

Escenarios-PNACC Datos mensuales

Nueva colección de escenarios de cambio climático regionalizados del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) Datos mensuales

GUÍA DE USUARIO

Versión Febrero 2015

ÍNDICE

0. RESUMEN EJECUTIVO	3
I. INTRODUCCIÓN	4
<i>I.1. Objetivo del Manual</i>	<i>4</i>
<i>I.2. Los escenarios climáticos regionalizados y el Plan Nacional de Adaptación al cambio climático (PNACC)</i>	<i>4</i>
<i>I.3. El proyecto Escenarios-PNACC Datos mensuales</i>	<i>5</i>
II. PROYECCIONES Y ESCENARIOS CLIMÁTICOS	7
<i>II.1. Modelos globales del clima</i>	<i>7</i>
<i>II.2. Regionalización de modelos globales: técnicas dinámicas y estadísticas</i>	<i>8</i>
<i>II.3. Consideraciones sobre la incertidumbre</i>	<i>11</i>
III. CARACTERÍSTICAS DE LA COLECCIÓN ESCENARIOS-PNACC Datos mensuales	13
<i>III.1. Características generales</i>	<i>13</i>
<i>III.2. Modelos globales</i>	<i>13</i>
<i>III.3. Escenarios de emisiones. Escenario de control</i>	<i>14</i>
<i>III.4. Horizontes temporales de los escenarios.</i>	<i>15</i>
IV. CATÁLOGO DE PRODUCTOS Y PROYECCIONES CLIMÁTICAS DE ESCENARIOS-PNACC Datos mensuales	15
<i>IV.1. Perfiles de usuario. Productos</i>	<i>15</i>
<i>IV.2. Salidas de los productos numéricos</i>	<i>17</i>
<i>IV.3. Formatos de los productos</i>	<i>18</i>
<i>IV.4. Catálogo de proyecciones climáticas regionalizadas de Escenarios-PNACC Datos mensuales</i>	<i>19</i>
V. RECOMENDACIONES PARA EL USO DEL CATALOGO DE DATOS Y PRODUCTOS	22
VI. ACCESO Y DESCARGA DE LOS DATOS Y PRODUCTOS	24
<i>VI.1. Usuarios no especializados</i>	<i>24</i>
<i>VI.2. Usuarios especializados</i>	<i>27</i>
VII. CAMBIO DE ESCALA. RECOMENDACIONES PARA LA INTERPOLACIÓN ESPACIAL	27
VIII. INFORMACIÓN DE DETALLE DE LAS FUENTES DE DATOS DE ESCENARIOS-PNACC Datos mensuales	28
<i>VIII.1. Escenarios climáticos regionalizados dinámicos - proyecto ESCENA</i>	<i>29</i>
<i>VIII.2. Escenarios climáticos regionalizados estadísticos - proyecto ESTCENA</i>	<i>32</i>
<i>VIII.3. Escenarios climáticos regionalizados dinámicos y estadísticos - AEMET</i>	<i>34</i>
<i>VIII.4. Escenarios climáticos regionalizados DINÁMICOS - proyecto ENSEMBLES</i>	<i>42</i>
IX. REFERENCIAS	45

0. RESUMEN EJECUTIVO

Esta Guía de Usuario, presenta y documenta la nueva colección de escenarios climáticos regionalizados del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, denominada Escenarios-PNACC Datos mensuales. La guía pretende ser un documento vivo, donde se irán describiendo las sucesivas actualizaciones de escenarios regionalizados sobre España a medida que vayan estando disponibles, con el fin de ofrecer las proyecciones regionalizadas basadas en el mejor conocimiento científico disponible en cada momento.

Escenarios-PNACC Datos mensuales proporciona una completa colección de productos procesados que se han elaborado con el objetivo de facilitar al usuario especializado su uso y aplicación en los distintos ámbitos del PNACC, principalmente en las evaluaciones sectoriales de impactos, vulnerabilidad y adaptación.

También tienen como objetivo, servir a usuarios menos especializados y a un público sin un perfil técnico específico, y con una capacidad limitada de procesamiento de datos. Para ellos se están desarrollando adicionalmente a los datos numéricos productos de tipo gráfico y descriptivo, con el objetivo presentar una síntesis de la evolución del clima que proyectan los modelos globales y sus correspondientes regionalizaciones a lo largo del siglo XXI.

Los modelos globales del clima, por su baja resolución espacial, no son adecuados para llevar a cabo estudios detallados de evaluación de los impactos del cambio climático. Con el objeto de aumentar dicha resolución, se han aplicado diversas técnicas de regionalización tanto estadísticas como dinámicas. La colección de Escenarios-PNACC Datos mensuales incluye proyecciones regionalizadas pertenecientes a ambas categorías, resultado de los proyectos: ESCENA, ESTCENA, ENSEMBLES y los proyectos de regionalización de AEMET. Los productos de Escenarios-PNACC Datos mensuales se complementan entre sí, y han sido convenientemente procesados para homogeneizarlos en términos de geo-referenciación, formato y resolución.

Esta guía de usuario, además, informa sobre las distintas técnicas de regionalización con sus fortalezas y debilidades, y suministra unas útiles consideraciones sobre las incertidumbres asociadas, para que el usuario pueda proceder disponer de cierto criterio a la hora de seleccionar y utilizar los datos y los productos procedentes de Escenarios-PNACC Datos mensuales. Las incertidumbres asociadas a las emisiones de gases de efecto invernadero, los modelos globales y las técnicas de regionalización pueden explorarse con la utilización de los distintos escenarios de emisión considerados, los distintos modelos globales y las distintas técnicas de regionalización incluidas en Escenarios-PNACC Datos mensuales. En la guía se describen el catálogo de productos, las variables, los formatos de presentación, y se ha incluido finalmente una serie de recomendaciones de uso principalmente dirigidas a usuarios no especializados.

Finalmente, debemos señalar que, el grupo de trabajo que ha puesto ha elaborado y hecho posible esta colección de Escenarios-PNACC Datos mensuales a saber, La Oficina Española de Cambio Climático (OECC), la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), la Universidad de Castilla La Mancha (UCLM) y la Universidad de Cantabria (UC), queda consolidado con la vocación de que haya una continuidad en la permanente actualización de los Escenarios-PNACC Datos mensuales, y también para asesorar sobre las cuestiones y dudas que los distintos usuarios puedan plantear.

I. INTRODUCCIÓN

I.1. Objetivo del Manual

El objetivo de esta Guía de usuario es presentar y documentar la nueva colección de escenarios de cambio climático del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, denominada **Escenarios-PNACC Datos mensuales**, y promover y facilitar su conocimiento y aplicación en los distintos ámbitos del PNACC, principalmente para facilitar las evaluaciones sectoriales de impactos, vulnerabilidad y adaptación, pero también para difundir el conocimiento y facilitar la comprensión de la dimensión y la dirección cambio climático en España.

I.2. Los escenarios climáticos regionalizados y el Plan Nacional de Adaptación al cambio climático (PNACC)

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)¹ es el marco de referencia para las actividades de adaptación al cambio climático en España. El conocimiento detallado de las condiciones climáticas actuales y la estimación del clima futuro de nuestro país, mediante modelos denominados escenarios climáticos regionalizados, constituyen uno de los elementos comunes e imprescindibles para llevar a cabo las evaluaciones de impactos y vulnerabilidad en los sectores y sistemas sensibles al cambio climático, y por tanto para diseñar políticas de adaptación. Por ello, la estructura del PNACC se ha construido alrededor de la información climática presente y futura que proporcionan los escenarios.

Los escenarios regionalizados de cambio climático son proyecciones del clima futuro sobre una región geográfica o territorio determinado, elaboradas con una resolución espacial lo más aproximada posible, de acuerdo con la capacidad científico-técnica en cada momento, a aquella a la que se realiza la planificación sectorial. Estas proyecciones se obtienen generalmente a partir de modelos globales de circulación general donde los distintos componentes del sistema climático interactúan de forma acoplada (los llamados GCM, del inglés *Global Climate Model*), cuya escasa resolución espacial los hace poco aplicables para las evaluaciones de impactos y vulnerabilidad frente al cambio climático, que por lo general deben realizarse a escalas lo suficientemente detalladas para considerar las particularidades físicas y socioeconómicas de cada territorio considerado.

Es, por tanto, un objetivo central del PNACC generar escenarios de cambio climático regionalizados para el territorio español, de mayor resolución espacial que los modelos globales de los que derivan, y ponerlos a disposición de los distintos expertos, agentes y actores sectoriales, de los administradores públicos y privados, y de la sociedad en general, para facilitar su uso en evaluaciones de los impactos del cambio climático, y el conocimiento y la comprensión del problema que afrontamos.

El PNACC identifica a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) como la institución responsable de garantizar el desarrollo de este componente esencial, con el mandato de coordinar a los grupos de investigación españoles más activos en este campo para sumar esfuerzos y ofrecer una colección unificada de escenarios de cambio climático para España, convenientemente ordenado y documentado. Esta colección se considera, por tanto, la referencia para la descripción y la evaluación de los impactos y la vulnerabilidad del cambio climático en España.

¹ <http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/plan-nacional-adaptacion-cambio-climatico/>

La fase inicial de este trabajo, desarrollada con carácter de urgencia, se materializó en una primera colección de escenarios, puesta a disposición de los usuarios a través de la página Web de AEMET y una publicación, “Generación de escenarios regionalizados de cambio climático en España”², que vio la luz en el año 2008. Esta primera colección de escenarios, basada en los modelos del Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), ha tenido un amplio uso en trabajos e investigaciones sobre impactos del cambio climático en diversos sectores y sistemas del PNACC, como los recursos hídricos, las zonas costeras, la biodiversidad, o el turismo, y que han proporcionado una base de información sobre los posibles efectos del cambio climático a lo largo del siglo XXI en estos sectores críticos para avanzar en materia de integración de la adaptación al cambio climático en su planificación y gestión, así como en la de otros sectores asociados.

I.3. El proyecto Escenarios-PNACC Datos mensuales

Nuevos escenarios adaptados al nuevo conocimiento

En este manual se presenta la segunda colección de escenarios climáticos regionalizados, elaborada de acuerdo con el criterio especificado en el PNACC de coordinar la actividad de los mejores equipos de generadores de escenarios activos en España. Los cambios con respecto a la primera colección son muy significativos, ya que se ofrece un conjunto mucho más completo de escenarios y datos, que además recoge los progresos científico-técnicos y la mayor capacidad de modelizar el sistema climático a nivel global, pues se emplean los escenarios globales del Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del IPCC, y en las técnicas de regionalización y evaluación de los modelos resultantes.

La nueva colección de escenarios regionalizados de cambio climático, **Escenarios-PNACC Datos mensuales**, procede de distintas fuentes que abarcan metodologías alternativas de regionalización:

- (i) Dos proyectos financiados por el antiguo Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, hoy Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) en el marco del Plan Nacional de I+D+i 2008-11 y su Acción Estratégica Energía y Cambio Climático:
 - i. ESCENA, de regionalización dinámica,
 - ii. ESTCENA, de regionalización estadística
- (ii) Proyectos de regionalización de AEMET
- (iii) Proyecto ENSEMBLES³, del 6º Programa Marco de I+D de la UE

Valor añadido del proyecto Escenario-PNACC Datos mensuales

Los datos generados por estos proyectos de regionalización son de tal magnitud y complejidad que exigen unas capacidades de acceso, manejo y almacenamiento difícilmente accesibles para la mayoría de proyectos de evaluación sectorial de los impactos del cambio climático, incluso para usuarios y expertos de perfil alto. Por ello se ha considerado necesario elaborar y proporcionar un conjunto homogéneo de productos derivados de los modelos climáticos regionalizados alineados a las distintas necesidades de

² http://www.aemet.es/documentos/es/elclima/cambio_climat/escenarios/Informe_Escenarios.pdf

³ <http://www.ensembles-eu.org/>

los usuarios, que faciliten el acceso y el empleo de los escenarios a un espectro amplio de usuarios. En esta guía se describen tanto los datos derivados homogeneizados, como los datos originales de cada proyecto.

Los productos de **Escenarios-PNACC Datos mensuales** se complementan entre sí, y han sido convenientemente procesados para homogeneizarlos en términos de geo-referenciación, formato y resolución, de manera que en conjunto constituyen una compleja pero muy completa fuente de información sobre las proyecciones futuras del clima en España.

Servicios adaptados a los distintos usuarios

Por otra parte, la experiencia obtenida en los trabajos realizados con la anterior colección de escenarios ha puesto de manifiesto la dificultad técnica que, para la mayoría de usuarios potenciales de las proyecciones climáticas regionalizadas, supone manejar y procesar una información masiva ofrecida sin procesar y “en bruto”, quedando en muchos casos sólo al alcance de grandes proyectos y alejándose de la voluntad del PNACC de facilitar un uso amplio y generalizado de los datos. Ello ha planteado la necesidad de desarrollar la segunda colección de escenarios climáticos regionalizados del PNACC teniendo en cuenta tanto el trabajo de los equipos de investigación que los generan como las necesidades y perfiles de sus usuarios potenciales.

Para identificar las necesidades básicas y los perfiles de los usuarios potenciales de los escenarios regionalizados de cambio climático, la OECC inició en abril de 2011 un proceso participativo, con la organización del “Seminario técnico sobre escenarios de cambio climático y regionalización”⁴, donde participaron tanto los equipos de investigación que están generando escenarios climáticos regionalizados para España, como una amplia representación de potenciales usuarios y representantes de administraciones públicas. A partir de este Seminario se abrió un proceso que condujo a la identificación y elaboración del listado básico de datos y productos considerados necesarios para los usuarios, que se han extraído y sintetizado a partir de la información bruta que proporcionan los modelos climáticos, y forman el núcleo de **Escenarios-PNACC Datos mensuales**. Estos datos y productos se han puesto a libre disposición pública en el Servidor de Servicios Climáticos de AEMET, y se describen en esta guía de usuario.

Un área de trabajo en continuo progreso

El campo de la modelización del sistema climático es un área de investigación muy activo, cuyos resultados están sometidos a continua revisión y que genera nuevos conocimientos y productos en ciclos muy rápidos. Por este motivo, esta *Guía de usuario* debe contemplarse como un documento vivo, que se actualizará a medida que se produzcan novedades en la producción y puesta a disposición de escenarios, y que la demanda por parte de usuarios y sectores dé lugar a nuevos productos derivados.

