

# Aplicación CAMREC. Impacto futuro del cambio climático en los recursos hídricos en España

## CAMREC Software. Future Impact of Climate Change on Water Resources in Spain

L. M. Barranco<sup>1\*</sup>, C. Ángel<sup>2</sup>, R. Herrero<sup>3</sup> y J. García<sup>4</sup>

### Resumen

Se presenta un software llamado CAMREC que permite al usuario obtener información digital sobre los principales mapas que mejor representan las proyecciones de variables hidroclimáticas a lo largo del siglo XXI en España. Esos mapas son una selección de los obtenidos en un estudio previo mediante simulación hidrológica de las salidas de los modelos climáticos que se utilizaron en el quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). El software está integrado en QGIS, un SIG libre y gratuito. Este software permite al usuario calcular los mapas de impacto del cambio climático expresado como cambios porcentuales en períodos futuros de 30 años con relación a los valores medios de 1961-2000. Debido a las incertidumbres relacionadas con el cambio climático, se debe de tener precaución al interpretar los resultados de los cambios en los recursos hídricos que se obtienen con CAMREC.

**Palabras clave:** climate change, software, water resources, Spain.

### Abstract

*A software named CAMREC is presented which allows the user to get digital information about the main maps that better represent the projections of hydroclimatical variables along the XXIst century in Spain. Those maps are a selection of the ones obtained in a previous study by hydrological simulation of the outputs of climate models that were used in the 5<sup>th</sup> evaluation report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The software is integrated in QGIS, an open source GIS. This software allows the user to calculate impact maps of climate change as percentage changes in 30-year-future periods in relation to mean values during 1961-2000. Precaution should be taken when interpreting the results of water resource changes obtained with CAMREC, considering the uncertainties related to climate change.*

**Keywords:** cambio climático, aplicación informática, recursos hídricos, España.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los estudios de impacto hidrológico del cambio climático de ámbito global o europeo sintetizados en los informes del IPCC (Jiménez Cisneros et al. 2104), dan para el entorno geográfico de España una estimación futura pesimista. Hay una gran dispersión de resultados según los estudios y una gran variabilidad regional y estacional; sin embargo, hay consenso en pronosticar un gradiente norte-sur para Europa, con aumento de escorrentía en el norte y descenso en el sur. En línea con lo anterior, el último estudio de evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en España elaborado por el Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX 2017), por encargo de la Oficina Española de Cambio Climático (OECC), destaca la disparidad de resultados según la proyección climática, pero la mayoría de las hipótesis apuntan a una reducción de recursos hídricos, más notable hacia el sur de España,

hacia finales de siglo y en los supuestos en los que hay más concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

La preocupación social por el cambio climático y las repercusiones negativas que pudiera acarrear motivan la difusión práctica de la información de los estudios de detalle del impacto sobre los recursos hídricos.

El objetivo de este artículo es presentar la aplicación informática CAMREC que permite consultar y analizar los mapas<sup>1</sup> que resumen los resultados del estudio de evaluación antes referido (CEDEX 2017). El estudio supone una actualización que ha consistido básicamente en utilizar unas nuevas proyecciones climáticas, resultado de simular con los nuevos modelos climáticos de circulación general y con los nuevos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero que fueron usados para elaborar el 5º Informe de Evaluación del IPCC (IPCC 2013).

Otro objetivo de la aplicación es que pueda ser utilizada fácilmente por cualquier tipo de interesado sin precisarse requerimientos económicos. Por este motivo, la aplicación

\* Autor de contacto: [luis.m.barranco@cedex.es](mailto:luis.m.barranco@cedex.es)

<sup>1</sup> Doctor en Ciencias Geológicas. Centro de Estudios Hidrográficos (CEH), del CEDEX.

<sup>2</sup> Licenciada en Ciencias Geológicas. Centro de Estudios Hidrográficos (CEH), del CEDEX.

<sup>3</sup> Ingeniero de Telecomunicaciones. Centro de Estudios Hidrográficos (CEH), del CEDEX.

