déqué, M.; Fernández, J.; Hänsler, A.; van Meijgaard, E. y Sushama, L. (2012). “Precipitation Climatology in An Ensemble of CORDEX-Africa Regional Climate Simulations”. *J. Climate*, DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00375.1
- Salas-Méila D, Chauvin F.; Déqué, M.; Douville, H.; Guérémy, J.; Marquet, P.; Planton, S.; Royer, J y Tyteca, S. (2005). *Description and validation of the CNRM-CM3 global coupled model*. CNRM working note 103.
- Skamarock, W.C.; Klemp, J.B.; Dudhia, J.; Gill, D.O.; Barker, D.M.; Duda, M.G.; Huang, X.Y.; Wang, W. y Powers, J.G. (2008). *A description of the Advanced Research WRF version 3*. National Center for Atmospheric Research Technical Note, TN-475+STR.