⁴ <http://www.magrama.gob.es/es/ceneam/grupos-de-trabajo-y-seminarios/seminariopnacc/indice-cc-regionalizacion.aspx>

II. PROYECCIONES Y ESCENARIOS CLIMÁTICOS

II.1. Modelos globales del clima

Los modelos globales del clima son representaciones matemáticas de los procesos físicos que tienen lugar en los distintos componentes del sistema climático (la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera y la biosfera), teniendo también en cuenta las interacciones que se producen entre ellos y los forzamientos naturales (por ejemplo la radiación solar) y antropogénicos (por ejemplo emisiones de gases de efecto invernadero) a los que está sometido el sistema. Estos modelos son las mejores herramientas disponibles para hacer proyecciones del clima futuro, y por tanto para estimar el cambio climático y su magnitud.

Los modelos globales tienen como dominio todo el planeta, y sus cálculos se realizan de forma tridimensional, de manera que su resolución en la dimensión horizontal sobre la zona continental terrestre es del orden de centenares de kilómetros, mientras que en la dimensión vertical se resuelven considerando entre 10 y 40 capas, que se sitúan entre la superficie y el límite superior de la atmósfera, cada una con espesores variables.

Los modelos globales simulan de forma fiable los principales rasgos del clima global en el planeta y producen resultados satisfactorios a escalas hemisférica y continental. Sin embargo, existen diferencias entre ellos, a veces notables, que han de considerarse y evaluarse para contar con criterios objetivos que permitan seleccionar unos u otros para estudios regionales en función de su mejor o peor capacidad para representar los procesos y las condiciones climáticas particulares de un área determinada.

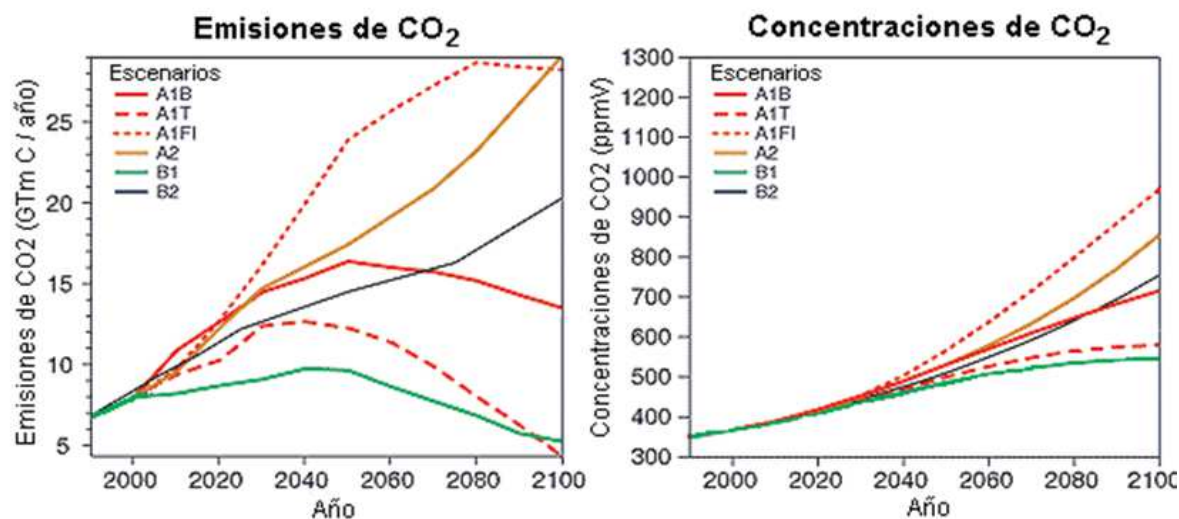


Figura 1. Evoluciones de emisiones globales de CO₂ a la atmósfera debidas a actividades humanas y de las concentraciones globales de CO₂ que resultarían de tales emisiones (IPCC 2001)

Los modelos globales, una vez contrastados, calibrados y validados con los datos reales observados en un período de control definido (por ejemplo, el clima y los forzamientos registrados entre 1970 y 2000), se emplean para hacer proyecciones del clima futuro. Para ello, los modelos son forzados con hipotéticas concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero y aerosoles a lo largo del siglo XXI que resultan de diferentes 'escenarios de emisiones' (ver Figura 1). Estos escenarios son un conjunto de estimaciones alternativas que representan posibles líneas de evolución demográfica, socio-económica y tecnológica

mundial conducentes, cada una de ellas, a una evolución posible de las emisiones globales a lo largo del siglo XXI. Los detalles sobre dichos escenarios se encuentran en el Informe especial sobre escenarios de emisiones (SRES, IPCC 2001⁵) y se han venido utilizando hasta el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (AR4, 2007), siendo los escenarios B1, A1B y A2, en orden creciente de emisión, los más populares para tener en cuenta esta fuente de incertidumbre.

Las distintas proyecciones del clima futuro generadas por medio de modelos globales, forzados según los distintos escenarios de emisión, proporcionan una horquilla de valores estimados de los distintos parámetros climáticos a lo largo del siglo XXI. La comparación de un período climático futuro (por ejemplo 2071-2100) frente a un período de referencia o control⁶ (por ejemplo el clima registrado entre 1971 y 2000), ofrece estimaciones proyectadas de la dirección y la intensidad del cambio climático, para cada una de las variables de los modelos. La *Figura 2* muestra un ejemplo para la temperatura mundial en superficie.

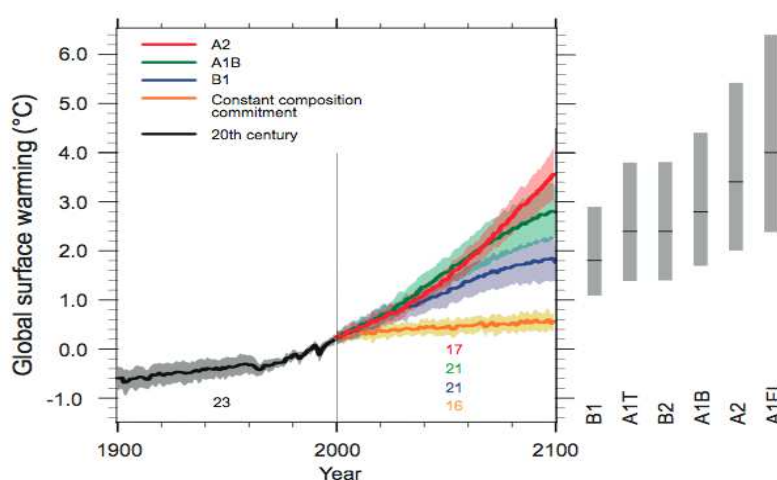


Figura 2. Proyecciones mundiales de temperatura media para el siglo XXI según varios conjuntos de modelos globales del clima, forzados con distintos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero (tomado de IPCC 2007)

Pese a las incertidumbres existentes, **todos estos modelos globales ofrecen resultados consistentes e inequívocos en cuanto a la evidencia, la dirección y los órdenes de magnitud del cambio climático.**

II.2. Regionalización de modelos globales: técnicas dinámicas y estadísticas

Los modelos globales del clima, por su baja resolución espacial, no son adecuados para llevar a cabo estudios detallados de evaluación de los impactos del cambio climático, ya que estos precisan de una mayor definición espacial, del orden de kilómetros, o incluso información en localizaciones específicas. Entre las limitaciones causadas por la baja resolución de los modelos globales se pueden citar, por ejemplo, el hecho de que su

⁵ <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>

⁶ El clima de una región o lugar se caracteriza por las condiciones normalizadas a partir de promedios estadísticos de las mediciones acumuladas correspondientes a los diferentes estados del tiempo atmosférico durante un período de tiempo no inferior a 30 años. Por ello, en los modelos los períodos climáticos y de control suelen considerarse promediando los valores en ventanas temporales de 30 años.

delimitación de las líneas de costa sea muy grosera, o que los relieves de los accidentes orográficos se representen muy suavizados; además, los modelos no pueden reproducir de forma realista procesos atmosféricos con un tamaño similar o inferior al de las celdillas en que se divide el dominio o región geográfica donde se aplican.

Para resolver este problema se han desarrollado diversas técnicas cuyo objetivo es aumentar la resolución de los modelos globales; una muy empleada consiste en la “regionalización” o *downscaling* de los modelos globales que, a partir de la información básica que proporcionan, utiliza información obtenida a escalas de mayor detalle para reelaborar una descripción de las variables climáticas que sea adecuada para trabajar a escala regional o sub-regional. Sus resultados son los llamados **escenarios de cambio climático regionalizados**.

Todas las técnicas de regionalización parten de los resultados de los modelos climáticos globales para obtener representaciones del clima más detalladas y mejor ajustadas a las características locales de la geografía donde se aplican. Esto significa que las proyecciones regionalizadas heredan las fortalezas y las debilidades de sus modelos globales originarios. Este es un aspecto importante que debe considerarse cuando se trabaja a escala regional y que aconseja firmemente consultar trabajos previos de evaluación de los modelos globales a la hora de seleccionar regionalizaciones, de manera que se puedan, al menos, descartar aquellos modelos que deriven de los GCM menos representativos (ver, por ejemplo, Casado *et al.* 2008, Brands *et al.* 2011).

En general, los métodos de regionalización – *downscaling* – pueden agruparse en dos categorías principales:

1. **Métodos estadísticos** (*downscaling estadístico*). Se basan en la construcción de modelos estadísticos a partir de la relación que se establece entre las variables a gran escala proporcionadas por los modelos globales y las variables observadas de forma efectiva en los observatorios meteorológicos en superficie, durante un periodo de control (por ejemplo, un período de 30 años, 1971-2000). El modelo, una vez ajustado (establecidas las relaciones entre variables) y calibrado (asegurada su coherencia con las observaciones), se aplica para proyectar local/regionalmente los escenarios de cambio climático futuros proporcionados por los modelos globales. Estas proyecciones pueden realizarse bien sobre localidades puntuales (donde se ubican las estaciones de observación) o bien sobre rejillas regulares, que cubren todo el territorio y se generan por métodos geoestadísticos a partir de dichas observaciones. Por su naturaleza, estos métodos ofrecen la capacidad de proyectar un número de variables limitado a aquellas para las que existen registros observacionales (típicamente temperatura y precipitación). Las técnicas de regionalización estadística asumen que las relaciones entre las variables climáticas de gran escala y las observadas se mantienen invariables, es decir, que las relaciones establecidas en el período de control con datos históricos no cambiarán en el futuro en un contexto de cambio climático.
2. **Métodos dinámicos o modelos regionales** (RCM, *Regional Climate Model, downscaling dinámico*). Son modelos que parten de una concepción similar a la de los modelos globales (se desarrollan sobre un continuo geográfico y las variables son interdependientes), pero se resuelven en un dominio limitado y con un tamaño de celdilla mucho menor que aquellos. Para su desarrollo, los modelos regionales se ‘anidan’ (ver *Figura 3*) en los globales, proporcionando resultados a una resolución de entre 10 y 50 km, e incorporando en muchos casos procesos del sistema climático que los modelos globales no consideran, tales como procesos convectivos, efectos de la nubosidad, intercambios de energía suelo-aire, etc. Esta resolución más fina recoge también con más detalle la variabilidad espacial de parámetros como topografía, usos del suelo, líneas de costa, etc. Los métodos dinámicos

generan proyecciones regionales de cambio climático para un gran número de variables climáticas físicamente consistentes entre sí, y permiten analizar y evaluar impactos del cambio climático asociados a los llamados extremos climáticos, por ejemplo olas de calor, periodos de sequía, lluvias torrenciales, vientos fuertes, etc.

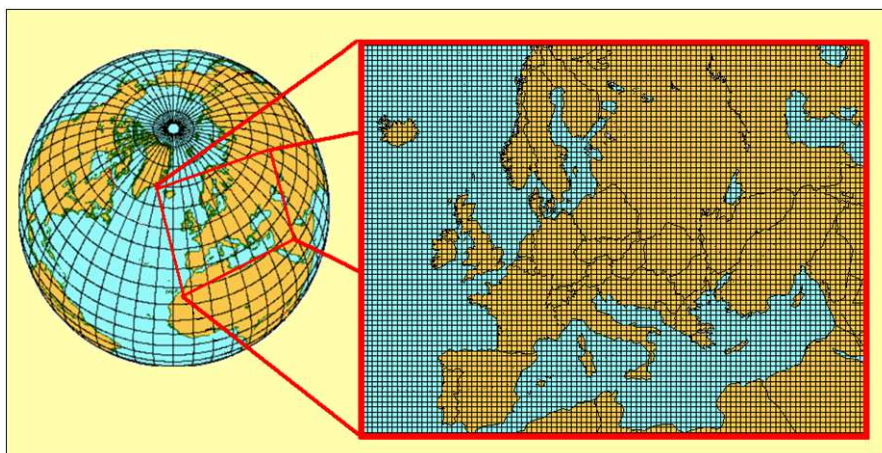


Figura 3. Un modelo regional con tamaño de celdilla reducido se anida en uno global de resolución más baja (celdillas con mayor tamaño), que proporciona información de la evolución de las variables atmosféricas en los puntos del contorno del dominio del modelo regional

La colección de **Escenarios-PNACC Datos mensuales** incluye modelos pertenecientes a ambas categorías, estadísticos y dinámicos. Cada una de estas metodologías tiene sus características propias, tanto en sus asunciones como en sus requerimientos de procesamiento, en la cantidad y los tipos de datos que pueden obtenerse de ellos o en su configuración espacial. En la *Tabla I* se sintetizan las fortalezas y debilidades de ambos métodos.

Método	Regionalización dinámica	Regionalización estadística
Fortalezas	Modelo físico con inclusión de realimentaciones entre los componentes del sistema climático	Utilizan la climatología real observada para obtener los valores proyectados de las variables de interés
	Alta resolución espacial -en rejilla- y temporal	Bajo coste computacional
	Modeliza un gran número de variables, físicamente consistentes entre sí	Resolución espacial muy alta, en localidades puntuales o rejillas regulares
	Capacidad de análisis del cambio en los extremos climáticos	No requieren calibración de los resultados en base a observaciones disponibles
Debilidades	Elevado coste computacional	Modelo estadístico que supone estacionariedad (las relaciones predictor-predictando se mantienen invariables)
	Valores de las variables climáticas representativos de los promedios de cada celdilla, no de localidades puntuales	Necesidad de observaciones diarias de calidad para un período representativo
		Número de variables proyectado limitado a las variables observadas

Tabla I. Fortalezas y debilidades de los métodos de regionalización estadísticos y dinámicos

Resolución e interpolación de los modelos regionales

La capacidad de los modelos regionales para proporcionar información sobre el clima futuro a escalas cada vez más detalladas está limitada por el conocimiento científico y la capacidad técnica y tecnológica de las herramientas de modelización. El PNACC trata de emplear el mejor conocimiento científico-técnico disponible en cada momento, para poner a disposición de los usuarios los mejores modelos y proyecciones posibles, tanto en grado de complejidad de las modelizaciones como de resolución espacial. Dichas resoluciones no son siempre todo lo satisfactorias que sería deseable para llevar a cabo los trabajos de evaluación sectorial de impactos del cambio climático; sin embargo, son las mejores resoluciones que, a día de hoy, se pueden proporcionar.