<sup>4</sup> Ingeniero Técnico Agrícola. ServiGIS S.L.

<sup>1</sup> Los vocablos "mapa" y "capa" se usan de manera indistinta, si bien una capa es un conjunto homogéneo de entidades geográficas, mientras que un mapa es la combinación de una o varias capas.

se ha desarrollado en el entorno del sistema de información geográfica (SIG) QGIS (versión 2.18) al ser éste un SIG tipo ráster, acorde con los mapas GRASS, y ser gratuito y de libre difusión (QGIS Development Team 2018).

Los objetivos concretos de CAMREC son los siguientes:

- Visualizar y consultar los mapas que sintetizan el estudio del impacto de cambio climático en los recursos hídricos.
- Calcular los valores promedios areales de las variables climáticas de los mapas del estudio en cualquier recinto en formato vectorial de tipo polígonos que se especifique.
- Calcular el cambio anual estimado en una variable hidroclimática expresado en porcentaje entre los períodos de impacto futuros y el período de control.

El ámbito geográfico de la aplicación CAMREC es el conjunto del territorio de España, si bien se ha dividido en dos sub-ámbitos: el entorno peninsular español y Canarias.

CAMREC consiste en un complemento (o plugin) programado en python para QGIS y en un conjunto de mapas ráster y vectoriales sobre los que opera el plugin.

La aplicación CAMREC se puede descargar e instalar siguiendo las instrucciones que figuran en el documento que figura en la siguiente dirección web del CEDEX:

[http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/95BED6DD-FFE9-4019-9BFE-521EC4F1B62E/148184/Anexo5CAMREC\\_Manual.pdf](http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/95BED6DD-FFE9-4019-9BFE-521EC4F1B62E/148184/Anexo5CAMREC_Manual.pdf)

También existe la posibilidad de descargarse CAMREC de la página web AdapteCCA:

<http://www.adaptecca.es/cambio-climatico-y-recursos-hidricos-en-espana-aplicacion-camrec>

## 2. PROYECCIONES CLIMÁTICAS

Un escenario climático se obtiene simulando el clima global con un modelo de circulación general, o modelo climático global, (MCG). Este tipo de modelos requiere una gran potencia de cálculo y está disponible sólo en unos pocos centros meteorológicos mundiales. La simulación suele cubrir un periodo pasado reciente y un periodo futuro al cual se le ha dado una hipótesis determinada de escenario de emisiones de gases de efecto invernadero. Los resultados de esa simulación se suelen regionalizar para estudios de detalle en regiones concretas del globo terrestre, obteniéndose así los denominados escenarios climáticos regionalizados o proyecciones climáticas. Según se utilice una u otra proyección climática se obtendrán resultados diferentes, de modo que la información referente a los impactos del cambio climático está fuertemente condicionada por los proyecciones climáticas que se consideren.

El estudio del que parte CAMREC (CEDEX 2017) utilizó 12 escenarios climáticos regionalizados para España por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET 2016) (tabla 1). La selección de esos 12 escenarios climáticos, o proyecciones, se realizó según los criterios consensuados con AEMET y la OECC, intentando recoger el margen de variación del conjunto de proyecciones para el conjunto de España, habida cuenta de las incertidumbres inherentes al clima futuro.

**Tabla 1.** Proyecciones climáticas utilizadas

Sigla	Sigla	Escenario RCP	MCG
FA	F4A	4.5	CNRM-CM5 (Francia)
	F8A	8.5	
MA	M4A	4.5	MPI.ESM.MR (Alemania)
	M8A	8.5	
NA	N4A	4.5	inmcm4 (Rusia)
	N8A	8.5	
QA	Q4A	4.5	bcc-csm1-1 (China)
	Q8A	8.5	
RA	R4A	4.5	MIROC.ESM (Japón)
	R8A	8.5	
UA	U4A	4.5	MRI.CGCM3 (Japón)
	U8A	8.5	

Estas proyecciones son fruto de simular el clima:

- con 6 modelos de circulación general: bcc-csm1-1 (Centro Climático de Pekín, China), CNRM-CM5 (Centro Nacional de Investigaciones Meteorológicas de Meteo France, Francia), inmcm4 (Instituto de Matemáticas Numéricas de Moscú, Rusia), MIROC.ESM (Universidad de Tokio, Japón), MPI.ESM.MR (Instituto Max Planck de Meteorología de Hamburgo, Alemania) y MRI.CGCM3 (Instituto de Investigación Meteorológica de Japón);
- forzados con 2 escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero: RCP 4.5 y RCP 8.5, que se refieren a que el forzamiento radiativo máximo que se alcanzaría en el siglo XXI se ha estimado en 4.5 W/m<sup>2</sup> y 8.5 W/m<sup>2</sup> respectivamente. El escenario de emisiones RCP 8.5 es el más negativo ya que supone más concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera para el siglo XXI y, por tanto, supondría un mayor impacto del cambio climático. El escenario de emisiones RCP 4.5 es más moderado; y
- regionalizados por AEMET según un método de análogos. Este método consiste en trasladar los valores alcanzados en situaciones análogas registradas históricamente a los valores locales.

Las proyecciones climáticas simulan el clima en un periodo pasado denominado periodo de control (1961-2000) y un periodo de impacto que abarca hasta finales del siglo XXI (2006-2100).

Cada proyección climática ha sido la fuente que ha alimentado el modelo hidrológico de SIMPA (Sistema Integrado para la Modelización Precipitación Aportación), desarrollado en el CEDEX en el entorno GRASS (GRASS Development Team 2018). Como consecuencia, se han obtenido 12 juegos de mapas de 12 variables hidroclimáticas para el territorio de España.

Como resultado del estudio se han generado unos 300.000 mapas en formato digital tipo ráster (matricial) con resolución mínima de celdas cuadradas de 1 km. Habida cuenta de las dificultades prácticas en la gestión de tal volumen de información y de que la mayoría de ellos se puede considerar información de trabajo, la aplicación CAMREC contiene una selección de aquellos mapas con información relevante.

La mayoría de estos mapas son mensuales ya que la simulación con SIMPA es de paso mensual. Además, hay mapas anuales y mapas promediados mensuales, estacionales y anuales en el periodo de control y en 3 periodos de impacto de 30 años del siglo XXI: 2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología seguida para la realización de CAMREC se muestra en la figura 1.

El primer paso ha sido la selección y extracción de los mapas ráster que resumen el estudio del CEDEX (2017). De los 300.000 mapas generados en el estudio se seleccionaron 3.276 mapas para la aplicación.

El segundo paso ha consistido en separar la información de Canarias del resto de España, para agilizar la gestión de los mapas, obteniéndose 3.276 mapas para Canarias y otros 3.276 mapas para el resto, el entorno peninsular español. En consecuencia, CAMREC contiene un total de 6.552 mapas ráster. Son mapas agregados de las principales variables hidrológicas.