Resoluciones mayores que las que proporciona la colección **Escenarios-PNACC Datos mensuales** resultan, hoy por hoy, inviables, y por tanto no es posible desarrollar ni presentar modelos o proyecciones fiables con mejor precisión espacial que estas.

Una opción para poder emplear la información procedente de estos escenarios en proyectos o actividades de planificación que necesitan mayor detalle espacial consiste en aplicar métodos de **interpolación espacial** mediante técnicas geoestadísticas. Con ello no se consigue mejorar la resolución de los escenarios de cambio climático regionalizados del PNACC, pero sí adaptar la información a la escala necesaria.

Escenarios-PNACC 2012 ofrece resoluciones y modelos basados en el mejor conocimiento disponible; no es posible, en el momento actual, desarrollar modelos con mejor precisión espacial. La interpolación espacial, que no mejora la calidad de los modelos, sí permite bajar su escala para adaptarlos a los estudios y proyectos territoriales.

Dado que muchos usuarios de estas proyecciones desearán trabajar con resoluciones mayores a las ofrecidas en la colección **Escenarios-PNACC Datos mensuales**, en el capítulo VII de este manual se presentan algunas sugerencias y recomendaciones para realizar las interpolaciones de forma adecuada, tanto para facilitar el trabajo a los usuarios como para fomentar una mayor coherencia en el uso de los escenarios del PNACC.

II.3. Consideraciones sobre la incertidumbre

Fuentes de incertidumbre

El proceso que conduce a la obtención de los escenarios de cambio climático regionalizados está sujeto, en los pasos sucesivos, a alguna fuente de incertidumbre, que hay que tener en consideración en su conjunto, cuando aquellos se empleen para evaluar impactos del cambio climático. En síntesis, las incertidumbres se pueden asociar a las siguientes fuentes:

- i. **Futuros escenarios de emisión de gases de efecto invernadero.** depende de la evolución a lo largo del siglo de factores tales como la demografía, el desarrollo tecnológico, el modelo energético, etc., todos ellos marcados por las decisiones políticas que a nivel internacional van a marcar su transformación global. En su consideración hay que tener en cuenta que a medida que proyectamos su evolución a lo largo del siglo, la incertidumbre aumenta. (se aborda mediante el empleo de los ya mencionados escenarios A2, B1, A1B).
- ii. **Sensibilidad climática global.** Se explica por la falta de conocimiento preciso de la respuesta del clima frente a cambios en el forzamiento externo, y por las

simplificaciones que incorporan los modelos globales del clima para simular un sistema sumamente complejo, con multitud de niveles de interacción y realimentación. (se aborda mediante el uso de distintos GCM).

- iii. ***Incertidumbre que aportan los métodos de regionalización de los modelos globales.*** Ambos métodos de regionalización son fuente de nuevas incertidumbres: las técnicas estadísticas suponen que las relaciones entre las variables a gran escala y las variables locales se mantienen invariables en un contexto de cambio climático, lo que no está probado, mientras que las técnicas dinámicas de regionalización suman incertidumbres de la misma naturaleza que los modelos globales del clima (se aborda mediante la consideración de técnicas de regionalización diversas).

Existen otras fuentes de incertidumbre como la respuesta del ciclo de carbono que, aunque están recogidas parcialmente en los casos anteriores, tienen una gran relevancia y son objeto de una intensa investigación. Finalmente, aún hay otras fuentes de incertidumbre, como la posibilidad de cambios bruscos del sistema, que no se tienen en cuenta en este esquema.

La Incertidumbre en el proyecto Escenarios-PNACC Datos mensuales

El proyecto **Escenarios-PNACC Datos mensuales** incluye un conjunto muy diverso de proyecciones del clima de España para el siglo XXI. Esta diversidad deriva de la combinación y la consideración de muchas de las fuentes de incertidumbre señaladas más arriba, y que se recogen en esta colección mediante:

- La consideración de distintos modelos globales
- El forzamiento por distintos escenarios de emisión
- El empleo de diversas técnicas de regionalización o *downscaling*, tanto dinámicas como estadísticas

Además de distintos modelos globales y escenarios de emisión, en Escenarios-PNACC Datos mensuales se considera una panoplia de métodos estadísticos y dinámicos que en conjunto permiten barrer de forma exhaustiva las incertidumbres asociadas a este factor.

En general, la coincidencia de resultados o tendencias obtenidos por los diferentes escenarios, modelos y regionalizaciones se considera un índice de la robustez y fiabilidad de las estimaciones de las proyecciones. Por el contrario, la falta de coincidencia se asocia con alta incertidumbre.

Incertidumbre y adaptación al cambio climático

La disponibilidad de diversas proyecciones del clima regional de España para el siglo XXI aumenta la complejidad de los procesos de evaluación del impacto, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático.

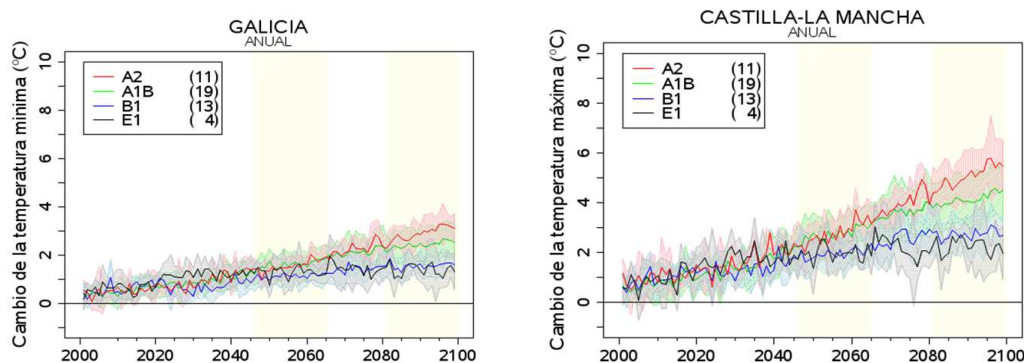


Figura 4. Cambio en la temperatura media anual mínima en Galicia y en la temperatura media anual máxima en Castilla La Mancha a lo largo del siglo XXI. La amplitud de las bandas sombreadas da una medida de las incertidumbres asociadas a las proyecciones

Las incertidumbres asociadas a las proyecciones de cambio climático no son iguales según las variables, las regiones geográficas y las escalas temporales consideradas. Resulta esencial tener en cuenta estas incertidumbres en las evaluaciones de impactos y vulnerabilidad, y también en la definición de medidas de adaptación, que tendrán que planificarse de forma ajustada a la magnitud de estas incertidumbres, que es creciente a medida que ampliamos el plazo u horizonte temporal de las proyecciones. A modo de ejemplo, las gráficas de la *Figura 4* muestran el rango de las proyecciones de distintos modelos para algunas variables climáticas a lo largo del siglo XXI, en distintas regiones de España.

La principal conclusión que se extrae de la constatación de la incertidumbre y sus múltiples fuentes es la necesidad de adoptar una aproximación basada en la precaución al abordar el empleo de escenarios de cambio climático regionalizados. Es conveniente no considerar nunca un único escenario, sino un conjunto de ellos –mayor o menor en función de los recursos disponibles- que reúna una representación equilibrada de dicha incertidumbre.

En las evaluaciones de impactos y vulnerabilidad, es conveniente no considerar nunca un único escenario, sino un conjunto de ellos que recoja una representación equilibrada de la incertidumbre. La selección de escenarios vendrá, en este caso, condicionada por las fuentes de incertidumbre a barrer: consideración de uno o varios escenarios de emisiones, modelos globales y/o técnicas de regionalización. La consideración de la incertidumbre precisa emplear rangos de posibles resultados, afectando al proceso de decisión que se derive de ello.

III. CARACTERÍSTICAS DE LA COLECCIÓN ESCENARIOS-PNACC Datos mensuales

III.1. Características generales

Los productos que conforman el proyecto Escenarios-PNACC Datos mensuales proceden de diversos modelos climáticos regionales, que se han procesado con el fin de proporcionar una colección de proyecciones del clima futuro que, conservando la heterogeneidad intrínseca a sus fuentes y necesaria para reflejar la incertidumbre sobre el cambio climático a lo largo del siglo XXI, comparta una serie de características homogéneas que permitan su empleo conjunto, su ajuste a la geografía nacional y su comparabilidad.

A partir de un conjunto de modelos climáticos globales forzados con tres escenarios diferentes de emisión de GEI, se han aplicado diversas técnicas de regionalización, tanto estadísticas como dinámicas. El resultado son varios centenares de simulaciones, modelos y bases de datos, que proyectan al futuro una gran variedad de variables climáticas.

III.2. Modelos globales

En todos los proyectos que participan en Escenarios-PNACC Datos mensuales (ESCENA, ESTCENA, AEMET, ENSEMBLES) se han utilizado simulaciones procedentes de tres GCM

distintos: ECHAM5, HadCM3 y CNRM-CM3. Los escenarios estadísticos incorporan un modelo adicional, el BCM2, junto con algunos modelos dinámicos de ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org/>). La disponibilidad de proyecciones procedentes de estos modelos globales permite tener en cuenta la incertidumbre asociada a las características específicas de cada uno de ellos. Un factor adicional de complejidad proviene del hecho de que algunos de estos GCM disponen de varias realizaciones (denominadas “runs”, simulaciones de modelos con diferentes condiciones iniciales), que en ocasiones y a efectos comparativos también se han considerado

La *Tabla II* muestra las características esenciales de los modelos globales incluidos en Escenarios-PNACC Datos mensuales.

Acrónimo	Atmósfera	Resolución	Niv.	Océano	Resolución	Niv.
ECHAM5 ^{1,3}	ECHAM5	1.875°	31	MPI-OM	1.5°	40
CNCR-CM3 ^{1,2}	ARPEGE V3	2.8°	45	OPA8.1	0.5x2°	31
HadCM3Q3 ¹ HadCM3Q0 ¹ HadCM3Q16 ¹	HadAM3	2.75x3.75°	19	HadGOM1	1.25°	20
BCM2 ¹	ARPEGE V3	2.8°	31	MICOM 2.8	2.4°	35
HadGEM2 ¹	HadGAM1	1.25x1.875°	38	HadGOM1	0.33x1°	40

Tabla II. Resumen de las características de los modelos globales seleccionados del IPCC-AR4 y nuevas versiones del proyecto ENSEMBLES (cursiva). El superíndice indica las realizaciones (runs) utilizados. Obsérvese que el modelo HadCM3 tiene tres versiones distintas: Q0 (referencia, o sensibilidad estándar), Q3 (baja sensibilidad) y Q16 (alta sensibilidad)

III.3. Escenarios de emisiones. Escenario de control.

Escenarios de emisiones para el siglo XXI

Escenarios-PNACC Datos mensuales ofrece regionalizaciones del clima futuro en España para el siglo XXI bajo 3 escenarios de emisiones considerado en el SRES: A2, A1B y B1, que en síntesis representan tres situaciones desde un futuro de uso más intensivo de combustibles fósiles (A2), a uno más moderado (B1) siendo el tercero de carácter intermedio (A1B), lo que permite barrer la incertidumbre asociada a las emisiones futuras de forma razonable.

Las proyecciones procedentes del proyecto ENSEMBLES solamente se refieren al escenario intermedio A1B. En general, este es el escenario de emisiones que más simulaciones presenta en Escenarios-PNACC Datos mensuales, dado que todos los proyectos lo han abordado en todas las proyecciones.

Los escenarios más extremos, A2 y B1, están disponibles para la mayoría de simulaciones estadísticas de ESTCENA y AEMET, salvo en el caso del modelo HadGEM2, del que sólo se dispone del escenario A1B. Respecto a las regionalizaciones dinámicas, ESCENA ofrece proyecciones para los modelos ECHAM5 y CNRM-CM3-CM3 en ambos escenarios, A2 y B1, y AEMET ha abordado principalmente el escenario A1B.

Las *Tablas V.I* y *V.II* permiten asociar de forma más gráfica los proyectos y modelos con los escenarios de emisión.

Período de control. Escenario 20C3M

Como parte de la colección **Escenarios-PNACC Datos mensuales** se ofrece una base de datos de simulaciones del clima actual, resultado de aplicar los modelos regionales con forzamientos de gases GEI históricos. El objetivo es proporcionar información de base para generar períodos de control, que permitan realizar análisis comparativos del clima actual con las proyecciones climáticas de futuro sometidas a distintos forzamientos de GEI, y calcular y evaluar el cambio climático. Un período de control debe ser representativo del clima actual, tanto en promedio como en sus extremos.

El período cubierto por el escenario 20C3M abarca el período 1961-2000, de manera que el usuario puede ajustar sus períodos de control en función de sus necesidades. Típicamente la caracterización de los climas se realiza en períodos de 30 años, y por tanto los períodos de control suelen abarcar 3 decenios (por ejemplo 1961-1990, 1971-2000).

III.4. Horizontes temporales de los escenarios.

En función del proyecto de origen, **Escenarios-PNACC Datos mensuales** ofrece simulaciones del clima futuro que abarcan períodos diferentes, siendo este un aspecto a considerar en la elección de proyecciones a emplear en función de las necesidades e intereses del usuario.

Así, se cuenta con proyecciones que abarcan la primera mitad del siglo XXI (2050), en particular en las modelizaciones dinámicas procedentes del proyecto ESCENA y algunas de ENSEMBLES. Los modelos dinámicos de AEMET y la mayoría de ENSEMBLES ofrecen proyecciones hasta final de siglo, y los modelos estadísticos de ESTCENA y AEMET también cubren todo el siglo XXI.

IV. CATÁLOGO DE PRODUCTOS Y PROYECCIONES CLIMÁTICAS DE ESCENARIOS-PNACC Datos mensuales

IV.1. Perfiles de usuario. Productos

Con objeto de estructurar los tipos de productos que componen Escenarios-PNACC Datos mensuales, se han identificado tres tipologías de usuarios con demandas diferenciadas de productos, cuyos perfiles se sintetizan en la *Tabla III*:

Tipología de usuario	Productos demandados
General. Usuarios y público sin un perfil técnico específico, interesado en las proyecciones, pero con capacidad limitada de procesamiento de datos	Productos de síntesis, altamente agregados espacial y temporalmente, principalmente de tipo gráfico o descriptivo
Sectorial. Gestores y especialistas sectoriales, con perfil técnico y capacidad de procesamiento y manejo de datos.	Productos compuestos o derivados a partir de los datos numéricos de los escenarios de cambio climático, desagregados espacialmente y agregados a escalas temporales mensual o anual

Especializado. Con perfil científico-técnico altamente especializado y capacitado para procesamiento masivo de datos	Datos brutos e información original procedentes de los proyectos de regionalización
---	---

Tabla III. Perfiles de usuario identificados en el proceso de desarrollo de Escenarios-PNACC Datos mensuales

La colección **Escenarios-PNACC Datos mensuales** trata de atender a los tres tipos de usuario, si bien de formas diferentes. Por un lado, se ha elaborado y puesto a disposición de los dos primeros tipos de usuario, el general y el sectorial, una serie de productos en el servidor de servicios climáticos de la página Web de AEMET (<http://www.aemet.es>). El presente manual proporciona la información esencial sobre dichos productos para facilitar a los usuarios su uso y aplicación. Por otro lado, y en relación al tipo de usuario especializado -altamente capacitado para el procesamiento masivo de información o con requerimientos muy detallados y específicos-, se ha considerado que recurrirá a las bases de datos originales de los proyectos donde se almacena la información bruta de la que derivan los productos que se ofrecen y se documentan en este manual. A este respecto, este manual ofrece también, en su capítulo VIII, una descripción de los productos disponibles para estos usuarios, e información para acceder a ellos.

Usuario general

Los productos orientados al usuario general son principalmente de tipo gráfico y descriptivo. Su objetivo es presentar una síntesis de la evolución del clima que proyectan los modelos globales y regionales a lo largo del siglo XXI, a través de un conjunto de variables climáticas significativas, mediante agregaciones espaciales para el conjunto de la Península Ibérica y para cada una de las CCAA, y temporales a escalas anual y estacional

Usuario sectorial

Escenarios-PNACC Datos mensuales ofrece al usuario sectorial un conjunto de productos numéricos, que corresponden con variables de amplio uso en la planificación sectorial, que se han extraído, agregado y sintetizado a partir de los resultados obtenidos de las regionalizaciones de los distintos proyectos de regionalización para facilitar su uso y limitar los requerimientos de procesamiento de la información original.

Los productos numéricos de **Escenarios-PNACC Datos mensuales** orientados a los usuarios sectoriales se presentan en la *Tabla IV*. Debe tenerse en cuenta que no todos los métodos de regionalización son capaces de proporcionar la totalidad de dichos productos, y que no todos los productos están disponibles para los tres escenarios de emisiones considerados o para todo el siglo XXI. Las *Tablas V.I* y *V.II* están diseñadas para permitir al usuario guiarse en la selección de modelos en función de sus intereses.

La *Tabla IV* recoge la colección de variables que se ha considerado de amplia utilidad para los distintos sectores activos en la evaluación de los efectos del cambio climático, de acuerdo con el proceso de participación descrito en las primeras páginas del manual, y que se han procesado y puesto a disposición pública. En la base de datos de productos numéricos donde se almacenan, estas variables aparecen codificadas de acuerdo con el código que se presenta en la segunda columna. Además, se presentan las unidades en que se miden las distintas variables, el nivel y el tipo de agregación temporal en que la información se presenta en las bases de datos. Así, por ejemplo, las capas de información sobre temperatura máxima cuentan en su nombre con el código TXMM; sus datos están expresados en °C, y el valor que representa cada dato es el valor promedio mensual respecto a las máximas diarias.

Variable	Código	Unidad	Agregación temporal	Tipo de agregación
Tª máxima	TXMM	°C	Mensual	Promedio
Tª mínima	TNMM	°C	Mensual	Promedio
Precipitación total acumulada	PRCPTOT	mm/mes	Mensual	Acumulado
Velocidad del viento a 10m (*)	WSS	m/s	Mensual	Promedio
Velocidad máxima del viento a 10m (*)	WSSMAX	m/s	Mensual	Promedio
Humedad relativa (*)	HURS	%	Mensual	Promedio
Percentil 95 de la temperatura máxima diaria	TX95	°C	Anual	-
Percentil 5 de la temperatura mínima diaria	TN05	°C	Anual	-
Percentil 95 de la precipitación diaria	R95p	mm	Anual	-
Nº de días con temperatura mínima < 0°C	FD	días	Anual	Acumulado
Nº de días con temperatura mínima > 20°C (noches tropicales)	TR	días	Anual	Acumulado
Precipitación máxima en 24h	RX1day	mm	Mensual	Máximo
Nº de días con precipitación <1mm	DD	días	Mensual	Acumulado
Nº de días con precipitación >20mm	R20	días	Mensual	Acumulado
Máximo Nº de días consecutivos con precipitación <1mm	CDD	días	Anual	-

Tabla IV. Descripción de variables elaboradas en Escenarios-PNACC Datos mensuales para usuarios sectoriales. Se indica el código de la variable, para facilitar su localización en la base de datos, sus unidades, la agregación temporal en que se proporciona y el tipo de agregación temporal utilizado para obtener esta información a partir del dato diario. (*): Datos no disponibles por los métodos de regionalización estadística, sólo disponibles para los modelos dinámicos

Usuario especializado

Para este usuario, este manual proporciona información genérica para el acceso a los datos, una breve descripción y un catálogo general de los productos desarrollados en los distintos proyectos que constituyen la base de Escenarios-PNACC Datos mensuales (capítulo VIII).

IV.2. Salidas de los productos numéricos

Los productos numéricos indicados en la *Tabla IV* se presentan en forma de rejillas regulares y en forma de un conjunto de datos puntuales, dependiendo del método empleado en la regionalización. Los métodos dinámicos proporcionan productos en rejilla y los estadísticos en rejilla y en localidades puntuales (excepto en Canarias donde solo los proporciona en puntos).

Productos en rejilla

Los productos en rejilla ofrecidos en **Escenarios-PNACC Datos mensuales** usan una cuadrícula común y homogénea de una resolución de 0,2° (aprox. 20km.), que cubre la España peninsular y Baleares. Esta rejilla (*Figura 5*) corresponde a la utilizada en el desarrollo de la base de datos denominada *Spain 02*⁷, proyecto que ha generado capas en rejillas de análisis de precipitación diaria y temperaturas máximas y mínimas diarias en dicha cuadrícula, partiendo de una densa red de unas 2500 estaciones de la AEMET, que abarca el período comprendido entre 1950 y 2008.

⁷ <http://www.meteo.unican.es/datasets/spain02>

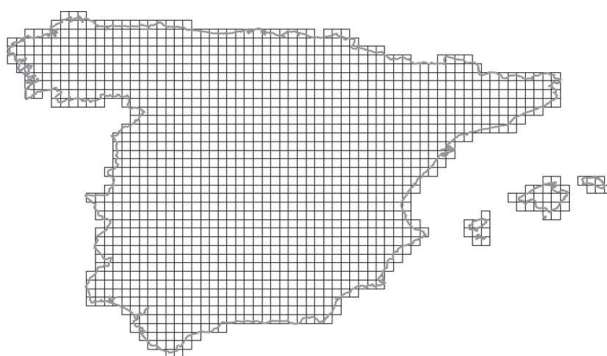


Figura 5. La rejilla regular de 0.2° (aproximadamente 20 km) utilizada para el proyecto Spain 02

El archipiélago canario dispone de productos generados por métodos de regionalización dinámicos en las rejillas específicas de cada modelo regional (ver Sección VIII.1).

Productos en localidades puntuales

Los productos en localidades puntuales ofrecidos en **Escenarios-PNACC Datos mensuales** se refieren a 374 puntos para los productos relacionados con la temperatura y 2.321 puntos para los relacionados con la precipitación, que se distribuyen por toda la geografía de España como se refleja en los mapas de la *Figura 6*. Estos puntos se corresponden a estaciones climatológicas de AEMET que han sido seleccionadas tras un control de calidad basado en criterios de longitud temporal de la serie, número reducido de lagunas y homogeneidad (Brunet *et al.* 2008, Herrera 2011, Herrera *et al.* 2012).

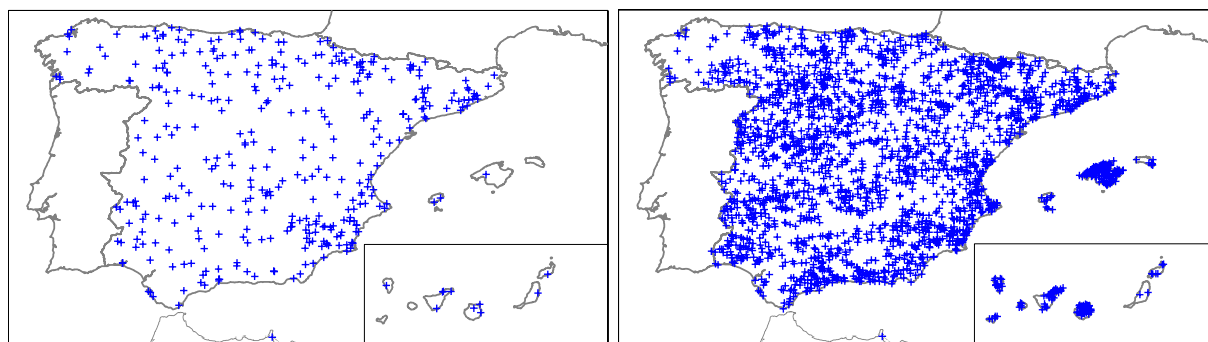


Figura 6. Distribución de las localizaciones de las 374 estaciones con datos de temperatura y las 2.321 estaciones con datos de precipitación para los productos de Escenarios PNACC Datos mensuales

IV.3. Formatos de los productos

En los datos presentados en rejilla los productos de **Escenarios-PNACC Datos mensuales** se ofrecen en dos formatos alternativos (ascii y SIG), en el caso de los datos en localizaciones puntuales solo en formato ascii:

- (i) **Formato ASCII compacto:** La información se codifica en un único fichero ASCII con extensión 'csv' (*comma separated value*, columnas separadas por comas) en el que cada fila corresponde a una fecha y cada columna a un punto de rejilla o a una localidad (consultar nomenclatura en página 28).
- (ii) **Formato SIG,** la información se almacena de forma desagregada, con un fichero para cada mes y año (o para cada año, según corresponda) en formato "ASCII grid ARCGIS" que puede importarse fácilmente desde la

mayoría de los SIG disponibles en el mercado (consultar nomenclatura en página 27).

Para usuarios especializados, estos productos junto con los datos diarios originales a partir de los cuales han sido generados pueden obtenerse también en formato NetCDF en el servidor de datos del proyecto ESTCENA, tanto para los productos en rejilla⁸, como para los puntuales⁹. El formato denominado NetCDF (Network Common Data Format¹⁰) es un formato estándar y autodescriptivo para datos de salida de modelos climáticos y oceanográficos, y contiene toda la información necesaria para trabajar con ellos: coordenadas espaciales de la malla, coordenada temporal de los datos, y metadatos.

IV.4. Catálogo de proyecciones climáticas regionalizadas de Escenarios-PNACC Datos mensuales

Los modelos climáticos que constituyen el proyecto **Escenarios-PNACC Datos mensuales** se sintetizan en las *Tablas V.I y V.II*. En conjunto, constituyen una colección heterogénea de modelos, que ofrecen la oportunidad de trabajar con la combinación deseada de modelos globales y técnicas de regionalización para la exploración de diversas incertidumbres, y que cubren marcos temporales diversos: algunos hasta 2050 y otros hasta final del siglo XXI.

La *Tabla V.I* presenta la subcolección de modelos procedentes de técnicas de regionalización dinámica generados en el marco de los proyectos ESCENA, ENSEMBLES y por la AEMET.

La *Tabla V.II*, por su parte, describe la subcolección de escenarios procedentes de técnicas estadísticas de regionalización. El conjunto es más homogéneo que el anterior, puesto que abarca un período de tiempo (1961-2100), y un conjunto de modelos globales comunes para todos ellos, sobre los que se ha aplicado una variedad de técnicas de regionalización.

A partir de ambas *Tablas*, los usuarios pueden evaluar el empleo de unas u otras proyecciones en función del horizonte temporal de su interés, de los escenarios de emisiones, o de las fuentes de incertidumbre a considerar (distintos modelos globales, o regionales, o ambos). Otros criterios para la selección de modelos pueden proceder del tipo de variables o fenómenos de interés (por ejemplo valores medios o extremos), de la cobertura geográfica de los datos (puntuales, en rejilla), de las evaluaciones existentes de representación de los modelos globales, etc. Al final del manual se trata de ofrecer una síntesis de elementos posibles para facilitar esta elección, siempre bajo la premisa de que no existen criterios fijos al respecto, y de que siempre se recomienda el barrido de la mayor incertidumbre posible en esta elección.

⁸ http://www.meteo.unican.es/thredds/catalog/PNACC2012/Rejilla/indicadores_PNACC_2012/catalog.html

⁹ http://www.meteo.unican.es/thredds/catalog/PNACC2012/Puntuales/indicadores_PNACC_2012/catalog.html

¹⁰ <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>

Tabla V.I. ESCENARIOS-PNACC Datos mensuales (REGIONALIZACIÓN DINÁMICA)

PROYECTO		ESCENA				AEMET				ENSEMBLES							
Reanálisis \ RCM	UCL PROMES	UM MM5	UC WRF-A	UC WRF-B	UAH REMO	AEMET RCA3.5	MetoHC HadRM3	MPI-M M-REMO	CNRM Aladin-Climat	DMI HIRHAM	ETHZ CLM	KNMI RACMO	ICTP RegCM3	SMHI RCA3	UCLM-PROMES	Met.N HIRHA	
ERA40						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ERA-Interim	+	+	+	+	+	+											

Período disponible:

+	1989-2008	0	1961-2000
---	-----------	---	-----------

	PROYECTO	ESCENA					AEMET	ENSEMBLES									
Escenarios de emisiones	CGM \ RCM	UCL PROMES	UM MM5	UC WRF-A	UC WRF-B	UAH REMO	AEMET RCA3.5	MetoHC HadRM3	MPI-M M-REMO	CNRM Aladin-Climat	DMI HIRHAM	ETHZ CLM	KNMI RACMO	ICTP RegCM3	SMHI RCA3	UCLM-PROMES	Met.N HIRHA
B1	CNRM-CM3	+(r2)	+(r2)														
	ECHAM5	+(r2)	+(r2)			+(r2)											
A2	ECHAM5	+(r2)	+(r2)	+(r2)			O(r1)										
	CNRM-CM3	+(r2)	+(r2)							O	O						
A1B	ECHAM5	+(r2)	+(r2)	+(r2)	+(r2)	+(r2)	O(r3)		O(r3)				O(r3)	O(r3)			
	HadCM3-Q16	+	+				O										
	HadCM3-Q3						O	O				+				+	
	HadCM3-Q0	+	+				O										
	BCM2														O		+

Período disponible:

+ 1961-2050 | 0 | 1961-2100 |

El período 1961-2000 corresponde al escenario de control 20C3M.