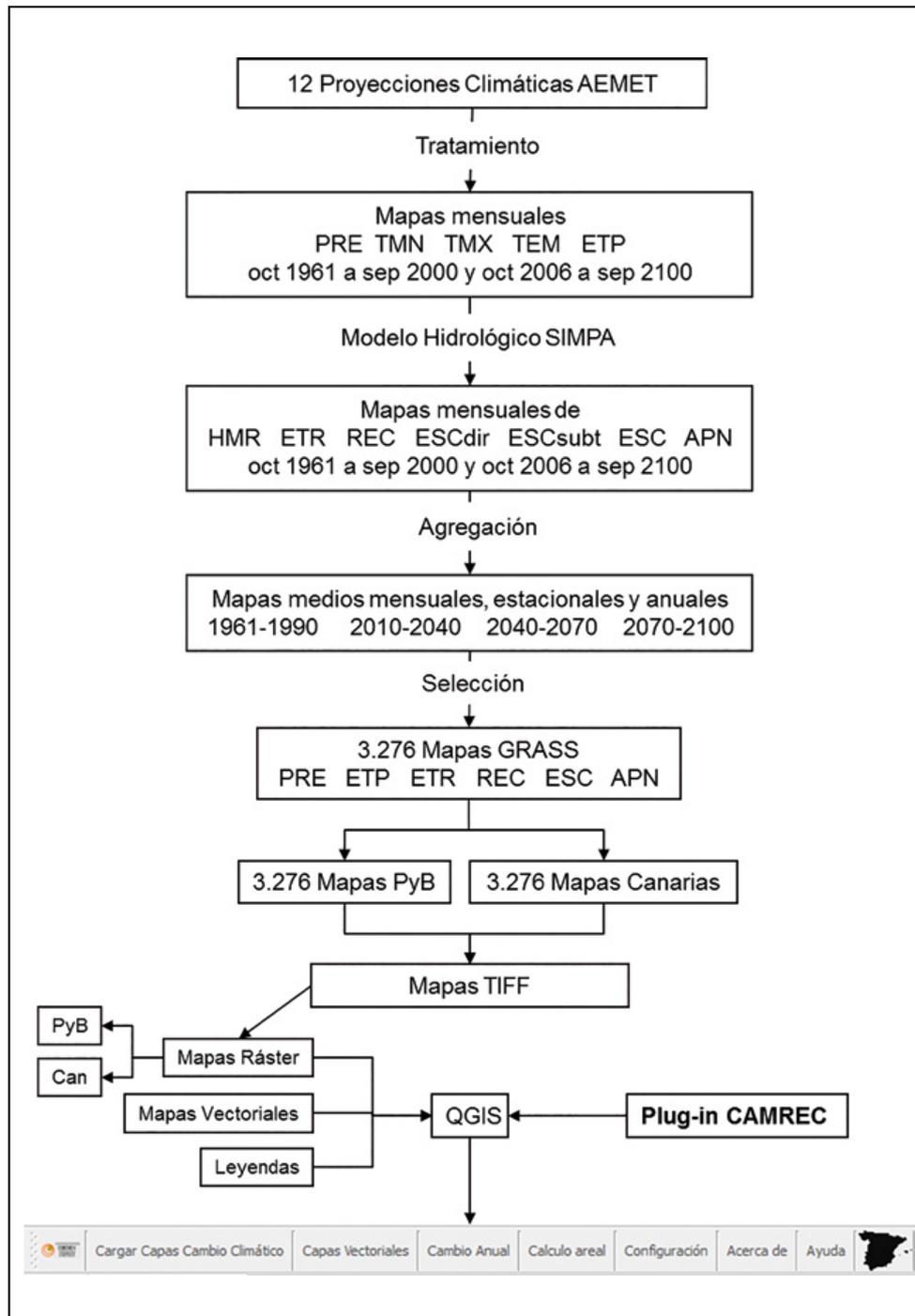


Figura 1. Metodología para la elaboración de CAMREC.

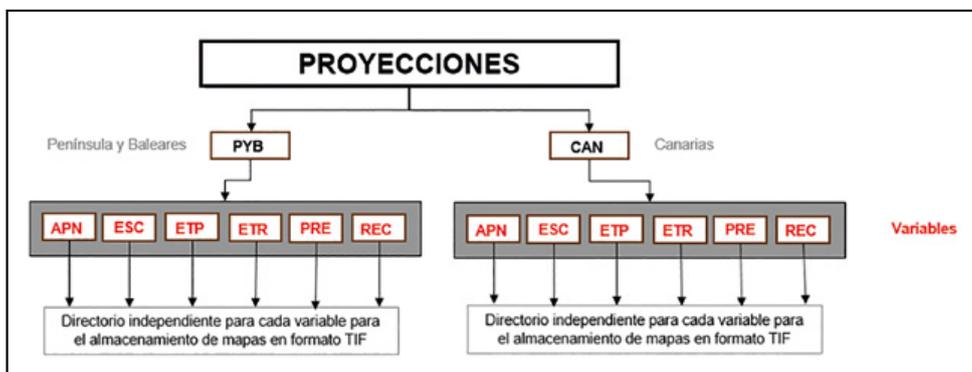


Figura 2. Estructura de almacenamiento de los mapas ráster.