Notas: El código entre paréntesis al lado de cada símbolo en las celdillas representa la realización/run utilizada, en caso de que sea distinta de la primera (r1).

Tabla V.II. ESCENARIOS-PNACC Datos mensuales (REGIONALIZACIÓN ESTADÍSTICA)

PROYECTO	ESTCENA						AEMET
Reanálisis /	ANALO(1)	REG-CP(2)	REG-CP-NN(2)	REG-WT(2)	FIC	UIB(3)	AEMET1
SDM							
ERA40	O	O	O	O	O	O	O

Período disponible:

O 1961-2000

PROYECTO		ESTCENA						AEMET
Escenarios emisiones	CGM / SDM	ANALO(1)	REG-CP(2)	REG-CP-NN(2)	REG-WT(2)	FIC	UIB(3)	AEMET1
B1, A1B, A2	CNRM-CM3	O	O	O	O	O	O	O
B1, A1B, A2	ECHAM5	O (r3)	O (r3)	O (r3)	O (r3)	O (r3)	O (r3)	O (4)
B1, A1B, A2	HadCM3-Q3	O	O	O	O	O	O	O
B1, A1B, A2	BCM2	O	O	O	O	O	O	O
A1B	HadGEM2	O	O	O	O	O	O	O

Período disponible:

O 1961-2100

El período 1961-2000 corresponde al escenario de control 20C3M.

Notas: El código entre paréntesis en las celdillas representa la realización/run utilizada, en caso de que sea distinta de la primera (r1).

(1) No disponible para temperatura, por falta de robustez.

(2) Para temperatura los modelos de regresión son modelos lineales, para precipitación son modelos lineales generalizados (GLMs).

(3) Disponible sólo para precipitación.

(4) Para los escenarios A2 y B1 run1 y para el escenario A1B run2

V. RECOMENDACIONES PARA EL USO DEL CATALOGO DE DATOS Y PRODUCTOS

A continuación se señalan una serie de puntos a considerar para el uso de los datos y productos de **Escenarios-PNACC Datos mensuales**:

- Tal y como se ha descrito en II.3, el proceso que conduce a la obtención de los escenarios de cambio climático regionalizados está sujeto, en los pasos sucesivos, a diferentes fuentes de incertidumbre, que hay que considerar en su conjunto, cuando aquellos se empleen para evaluar impactos del cambio climático. Las incertidumbres pueden explorarse e incluso acotarse mediante la utilización de *ensembles* de proyecciones. Los *ensembles* están constituidos idealmente por un número suficiente de miembros que permiten cuantificar las incertidumbres de las proyecciones, bien sea mediante funciones de densidad de probabilidad o bien de forma más simplificada, como p.e. mediante rangos entre los cuales puede situarse una variable. Las proyecciones incluidas en **Escenarios-PNACC Datos mensuales** permiten cuantificar las incertidumbres provenientes de los modelos globales, de los métodos de regionalización y de escenarios de emisión.
- Debe en consecuencia tenerse en cuenta que la formulación probabilística constituye el marco natural para incorporar la existencia de las diversas fuentes de incertidumbre a los estudios de impacto del cambio climático. Por lo que no es conveniente considerar un único escenario de evolución del clima, sino un conjunto de ellos que permita una representación realista de la incertidumbre existente. Lógicamente, el mayor o menor número de miembros del *ensemble* utilizado dependerá de los recursos disponibles.
- Escenarios-PNACC Datos mensuales ofrece productos en rejilla y en localidades puntuales. En función del tipo de estudio o proyecto a desarrollar, puede ser pertinente emplear uno u otro tipo de salida, lo que permitirá también acotar el número de proyecciones a considerar. La elección de la utilización de los escenarios en forma de rejilla o en localidades puntuales condiciona tanto la resolución de los datos como otras características de los mismos.
- Los datos procedentes de regionalización dinámica se presentan de forma natural en forma de rejilla. En estos casos cada punto de rejilla proporciona un valor promediado areal correspondiente a la superficie del cuadrado de rejilla. Esto puede llegar a ser muy crítico en ciertas variables, como por ejemplo la precipitación, donde el valor asignado corresponde a la precipitación promediada en el cuadrado de rejilla. Si la rejilla no posee suficiente resolución horizontal la precipitación puede aparecer notablemente reducida respecto a los valores puntuales en casos de orografía compleja.
- Los datos procedentes de regionalización estadística se presentan en la misma forma en la que se presentan las observaciones disponibles de partida. Como las observaciones de temperatura y precipitación están disponibles tanto en localidades puntuales - correspondientes a los datos brutos originales- como en forma de rejilla regular con 20 km de resolución se puede optar solamente en este caso de regionalización estadística por un formato u otro.
- La *Tabla I* proporciona información sobre las fortalezas y las debilidades particulares de cada tipo de técnica de regionalización. Las características recogidas en esta *Tabla* también ayudarán en la elección de escenarios procedentes de cada tipo de

regionalización según el tipo de aplicación que se desee realizar. Por ejemplo, un estudio de impacto referido a una zona insular deberá razonablemente utilizar escenarios obtenidos con técnicas estadísticas ya que las dinámicas presentan serios problemas de representatividad en el caso de islas relativamente pequeñas comparadas con el tamaño de la rejilla del modelo regional utilizado.

- Las distintas fuentes de datos de los distintos proyectos ofrecen resultados que abarcan horizontes temporales diversos a lo largo del siglo XXI. La consideración de los escenarios regionalizados a corto, medio o largo plazo permite también seleccionar los modelos del catálogo total.
- Los escenarios de ENSEMBLES no analizan la incertidumbre debido al escenario de emisión, habiéndose considerado únicamente el escenario SRES-A1B. Estos permiten, por tanto, abordar las incertidumbres asociadas al empleo de distintos modelos globales y técnicas de regionalización, bajo este único escenario de emisiones.

Los distintos modelos globales utilizados así como las diferentes técnicas de regionalización se han evaluado exhaustivamente y aparecen documentadas en las referencias que se citan en este manual. Estas evaluaciones pueden proporcionar ayuda a la hora de seleccionar los escenarios para diferentes fines. Los diferentes métodos de evaluación y métricas utilizados para comparar cuantitativamente el grado de proximidad o acuerdo entre las simulaciones proporcionadas por los modelos entre sí y entre los modelos y las observaciones dependen grandemente de las escalas y aspectos de los modelos y observaciones que se consideren. En este sentido, se puede decir que las métricas a seleccionar dependen mucho del objetivo de la comparación. En consecuencia, se cuantificará diferentemente la “bondad” del modelo en términos de su mayor proximidad con las observaciones dependiendo de la métrica seleccionada que normalmente está referida a ciertos aspectos y/o escalas de los modelos. Se puede por lo tanto concluir que la comparación de modelos es muy dependiente del objeto de la comparación y de las aplicaciones posteriores de las simulaciones.

VI. ACCESO Y DESCARGA DE LOS DATOS Y PRODUCTOS

VI.1. Usuarios no especializados

Fuente de datos

Los productos de **Escenarios-PNACC Datos mensuales** dirigidos a los usuarios de los tipos general y sectorial se encuentran en la Web de la Agencia Estatal de Meteorología, y puede accederse a ellos desde el siguiente link:

http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat

Seleccionando la caja correspondiente a Escenarios PNACC Datos mensuales que figura en la parte inferior derecha de la pantalla (Figura 7).



Figura 7. Aspecto de la web de la AEMET desde donde acceder a los productos de **Escenarios-PNACC Datos mensuales**

Organización de la información

La información contenida en la Web de **Escenarios-PNACC Datos mensuales** se ha organizado de manera que en unos pocos pasos el usuario tenga acceso a paquetes de información sobre la(s) variable(s) de su interés, de forma sencilla.

Una vez dentro de la ventana de **Escenarios PNACC Datos mensuales** (Figura 8), el usuario debe realizar los siguientes pasos:

1. Seleccionar datos en rejilla o puntuales, mediante la selección de una de las 2 pestañas situadas en la parte superior de la página.
2. Seleccionar Variable - Escenario – Proyecto - Formato La ventana presenta cuatro cajas desplegadas que permiten elegir:
 - la variable o conjunto de variables de interés

- el o los escenarios de emisiones
- el proyecto fuente de los datos
- el formato

La consulta a las *Tablas IV, V.I y V.II* puede facilitar y servir de guía en el proceso de selección.

La estructura de las cajas permite al usuario ser tan específico en su selección de información como desee, permitiendo también la selección de todos los elementos de cada una de las cajas.

El resultado de la búsqueda de información demandada aparece en un listado, que presenta cada fichero que cumple con los criterios de búsqueda, en formato comprimido (.zip), y una serie de campos que describen los valores de los cuatro factores de búsqueda (variable, escenario, proyecto y formato) de cada fichero. Simplemente pinchando sobre cada nombre del fichero, comienza la descarga de la información.

Datos mensuales

Las denominadas **proyecciones regionalizadas de cambio climático** (también llamados **escenarios**) proporcionan información detallada sobre las mejores estimaciones del clima futuro de nuestro país, que constituyen un elemento imprescindible para llevar a cabo las evaluaciones de impactos y vulnerabilidad en los distintos sectores sensibles, y por tanto para diseñar políticas adecuadas de adaptación a sus efectos.

En el marco del Plan Nacional de Adaptación (PNACC) se ha elaborado una completa colección actualizada de proyecciones regionalizadas (escenarios) de cambio climático para España y de productos derivados, denominada Escenarios PNACC-Datos mensuales, que se pone a libre disposición de todos aquellos organismos, instituciones, empresas y personas interesados en evaluar los impactos, la vulnerabilidad y las opciones de adaptación al cambio climático en su área de actividad o interés, y se constituyen en los escenarios de referencia del PNACC.

Los productos de Escenarios PNACC-Datos mensuales se han elaborado con el objetivo de facilitar su uso y aplicación a diversos perfiles de usuario, con mayor o menor grado de especialización.

Rejilla ☐ Puntuales ☐

Variable

- Todas
- Tª máxima
- Tª mínima
- Precipitación total acumulada
- Velocidad del viento a 10m
- Velocidad máxima del viento a 10m
- Humedad relativa
- Percentil 95 de la temperatura máxima diaria
- Percentil 5 de la temperatura mínima diaria
- Percentil 95 de la precipitación diaria
- Nº de días con temperatura mínima < 0ºC
- Nº de días con temperatura mínima > 20ºC (noches tropicales)
- Precipitación máxima en 24h
- Nº de días con precipitación < 1mm
- Nº de días con precipitación > 20mm

Escenario

- Todas
- 20C3M
- CTL
- B1
- A1B
- A2

Proyecto

- Todas
- AEMET
- ENSEMBLES
- ESCENA
- ESTCENA

Formato

- Todas
- txt
- sic

Resultados de la búsqueda

Variable	Escenario	Proyecto	Formato	Fichero
Tª máxima	20C3M	AEMET	TXT	R_TXMM_20C3M_AEM_TXT.zip (1 MB)
Tª máxima	20C3M	ENSEMBLES	TXT	R_TXMM_20C3M_ENS_TXT.zip (13 MB)
Tª máxima	20C3M	ESCENA	TXT	R_TXMM_20C3M_ESC_TXT.zip (18 MB)
Tª máxima	20C3M	ESTCENA	TXT	R_TXMM_20C3M_EST_TXT.zip (21 MB)

Figura 8 . Aspecto de *Escenarios-PNACC* Datos mensuales en la web de AEMET

Nomenclatura

Los ficheros comprimidos se han codificado de manera que proporcionen toda la información posible sobre su contenido, haciendo referencia a las cuatro variables que se seleccionan en la ventana:

- Datos en rejilla o puntuales: R ó P
- Código de la variable: los códigos aparecen en la *Tabla IV*
- Escenario de emisiones (CTL, 20C3M, B1, A1B, A2).
- Proyecto fuente (EST, ESC, AEM, ENS)
- Formato (TXT, SIG)

Ejemplo: P_TX95_A1B_EST_TXT.zip se refiere a datos puntuales (P), sobre la variable percentil 95 de la temperatura máxima (TX95), para el escenario A1B, generados en el proyecto ESTCENA (regionalización estadística) y en formato TXT.

Estos archivos comprimidos (.zip) se componen, a su vez, de uno o varios archivos de datos, que están codificados siguiendo el esquema siguiente:

- En el caso de **datos en formato texto**, toda la información se codifica en un único fichero ASCII con extensión 'csv' (comma separated value, columnas separadas por comas), en el que cada fila corresponde a una fecha y cada columna a un punto de rejilla o a una localidad. La primera columna indica la fecha particular (en formato YYYYMM, o YYYY, según corresponda) y el resto de columnas indican los valores correspondientes a los puntos o localidades, según el orden en el que aparecen en el fichero "Master.txt". Este fichero maestro proporciona el código (por ejemplo, el código de AEMET para las localidades), nombre (para punto de rejilla coincide con el código), longitud, latitud y altura de cada uno de los puntos o localidades.
- **Formato SIG**, la información se almacena de forma desagregada, con un fichero para cada mes y año (o para cada año, según corresponda) en formato "ASCII grid ARCGIS" que puede importarse fácilmente desde la mayoría de los SIG disponibles en el mercado. Cada fichero respondería a la siguiente nomenclatura: VAR_MET_GCM_ESC_RUN_YYYYMM.txt (donde VAR es la variable, MET es el método de downscaling, GCM es el modelo global, ESC es el escenario, RUN es la realización particular y YYYYMM es la fecha, en formato año mes). Cada uno de estos ficheros tiene una cabecera con la información geográfica de la rejilla regular (ver abajo), seguida por la matriz de datos correspondiente. Se muestra a continuación un ejemplo de este tipo de encabezamientos:

```
ncols      24
nrows      11
xllcorner  -7,500000
yllcorner  36,000000
cellsize   0,20000
NODATA_value -9999
```

Los datos en formato SIG se proporcionan sólo para los datos en rejilla. En este caso los ficheros en formato texto y SIG se denominan R_indic_escen_proy_TXT.zip y R_indic_escen_proy_SIG.zip, respectivamente.

VI.2. Usuarios especializados

Los usuarios especializados o con capacidad para manejar grandes bases de datos, deben recurrir a las Webs dispuestas por las instituciones que han desarrollado los distintos modelos para la distribución de la información generada. A continuación se presentan los links a dichas Webs:

Escenarios dinámicos del proyecto ESCENA

<http://atmosfera.uclm.es:8080/thredds/catalog.html>

e-mail:

Escenarios estadísticos del proyecto ESTCENA:

<http://www.meteo.unican.es/projects/estcena>

e-mail: meteo@unican.es

Escenarios dinámicos y estadísticos de AEMET:

http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/datos_numericos

e-mail: jsanchezp@aemet.es

Escenarios del proyecto europeo ENSEMBLES :

<http://ensemblesrt3.dmi.dk>

VII. CAMBIO DE ESCALA. RECOMENDACIONES PARA LA INTERPOLACIÓN ESPACIAL

Los trabajos de impacto del cambio climático realizados en distintos sectores (hidrología, agricultura, etc.) han reflejado la necesidad de disponer de información climática a muy alta resolución espacial (inferior a 1 Km) y normalmente sobre una rejilla regular que cubra la zona de interés. Esta resolución no está disponible en los escenarios regionales de cambio climático elaborados en los diferentes proyectos de ámbito europeo, nacional o regional, con resoluciones de decenas de kilómetros (o puntual, en el caso estadístico). Por tanto, en estos casos es necesario llevar a cabo un proceso de interpolación de los resultados para adecuarlos a una rejilla regular en la escala espacial requerida.

El desarrollo de Modelos Digitales de Elevación (MDE) de alta resolución y su tratamiento con técnicas geoestadísticas y Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha permitido adaptar/interpolarse el clima en un territorio concreto estableciendo relaciones entre las observaciones climáticas disponibles y los forzamientos geomorfológicos derivados del MDE (elevación, continentalidad, barreras topográficas, etc.). En las últimas décadas, el uso de estas herramientas ha dado lugar a diversos atlas climáticos de alta resolución espacial (inferior a 1 km) a escala global (WorldClim, Hijmans *et al.* 2005), nacional (Atlas Climático Digital de la Península Ibérica, Ninyerola *et al.* 2005; Atlas climático de AEMET (http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_climatico) o regional (Gutiérrez *et al.* 2010). En algún caso, estas técnicas también se han aplicado para regionalizar escenarios de cambio climático (ver, por ejemplo, Felicísimo *et al.* 2011 o Gutiérrez *et al.* 2010).

En líneas generales los diferentes métodos aplicados en la elaboración de estos productos constan de dos componentes: un método geoestadístico de interpolación $I(x)$ y un modelo de regresión $R(x)$. Es decir, si $y^*(x)$ es el valor estimado de la variable en el punto x , éste se obtiene mediante la fórmula:

$$y^*(x) = I(x) + R(x), R(x) = a_0 + \sum_{k=1}^m a_k V_k(x),$$

siendo $V_k(x)$ las variables regresoras obtenidas a partir del MDE. En algunas ocasiones, el método de interpolación incluye la dependencia de la variable respecto al MDE (por ejemplo co-kriging) y por lo tanto no se considera un modelo de regresión.

En la ecuación anterior, el modelo de regresión establece la dependencia de la variable respecto al MDE. Si bien los métodos de interpolación se definen de forma general, tanto las variables que se consideran en el modelo de regresión como su peso dentro del mismo dependen fuertemente de cada región por lo que, idealmente, debe considerarse un conjunto de variables regresoras para cada región o área climáticamente homogénea.

El método de interpolación de la ecuación anterior establece la dependencia del valor de la variable en un punto (x) respecto a las observaciones disponibles entorno a dicho punto. Los métodos más utilizados son los métodos de Kriging (Krige, 1951): kriging ordinario, co-kriging, kriging binario, etc. y los métodos basados en splines (Hutchinson, 1998): Thin plate splines, etc.

Cuando la resolución temporal necesaria es mensual (o inferior), la ecuación anterior se aplica a cada una de las variables consideradas (precipitación, temperatura máxima, mínima, etc.) en dos fases:

- En primer lugar se aplica el modelo de regresión, obteniendo una primera estimación y los residuos del modelo.
- A continuación se aproximan los residuos con el método de interpolación y se corrige la estimación inicial con dicha aproximación obteniendo el valor final.

Cuando se necesita alcanzar una mayor resolución temporal (por ejemplo, dato diario) la metodología anterior se modifica ligeramente para que la regresión se aplique a la resolución apropiada:

- En primer lugar, para cada dato agregado mensualmente se aplica el proceso descrito anteriormente, obteniendo una estimación del valor mensual de la variable en cada punto.
- A continuación se aplica el método de interpolación a las anomalías diarias respecto al dato mensual obteniendo una estimación de dichas anomalías para cada punto.
- Finalmente se combinan las series mensuales con las anomalías diarias obteniendo la estimación del dato diario en cada punto.

En la actualidad, las principales herramientas SIG (por ejemplo ArcGIS) permiten aplicar automáticamente este tipo de técnicas de interpolación a los datos. Por otra parte, los principales paquetes de cálculo científico (por ejemplo R) incluyen librerías geoestadísticas con este tipo de herramientas (por ejemplo la librería Aurelhy, <https://r-forge.r-project.org/projects/aurelhy/>).

VIII. INFORMACIÓN DE DETALLE DE LAS FUENTES DE DATOS DE ESCENARIOS-PNACC *Datos mensuales*

Este capítulo se dirige a los usuarios especializados o a aquellos que deseen profundizar en la naturaleza y las propiedades de las fuentes de datos de Escenarios-PNACC Datos mensuales.

VIII.1. Escenarios climáticos regionalizados dinámicos - proyecto ESCENA

El proyecto ESCENA (“Generación de escenarios regionalizados de cambio climático en España con modelos de alta resolución”, 2009-2012) ha utilizado 4 modelos regionales diferentes que representan el mejor conocimiento disponible en materia de 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 VI* resume los detalles técnicos esenciales, relacionados con la resolución y proyección geográfica de los modelos, que es importante para los usuarios, ya que los datos de mayor resolución se encuentran en la malla original de cada modelo, que no es regular en latitud-longitud. La *Tabla* proporciona, además, la referencia bibliográfica que permite obtener todos los detalles en cuanto a la dinámica y parametrizaciones físicas de los modelos.

RCM	Proyección	Resolución		Referencia
		Horizontal	Vertical	
PROMES	Lambert	25 Km	37	Sánchez <i>et al.</i> (2004)
MM5	Lambert	25 Km	30	Grell <i>et al.</i> (1994)
REMO	Rot. lat-lon	0.22°	31	Jacob <i>et al.</i> (2001)
WRF	Lambert	25 Km	33	Skamarok <i>et al.</i> (2008)

Tabla VI. Características relevantes de los modelos regionales de ESCENA. Resolución horizontal (tamaño de la unidad básica de la malla) y vertical (número de niveles) de cada uno de los modelos utilizados, y referencia bibliográfica

Todos los modelos han sido aplicados con una configuración similar. La resolución espacial horizontal original de la malla es de 25 km, y las todas las simulaciones abarcan una ventana espacial que incluye la Península Ibérica, las Islas Baleares y las Islas Canarias, además de zonas próximas (ver *Figura 9*). Estos dominios presentan ventajas frente a los utilizados en proyectos europeos de regionalización dinámica previos (PRUDENCE, ENSEMBLES), que permiten considerarlo adecuados para la regionalización en territorio de España, a saber:

- La Península Ibérica está aproximadamente en el centro del dominio, en vez de cerca de una esquina, como sucedía en aquellos proyectos.
- Las Islas Canarias están incluidas dentro de todos los dominios, por primera vez en simulaciones de este tipo.
- Los dominios abarcan una zona relativamente amplia del Océano Atlántico, que tiene una gran importancia en el desarrollo de perturbaciones ciclónicas que afectan a la Península.

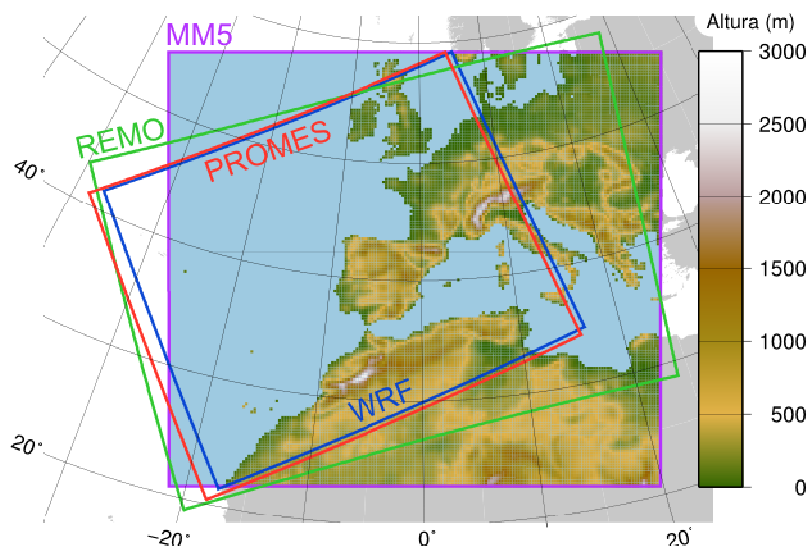


Figura 9. Dominio espacial cubierto por cada uno de los modelos regionales de ESCENA. Se muestra únicamente el área aprovechable de cada simulación (después de eliminar las áreas periféricas). La escala de color del mapa muestra la orografía del modelo MM5. Figura adaptada de Jiménez-Guerrero et al. (2012)

Simulaciones

Las primeras simulaciones disponibles en ESCENA constituyen simulaciones con condiciones de frontera “perfectas”, que permiten establecer los sesgos de cada modelo 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.

En el proyecto se han utilizado simulaciones de tres GCMs distintos: ECHAM5, HadCM3 y CNRM, lo que permite tener en cuenta la incertidumbre asociada a la formulación del modelo climático global. 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 un número total de simulaciones que no es posible afrontar. En ESCENA, como en ENSEMBLES, se ha optado por abordar un número limitado de combinaciones, para poder estudiar, al menos parcialmente, las diferentes fuentes de incertidumbre. Sin embargo, se ha diseñado la matriz de simulaciones (*Tabla VII*) de forma que todos los modelos regionales se han anidado a una misma simulación global (EC5R2-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	Escena rios	PROME S	MM5	ESCENA		
				REMO	WRF-A	WRF-B
ECHAM5	20C3M	+	+	+	+	+
	A1B	+	+	+	+	+
	A2	+	+		+	
	B1	+	+	+		
CNCM3	20C3M	+	+			
	A1B	+	+			
	B1	+	+			
HadCM3Q0	20C3M	+	+			
	A1B	+	+			
HadCM3Q16	20C3M	+	+			
	A1B	+	+			

Tabla VII. Matriz de proyecciones de escena con las distintas combinaciones GCM/RCM. Cada cruz (+) representa 50 años de simulación: 1951-2000 (ctrl) ó 2001-2050 (A1B/A2/B1)

El resultado final del proyecto ESCENA consiste en un conjunto de proyecciones para las variables mostradas en la *Tabla VIII*, que están disponibles para las combinaciones Escenario/GCM/RCM mostradas en la *Tabla VII* a través de la página Web del proyecto. Las variables se proporcionan con frecuencia diaria o superior, de hasta 3 horas para variables cuyo ciclo diario es importante para determinados estudios. El formato básico de los datos es el denominado NetCDF, que contiene toda la información necesaria para trabajar con ellos: coordenadas espaciales de la malla, coordenada temporal de los datos, y metadatos. Estos últimos incluyen datos adicionales sobre las variables, como las unidades, e información sobre la fuente de los datos (modelo, fecha) y sobre su postproceso. Por ello, para cada variable sólo es necesario un fichero, no hace falta ningún fichero o dato adicional con información sobre las variables.

Para facilitar el uso de los datos, se ha configurado el acceso a los datos mediante un servidor OpeNDAP (<http://atmosfera.uclm.es:8080/thredds/catalog.html>), que permitirá acceder a los datos también en formato ASCII, y descargar subconjuntos de datos (subdominios espaciales, intervalos temporales) en vez de los ficheros completos. En la *Tabla VIII* se presentan las variables disponibles, su nombre abreviado (que se usa en los ficheros en formato NetCDF), la frecuencia de almacenamiento y las unidades.

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 / hfls	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 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 VIII. 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 hPa¹¹

VIII.2. Escenarios climáticos regionalizados estadísticos - proyecto ESTCENA

El proyecto ESTCENA ("Programa coordinación para la generación de escenarios regionales de cambio climático: Regionalización estadística", 2009-2012) ha tenido como objetivo principal obtener escenarios climáticos, para temperatura mínima, máxima y

¹¹ Notas importantes sobre las variables

- La velocidad del viento es velocidad sostenida, no se refiere a rachas.
- Los flujos radiativos y de energía se proporcionan como valores acumulados diarios.
- La precipitación se proporciona como flujo medio para el periodo indicado (1 día, o en el caso de la precipitación horaria máxima, 1 hora).
- Las variables que representan depósitos (*stocks*), como la humedad total del suelo y la nieve acumulada, se proporcionan como valores diarios instantáneos a las 0 h.
- Las variables con frecuencia de almacenamiento trihoraria son valores instantáneos
- Algunas variables (por ejemplo, la precipitación horaria máxima) no están disponibles para todos los modelos.
- La nubosidad total incluye el efecto combinado de la nubosidad alta, media y baja.
- Las variables hidrológicas de suelo (humedad del suelo, escorrentía) se deben tomar con precaución. Se calculan con modelos de suelo relativamente simplificados, y su definición concreta varía de un modelo a otro, particularmente la de la humedad máxima del suelo. La función de estas variables en los modelos climáticos es proporcionar una realimentación a la atmósfera, función que cumplen adecuadamente. Pero no es recomendable emplear estas variables directamente en estudios de impacto hidrológico. Para estos estudios deberían emplearse modelos hidrológicos más detallados, utilizando las variables atmosféricas de los escenarios.

precipitación, mediante la técnica de regionalización estadística a partir de las proyecciones globales de modelos del IPCC-AR4 y del proyecto ENSEMBLES.

Para establecer modelos empíricos adecuados, se consideró inicialmente un conjunto homogéneo de variables, tanto de reanálisis (ERA-40 del ECMWF) como de GCMs, que fuesen buenos predictores de la precipitación y la temperatura en superficie mediante una revisión bibliográfica para analizar los predictores potenciales utilizados en estudios similares de regionalización comprobando que fuesen bien reproducidos por los GCMs en el período de control (Brands et al. 2011): Geopotencial, temperatura, humedad específica, componentes U y V del viento, velocidad vertical, vorticidad relativa en 850, 700 y 500 hPa, así como la presión a nivel del mar y la temperatura a 2 metros, entre otros.

Por otra parte, se realizó una revisión exhaustiva de técnicas de downscaling estadístico para identificar aquellas idóneas para la proyección de escenarios de cambio climático. Como resultado de este estudio se identificaron 7 grupos distintos de técnicas, según el tipo de método y predictando al que se aplican (precipitación y/o temperatura en este caso). También se contó con dos técnicas más sofisticadas, basadas en combinaciones de las técnicas anteriores. M8: método de la FIC (ver Ribalaygua et al. 2012), M9: método UIB.