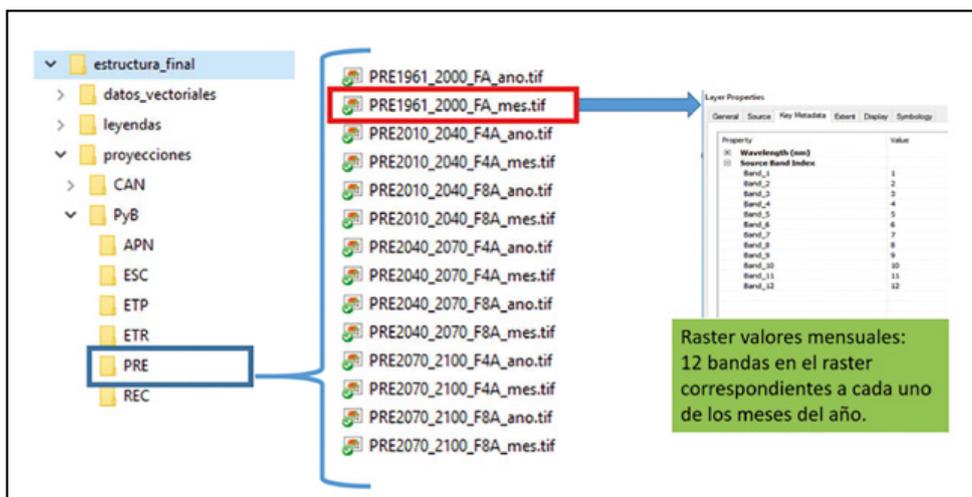


Figura 3. Estructura y formato de los mapas ráster.

Los mapas muestran valores estimados de 6 variables: precipitación (PRE), evapotranspiración potencial (ETP), evapotranspiración real (ETR), recarga acuíferos (REC), escorrentía total (ESC) y aportación hídrica (APN). La resolución espacial de los mapas es de 1000 x 1000 m para todas las variables excepto para la APN que de 500 x 500 m.

Los mapas muestran valores estimados según las 12 diferentes proyecciones climáticas antes referidas.

Los mapas muestran valores estimados promediados anual o mensualmente para 4 periodos de estudio: el periodo de control (1961-2000) y 3 periodos de impacto de 30 años (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100). Los periodos temporales en CAMREC corresponden a años hidrológicos y se indican con el primer y último año natural, por lo que 2040-2070 abarcaría desde octubre de 2040 hasta septiembre de 2070 (lo que equivale a la notación tradicional 2040/41-2069/2070).

De ese modo, cada uno de los mapas de CAMREC es la combinación de 2 ámbitos (Canarias y el resto de España), 6 variables, 12 proyecciones climáticas, 4 periodos de estudio y 13 referencias temporales (1 año y 12 meses). Hay que tener en cuenta que los 2 escenarios RCP afectan sólo a los periodos de impacto futuros y no al periodo de control.

Los valores de los mapas están expresados en mm (mm/mes o mm/año según la referencia temporal), excepto los de la variable APN que están expresados en hm<sup>3</sup> (hm<sup>3</sup>/mes o hm<sup>3</sup>/año según la referencia temporal).

Con relación a los ríos en frontera, la APN a los ríos se ha calculado simulando en el área vertiente situada también en territorio portugués o francés.

Seguidamente, se han establecido y homogeneizado los sistemas de referencia cartográficos. El sistema de referencia para el entorno peninsular español es el ETRS 1989, proyección UTM Huso 30 y el sistema de referencia para Canarias es el WGS84, proyección UTM Huso 28 (compatible con REGCAN95).

Después, se ha elaborado un diseño de estructura y codificación para el almacenamiento de la información de los mapas según variables. Se han generado dos estructuras similares para almacenar la información, dividiéndola en dos subcarpetas, una para el entorno peninsular español (PyB, haciendo mención a que cubre básicamente la España peninsular y Baleares) y otra para Canarias (Can) (figura 2).