Para los 7 grupos de técnicas, se realizaron distintos estudios de sensibilidad para determinar las configuraciones óptimas de los distintos métodos para la región de estudio.

Finalmente, como consecuencia de dichas validaciones, se seleccionaron las técnicas de regionalización que aparecen en la Tabla IX.

Código	Acrónimo	TÉCNICA
M1a	ANALO	Regresión a partir del vecino más cercano (Gutiérrez et al. 2012)
M3a/M4a	REG-CP	Regresión a partir de componentes principales (Gutiérrez et al. 2012)
M3c/M4c	REG-CP-NN	Regresión a partir de CPs y un punto vecino (Gutiérrez et al. 2012)
M5c/M6c	REG-WT	Regresión condicionada a tipos de tiempo (Gutiérrez et al. 2012)
M8	FIC	Método de análogos de la FIC (Ribalaygua et al. 2012)
M9	UIB	Método de tipos de tiempo de la UIB (Romero et al. 2012)

Tabla IX. Técnicas de regionalización seleccionadas en el proyecto ESTCENA tras el proceso de validación. A efectos de su identificación en las bases de datos, se ha asignado un acrónimo a cada una de las técnicas. Obsérvese que para temperatura los modelos de regresión son modelos lineales, para precipitación son modelos lineales generalizados (GLMs)

Simulaciones

Para cada variable seleccionada (temperaturas máximas y mínimas y precipitación), el resultado final del proyecto es un conjunto de proyecciones que resulta de combinar los GCMs con los métodos de downscaling. Por ejemplo, la Tabla X muestra la matriz de proyecciones resultante para la temperatura. Para cada una de estas combinaciones/celdas, se dispone de proyecciones en la rejilla y en la red puntual de estaciones para los escenarios indicados. El escenario de control (CTRL) es el escenario 20C3M, que abarca el período 1961-2000, mientras que los restantes escenarios cubren de manera continua y a escala diaria el período 2001-2100.

Escenarios	CGM	ESTCENA					
		ANALO	REG-CP	REG-CP-NN	REG-WT	FIC	UIB
CTRL,B1,A1B,A2	CNCM3	+	+	+	+	+	+
CTRL,B1,A1B,A2	MPEH5	+	+	+	+	+	+
CTRL,B1,A1B,A2	BCM2	+	+	+	+	+	+
CTRL,A1B	HadCM3-Q3	+	+	+	+	+	+
CTRL,A1B	HadGEM2	+	+	+	+	+	+
CTRL,A1B	IPCM4v2	+	+	+	+	+	+

Tabla X. Matriz de proyecciones para temperatura, con los distintos GCMs y métodos de downscaling (sólo datos puntuales)

La información detallada de los resultados de este proyecto, así como de los datos disponibles se puede encontrar en la Web del proyecto: <http://www.meteo.unican.es/projects/estcena>.

Al igual que en el proyecto ESCENA, el formato básico de los datos es NetCDF y, para facilitar el acceso y uso de los mismos, se ha configurado el acceso a los datos mediante un servidor OpeNDAP (<http://www.meteo.unican.es/thredds/catalog/PNACC2012>), que permite acceder tanto a los datos específicos del proyecto ESTCENA, como a los datos agregados de los indicadores del Escenarios-PNACC Datos mensuales junto con los datos diarios de los distintos proyectos que han servido para generar estos indicadores.

VIII.3. Escenarios climáticos regionalizados dinámicos y estadísticos - AEMET

Regionalización estadística

El objetivo principal ha consistido en obtener escenarios climáticos regionalizados mediante técnicas estadística (ver sección 3) a partir de un conjunto, complementario al de ESTCENA, de modelos globales de cambio climático del IPCC-AR4 y del proyecto ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org/>).

Se han regionalizado las variables precipitación y temperaturas máxima y mínima con dos algoritmos estadísticos, basados en técnicas de análogos y de regresión respectivamente.

Los modelos del proyecto IPCC-AR4 poseen proyecciones para 3 escenarios de emisión (A2, A1B, B1) y para dos ventanas temporales, cubriendo los periodos 2046-2065 y 2081-2100.

Los modelos del proyecto ENSEMBLES-Stream 1 poseen proyecciones para los mismos 3 escenarios de emisión SRES (A2, A1B, B1) para todo el siglo XXI. Los modelos del proyecto ENSEMBLES-Stream 2 poseen proyecciones para el escenario de emisión A1B y para el escenario de mitigación E1 (compatible con el objetivo de no sobrepasar los 2°C de calentamiento), para todo el siglo XXI.

Las *Tablas XI.I y XI.II* sintetizan los modelos, escenarios y períodos disponibles con dato diario para estas variables.

		20C3M	A2	A1B	B1	
		1961-2000	2046-2065 2081-2100	2046-2065 2081-2100	2046-2065	2081-2100
IPCC-AR4 X: datos Península y Canarias X ₁ : datos Península	GISS_AOM	X		X	X 1	
	GISS_MODEL_E_R	X	X	X	X1	X1
	INMCM3_0	X	X	X1	X	X
	MIUB_ECHO_G	X	X	X1	X1	
	MRI_CGCM2_3_2 ^a	X	X1	X	X	X
	MPI_ECHAM5	X	X	X1	X	X
	CCCMA_CGCM3_1	X	X	X		X1
	CCCMA_CGCM3_1T63	X		X	X	X
ENSEMBLES- STREAM1	GFDL_CM2_1	X	X		X	X
		20C3M	A2	A1B	B1	
		1961-2000	2001-2100	2001-2100	2001-2100	
	BCCR_BCM2	X		X	X	
	CNR-CM3	X	X	X	X	
	EGMAM	X	X	X	X	
	INGV (*)	X	X	X		
	IPCM4	X	X	X	X	
ENSEMBLES- STREAM2	MPEH5	X	X	X	X	
		20C3M	A2	A1B	E1	
		1961-2000	2001-2100	2001-2100	2001-2100	
	CNCM33	X		X		
	DMIEH5C	X		X		
	EGMAM2	X		X	X	
	HADGEM2	X		X	X	
	IPCM4v2	X		X	X	
	MPEH5C	X		X	X	

Tabla XI.I. Matriz de proyecciones para distintos GCMs y técnica de análogos

INGV * solo tiene datos de los periodos 2046-2065 y 2081-2100

		20C3M	A2		A1B	B1
		1961-2000	2046-2065	2081-2100	2046-2065 2081-2100	2046-2065 2081-2100
IPCC-AR4	GISS_MODEL_E_R	X	X	X	X	X
	INMCM3_0	X	X		X	X
	MIUB_ECHO_G	X			X	X
	MRI_CGCM2_3_2A	X			X	X
	CCCMA_CGCM3_1	X	X	X	X	X
	GFDL_CM2_0	X	X	X	X	X
	GFDL_CM2_1	X	X	X	X	X

ENSEMBLES- STREAM1		20C3M	A2	A1B	B1
		1961-2000	2001-2100	2001-2100	2001-2100
X: datos Península y Canarias X ₁ : datos Península	CNR-CM3	X	X	X	X
	INGV (*)	X	X	X	
	IPCM4	X	X1	X	X
	MPEH5	X	X	X	X
ENSEMBLES- STREAM2		20C3M	A1B	E1	
		1961-2000	2001-2100	2001-2100	
	CNCM33	X	X	X	
	DMIEH5C	X	X		
	EGMAM2	X	X	X	
	MPEH5C	X	X		

Tabla XI.II. Matriz de proyecciones para distintos GCMs y técnica de regresión

INGV * solo tiene datos de los periodos 2046-2065 y 2081-2100

Se han utilizado datos de 2 321 estaciones para precipitación y 374 para las temperaturas máxima y mínima procedentes de la base de datos climatológica de AEMET que cubre razonablemente todo el territorio español. Las estaciones seleccionadas han pasado un control de calidad basado en criterios de longitud temporal de la serie, número reducido de lagunas y homogeneidad (Brunet et al. 2008).

Los modelos globales se han evaluado previamente utilizando diferentes técnicas de evaluación basadas en el análisis de las variables precipitación y temperaturas, en el análisis de los modos de variabilidad y de los tipos de tiempo (Casado *et al.* 2012; Pastor et al. 2012). Esta valoración puede resultar útil para extraer subconjuntos de regionalizaciones que se ajusten mejor a los requerimientos de cada análisis sectorial particular.

Regionalización dinámica

Los escenarios basados en regionalización dinámica realizados en AEMET se han realizado con el modelo atmosférico regional de clima RCA3.5. Este modelo es un derivado del modelo HIRLAM (<http://hirlam.org/>), para las predicciones meteorológicas operativas a corto plazo, adaptado para fines climáticos. El modelo RCA3.5 tiene un núcleo dinámico que lo hace especialmente eficiente en integraciones a escala climática. Todas las integraciones se han realizado hasta el año 2100 con una resolución espacial de 25 km sobre un dominio que abarca la península Ibérica, Islas Canarias y todo el mar Mediterráneo. Además, estas integraciones se han utilizado para forzar escenarios de variables oceánicas en los mares circundantes.

Las integraciones actualmente disponibles generadas con RCA3.5 (*Tabla XI/I*) están forzadas: i) para un periodo observacional con ERA40 (1958-2002) y ERA-Interim (1989-2010) y se han utilizado principalmente para la evaluación de la modelo RCA3.5 sobre el dominio seleccionado; ii) para el periodo 1950-2100 con los escenarios SRES A1B y A2 y con el modelo global ECHAM5; iii) para el periodo 1950-2100 con el escenario SRES A1B y con las tres versiones de distinta sensibilidad (HadCM3low, HadCM3high, HadCM3med) del modelo HadCM3

MODELO Período	ECHAM5	HadCM3 HS	HadCM3 LS	HadCM3 MS
ESCENARIO	1950-2100	1950-2100	1950-2100	1950-2100
A1B	X	X	X	X
A2	X			

Tabla XII. Matriz de proyecciones para distintos GCMs y escenarios

El dominio de integración cubre, además de todo el territorio nacional, toda la cuenca Mediterránea. La resolución horizontal es de $0.22^\circ \times 0.22^\circ$ en latitud y longitud. Se generan salidas de un gran número de variables con frecuencia intradiaria (6h, 3h, 1h) para su utilización en diversas aplicaciones que requieren información en esta escala temporal.

Todas las variables (*Tabla XIII*) están archivadas en formato GRIB y una pequeña selección en formato NetCDF. La misma selección de variables que actualmente está en el servidor de AEMET para una ventana sobre la península Ibérica en formato ASCII y con frecuencia diaria, también se extraerá para estas integraciones con RCA3.5.

VARIABLE	ABREVIATURA	Frecuencia	Unidades
Geopotencial	gpot300	6 h	m ² s ⁻²
	gpot500	6 h	m ² s ⁻²
	gpot700	6 h	m ² s ⁻²
	gpot850	6 h	m ² s ⁻²
	gpot925	6 h	m ² s ⁻²
Temperatura	t300	6 h	K
	t500	6 h	K
	t700	6 h	K
	t850	6 h	K
	t925	6 h	K
comp u del viento	u300	6 h	m s ⁻¹
	u500	6 h	m s ⁻¹
	u700	6 h	m s ⁻¹
	u850	6 h	m s ⁻¹
	u925	6 h	m s ⁻¹
comp v del viento	v300	6 h	m s ⁻¹
	v500	6 h	m s ⁻¹

	v700	6 h	m s-1
	v850	6 h	m s-1
	v925	6 h	m s-1
comp w del viento	w300	6 h	m s-1
	w500	6 h	m s-1
	w700	6 h	m s-1
	w850	6 h	m s-1
	w925	6 h	m s-1
hum específica	q300	6 h	kg kg-1
	q500	6 h	kg kg-1
	q700	6 h	kg kg-1
	q850	6 h	kg kg-1
	q925	6 h	kg kg-1
hum relativa	h300	6 h	kg kg-1
	h500	6 h	kg kg-1
	h700	6 h	kg kg-1
	h850	6 h	kg kg-1
	h925	6 h	kg kg-1
sst	sst	6 h	K
ts	ts	6 h	K
Precipitacion Convectiva Nieve	snowconvprc	6 h	mm/6 h
Pcp Larga Escala Nieve	snowlsprc	6 h	mm/6 h
Escorrentía	runoff	6 h	mm/6 h
Agua Precipitable	precwtr	6 h	kg m-2
Hielo Nube	cldice	6 h	kg m-2
Fracción Nubes Bajas	lowcc	6 h	-
Fracción Nubes Medias	medcc	6 h	-
Fracción Nubes Altas	highcc	6 h	-
Agua Nube	cw	6 h	kg m-2
Albedo Medio Grid	albedo	6 h	-

Grid Average Snow Water	sn_i	6 h	m
Lowest Cloud Level	cloudbot_i	6 h	m
Land Average vw	momfvl_i	6 h	N m-2
Open Land Snow Averaged	vwmomfvopsn_i	6 h	N m-2
Forest Bare Soil and Snow vw	momfvfor_i	6 h	N m-2
Lake and/or sea water vw	momfvs_i	6 h	N m-2
Lake and/or sea ice and snow averaged vw	momfvi_i	6 h	N m-2
grid averaged momentum flux	momf_i	6 h	N m-2
total 10m wind speed grid	mv10_i	6 h	m s-1
fraction deciduous forest	frdecid_i	6 h	-
Geopotencial en 100 hPa	gpot100	24 h	m ² s-2
T en 100 hPa	T100	24 h	K
u en 100 hPa	u100	24 h	m s-1
v en 100 hPa	v100	24 h	m s-1
w en 100 hPa	w100	24 h	m s-1
q en 100 hPa	q100	24 h	kg kg-1
h en 100 hPa	h100	24 h	kg kg-1
Sea or Lake Ice concentration	frice	24 h	-
Lake ice thickness	iceth	24 h	m
Acc sunshine hours	assh	24 h	Hrs/24 h
Tmax 2 m	t2max	24 h	K
Tmin 2 m	t2min	24 h	K
T sup max	tsmax	24 h	K
T sup min	tsmin	24 h	K
Bottom clim soil T	tsoilc	24 h	K
Deep soil T (7.2 – 87.2 cm)	tsoild	24 h	K
Fraction snow on open land (0-1)	frsn_i	24 h	-
fraction snow in forest	frsnfor_i	24 h	-
open land /snow avg_5_soil temp	tsopns5_i	24 h	K
forest bare soil/snow avg_5_soil temp	tsfor5_i	24 h	K

soil water availability	swa_i	24 h	K
land averaged leaf area index	lwla_i	24 h	-
averaged tice and ticesn temp	tice1_i	24 h	K
averaged ticed and ticesnd temp	tice2_i	24 h	K
grid averaged snow cover	frsngrid_a	24 h	-
land averaged_1_soil temp	tsland1_i	24 h	K
land averaged_2_soil temp	tsland2_i	24 h	K
land averaged_3_soil temp	tsland3_i	24 h	K
land averaged_4_soil temp	tsland4_i	24 h	K
land averaged_5_soil temp	tsland5_i	24 h	K
open land snow (sn water eq) land value	snopl	24 h	m
forest snow (sn water eq) land value	snfor	24 h	m
density of open land snow	rhosnopl	24 h	kg m-3
density of fores snow	rhosnfor	24 h	kg m-3
second layer open land soil temperature	topls2	24 h	K
third layer open land soil temperature	topls3	24 h	K
lcounttice	lcounttice	24 h	-
fraction forest of fraction land	frcw_i	24 h	-
land sea mask	land	24 h	-
LAI for open land vegetation	laiopn_int_i	24 h	-
LAI for coniferous forest	lai_conif_i	24 h	-
LAI for decidous forest	lai_decid_i	24 h	-
fraction decidous forest	frdecid_i	24 h	-
sea_level_pressure	slp	1 h	Pa
sea_surface_temperature	sst	1 h	K
temperature_2m	t2m	1 h	K
relative_humidity_2m	h2m	1 h	kg kg-1
u_10m	u10m	1 h	m s-1
v_10m	v10m	1 h	m s-1
q_2m	q2m	1 h	kg kg-1

cloud_cover	cov2d	1 h	-
large_scale_precipitation_accumulated	lsprc	1 h	mm/1 hora
convective_precipitation_accumulated	cvprc	1 h	mm/1 hora
time_avg_surface_net_shortwave_radiation	swnetsrf	1 h	W m-2
time_avg_surface_net_longwave_radiation	lwnetsrf	1 h	W m-2
time_avg_net_shortwave_TOA_radiation	swnettoa	1 h	W m-2
time_avg_net_longwave_TOA_radiation	lwnettoa	1 h	W m-2
time_avg_sfc_dwnw_lw_radiation	lwdwnsrf	1 h	W m-2
time_avg_sfc_dwnw_sw_radiation	swdwnsrf	1 h	W m-2
time_avg_dwnw_sw_TOA_radiation	swdwntoa	1 h	W m-2
accumulated_latf_with_unit	evap	1 h	mm/1 hora
accumulated_sensible_heat_flux_(H)	senf	1 h	W m-2
accumulated_latent_heat_flux_(LE)	latf	1 h	W m-2
accumulated_momentum_flux_(rho*star2)	momf	1 h	N m-2
sea level pressure	slp	3 h	Pa
10 m max wind speed	u10max	3 h	m s-1
mixed layer depth	zi	3 h	m
total cloud cover	cov2d	3 h	-
potential evapotranspiration	latfp	3 h	mm/dia-1
grid averaged T2m	t2m_i	3 h	K
grid averaged q2m	q2m_i	3 h	kg kg-1
grid averaged relative humidity 2m	rh2m_i	3 h	-
open land and snow averaged T2m	t2mopsn_i	3 h	K
forest Bare Soil and Snow T2m	t2mfor_i	3 h	K
lake and/or sea water T2m	t2ms_i	3 h	K
lake and/or sea ice and snow averaged T2m	t2mi_i	3 h	K
open land and snow averaged q2m	q2mopsn_i	3 h	kg kg-1
liquid water in open land snow, land value	wsnopl	3 h	m
density of open land snow	rhosnopl	3 h	kg m-3
snow max for open land snow	snoplmax	3 h	m

snow temperature for fores snow	tforsn	3 h	K
liquid water in forest snow, land value	wforsn	3 h	m
density of forest snow	rhosnfor	3 h	kg m-3
fourth layer open land soil temperature	topls4	3 h	K
2nd layer soil temp under open land snow	tsns2	3 h	K
third layer soil temp under open land snow	tsns3	3 h	K
open land snow averaged 1 soil temp	tsopsn1_i	3 h	K
forest bare soil/snow averaged 5 soil temp	tsopsn5_i	3 h	K
grid averaged u10	u10_i	3 h	m s-1
grid averaged v10	v10_i	3 h	m s-1
max of lake and or sea water wind speed	u10msmax	3 h	m s-1
mean of tot wind over all water	utot10ms	3 h	m s-1
max of estimated gust wind	gustest	3 h	m s-1
max of lower bound of gust wind	gustlow	3 h	m s-1
max of upper bound of gust wind	gustup	3 h	m s-1

Tabla XIII. Variables, frecuencia horaria y unidades

Las salidas disponibles de datos con frecuencias intra-diarias explotan al máximo las características del esquema de superficie que se basa en cálculos independientes (método tiling) para las fracciones de los distintos tipos de superficie (vegetación baja, bosque, agua, fracción nieve, etc). El modelo de superficie terrestre posee un grado de complejidad alto que permite la producción de un gran número de variables asociadas a la descripción de la superficie (por ejemplo: densidad de la nieve, etc).

Las salidas correspondientes a los flujos de energía, agua, momento, las temperaturas y humedad a 2m y el viento a 10 están disponibles con frecuencia horaria ya que este es el requisito que se ha precisado para alimentar otros modelos que utilizan como datos de entrada el modelo regional atmosférico (por ejemplo: modelos de olas, modelos de circulación oceánica, etc).

VIII.4. Escenarios climáticos regionalizados DINÁMICOS - proyecto ENSEMBLES

El proyecto ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org>) es el más reciente proyecto de regionalización realizado a escala europea (Christensen *et al.* 2007). En ENSEMBLES se consideraron los RCMs más avanzados desarrollados en Europa (15 modelos en total, ver *Tabla XIV*), para generar proyecciones regionalizadas de cambio climático sobre una rejilla que abarca toda Europa con una resolución de 25km (ver *Figura 10*) considerando el forzamiento global de distintos GCMs del IPCC-AR4 para un único escenario común de

emisiones (A1B). Los resultados de este proyecto constituyen el conjunto de escenarios regionales más completo y actual a escala europea¹².

Acrónimo	Institución	Modelo
CNRM	Centre National de Recherches Meteorologiques	RM4.5
DMI	Danish Meteorological Institute	HIRHAM5
ETHZ	Swiss Institute of Technology	CLM
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut	RACMO2
MetoHC ^(*)	Hadley Center/UK Met Office	HadRM3
ICTP	Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics	RegCM3
Met.NO	The Norwegian Meteorological Institute	HIRHAM
MPI-M	Max Planck Institute for Meteorology	REMO
SMHI	Swedish Meteorological and Hydrological Institute	RCA3.0
UCLM	Universidad de Castilla la Mancha	PROMES

Tabla XIV. Modelos regionales del proyecto ENSEMBLES (modelos disponibles con experimentos de reanálisis, escenario de control y escenario A1B). Nota: hay simulaciones de otros modelos afiliados al proyecto no se han considerado en este estudio. ^(*)El modelo MeteoHC tiene tres versiones distintas denominadas Q0, Q3 y Q16, respectivamente

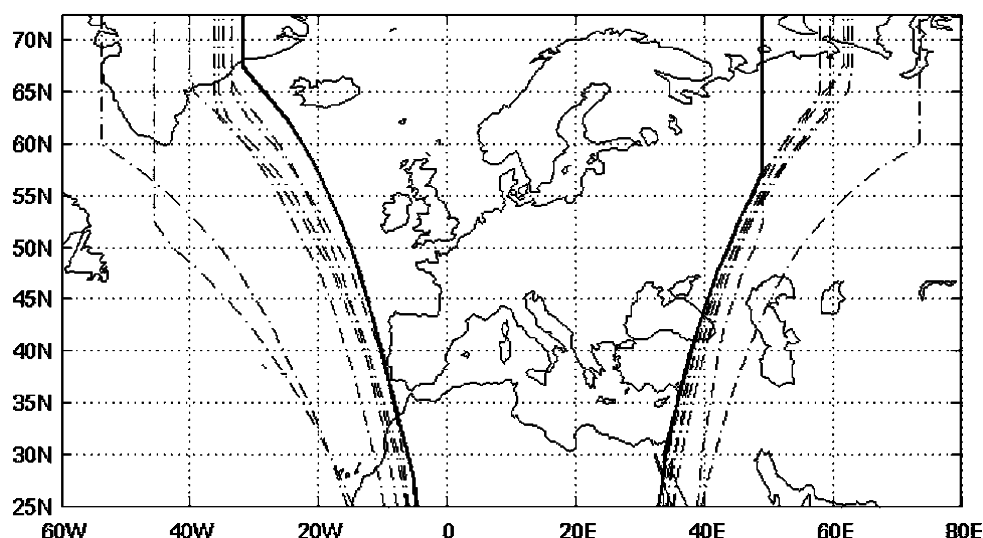


Figura 10. Dominios espaciales de los RCMs de ENSEMBLES. La línea gruesa corresponde al dominio mínimo acordado en el proyecto (tomado de Sánchez-Gómez et al., 2009)

Este proyecto no analiza la incertidumbre debido al escenario de emisión, habiéndose considerado únicamente el escenario SRES-A1B, por lo que estos escenarios exploran y proporcionan información sobre la incertidumbre asociada a los modelos globales y las técnicas de regionalización. Las regionalizaciones finalmente realizadas en el proyecto corresponden a ciertas combinaciones particulares de GCM-RCM, que se abordaron con el criterio de maximizar la diversidad de combinaciones a la vez que mantener una complejidad manejable a un coste computacional asumible. En la *Tabla XV* se muestra la matriz de downscaling con las combinaciones disponibles de los 10 RCMs y cuatro GCMs del IPCC-AR4.

¹² Más detalles en la revista Climate Research, <http://www.int-res.com/abstracts/cr/v44/n2-3/>, de acceso público. Algunos aspectos pueden analizarse transversalmente considerando la información del proyecto precedente PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk>)

	HadCM3Q0¹	ECHAM5³	CNCM3¹	BCM2¹
MetoHC	+			
MPI-M		+		
CNRM			+	
DMI		X	+	X
ETHZ	+ (1)			
KNMI		+		
ICTP		+		
SMHI		X		+
UCLM	+ (1)			
Met.No	X			+ (1)

Tabla XV. Matriz de proyecciones de ensembles. Cada cruz (+) representa: 1961-2000 (CTL, ERA40) y 1961-2000 (20C3M) y 2001-2100 (A1B), excepto las marcadas con (1) que corresponden a 2001-2050 (A1B). Las aspas (x) representan simulaciones descartadas

La lista de variables proporcionada en este proyecto es muy similar a la del proyecto ESCENA (Sec. V.1). Una información completa sobre las variables y productos se puede encontrar en la Web: <http://ensemblesrt3.dmi.dk>

IX. REFERENCIAS

- Brands, S., S. Herrera, D. San-Martín, and J.M. Gutiérrez (2011). Validation of the ENSEMBLES Global Climate Models over southwestern Europe using probability density functions: A downscaling perspective. *Climate Research*, 48, 145-161
- Brunet et al. (2008). Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. AEMET. ISBN: 978-84-8320-470-2
- Casado, M.J., M.A. Pastor, and F.J. Doblas-Reyes (2008). Euro-Atlantic circulation types and modes of variability in winter. *Theoretical Applied Climatology*, 96, 17-29
- Casado, M.J., J.M. Martín, M.A. Pastor y E. Rodríguez (2011). Evaluación de modelos climáticos globales participantes en el 4º Informe de de Evaluación del IPCC sobre España y la región euro-atlántica. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. AEMET. ISBN: 978-84-7837-085-6
- Casado, M.J. and M. A. Pastor (2012). Use of variability modes to evaluate AR4 climate models over the Euro-Atlantic region. *Climate Dynamics*, 38, 225-237. DOI 10.1007/s00382-011-1077-2
- Domínguez, M., R. Romera, E. Sánchez, L. Fita, J. Fernández, P. Jiménez-Guerrero, J. Montávez, W. Cabos, G. Liguori y M.A. Gaertner (2011). Precipitation and temperature extremes over peninsular Spain from a set of high resolution RCMs: spatial distribution and particular events. *Climate Research*, en revisión
- Felícísimo, Á.M. y otros (2011). Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 1. Flora y vegetación. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, 552 pág.
- García-Díez, M., J. Fernández, L. Fita and C. Yagüe (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
- Grell, G., J. Dudhia y D.R. Stauffer (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. et al. (2010). Escenarios Regionales Probabilísticos de Cambio Climático en Cantabria: Termopluiometría. Publicaciones del Gobierno de Cantabria, 192 pág.
- Herrera, S. (2011). Desarrollo, validación y aplicaciones de Spain02: Una rejilla de alta resolución de observaciones interpoladas para precipitación y temperatura en España. Tesis doctoral. Universidad de Cantabria. <http://www.meteo.unican.es/tesis/herrera>
- Herrera S., J.M. Gutiérrez, R. Ancell, M.R. Pons, M.D. Frías and J. Fernández (2012). Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02). *International Journal of Climatology*, 32, 74-85
- Hijmans R.J. et al. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965-1978
- Hutchinson M. 1998. Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines II: Analysis of topographic dependence. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis* 2(2): 168-185
-

Jiménez-Guerrero, P., P. Montávez, M. Domínguez, R. Romera, E. Sánchez, L. Fita, J. Fernández, W. Cabos, G. Liguori y M.A. Gaertner (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.

Krige, D.G. (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa, 52, 119 - 139

Ninyerola M. et al. (2005). Atlas climático digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica. Universitat Autònoma de Barcelona, Cerdanyola del Vallés, Spain

Pastor, M.A. and M. J. Casado (2012). Use of circulation types classifications to evaluate AR4 climate models over the Euro-Atlantic region. Climate Dynamics, 39, 2059-2077. DOI 10.1007/s00382-011-1449-2

Sánchez, E., C. Gallardo, M.A. Gaertner, A. Arribas, M. de Castro (2004). Future climate extreme events in the mediterranean simulated by a regional climate model: a first approach. Global Planet Change, 44, pp:163-180

Sanchez-Gomez E., S. Somot and M. Deque (2009). Ability of an ensemble of regional climate models to reproduce weather regimes over Europe-Atlantic during the period 1961–2000. Climate Dynamics, 33:723–736 DOI 10.1007/s00382-008-0502-7

Skamarock, W.C., J.B. Klemp, J. Dudhia, D.O. Gill, D.M. Barker, M.G. Duda, X.Y. Huang, W. Wang y J.G. Powers (2008). A description of the Advanced Research WRF version 3. National Center for Atmospheric Research Technical Note, TN-475+ST