Debajo de cada uno de estos directorios, se ha generado una carpeta para cada variable hidroclimática, donde se almacenan todas las capas ráster correspondientes a los promedios mensuales, los mapas anuales de todos los periodos y los escenarios de emisiones

La codificación de los mapas se ha llevado a cabo según la variable, el periodo, la proyección climática (modelo climático-escenario de emisiones-regionalización) y año o mes. Así por ejemplo, el mapa *ESC2040\_2070\_M8A\_Febrero* correspondería a la escorrentía media para el mes de febrero del periodo 2040-2070 según la proyección climática M8A (modelo climático MPI.ESM.MR, escenario RCP 8.5 y regionalización para España según Análogos). Hay que tener en cuenta que los mapas del periodo de control (1961-2000) no tienen asociado un escenario de emisiones RCP futuro, por lo que los mapas son del tipo *ESC1961\_2000\_MA\_Febrero*.

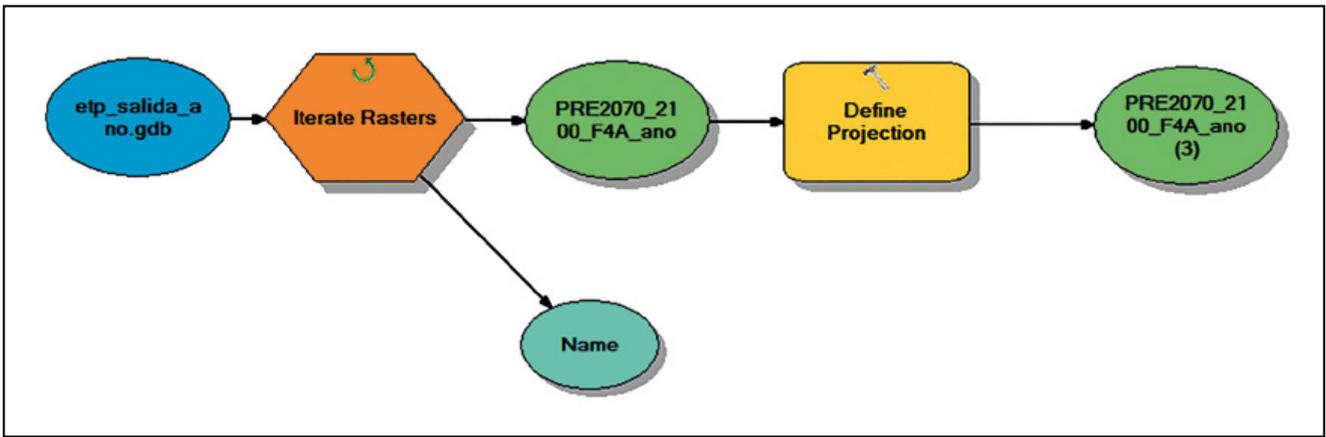


Figura 4. Programa para asignar la proyección a los mapas.

Posteriormente, se han transformado los mapas ráster iniciales de formato GRASS a formato TIF con objeto de reducir el tamaño inicial de los mapas originales, para que puedan ser leídos por la mayoría de los SIG y a fin de agilizar la gestión de esos mapas en formato ráster. De hecho, el formato TIF tiene la capacidad de almacenar varias bandas en un mismo fichero, cualidad que ha permitido almacenar varios mapas ráster en un solo fichero con la consiguiente reducción de tamaño y número de ficheros. Así, se han utilizado las bandas que da un TIF para poder almacenar los ráster correspondientes a todos los meses de un año para una misma variable-escenario-modelo en un solo fichero. Esta técnica se ha llevado a cabo con programación python que ha permitido reducir un 90% el tamaño original de los ficheros y una reducción significativa del número de ficheros a tratar (figura 3).

Además, se han almacenado los mapas en filegeodatabases de ESRI para su tratamiento y visualización con otros SIG.

Se ha generado un programa (modelbuilder) que itera por todos los mapas ráster de un directorio y les asigna su proyección correspondiente (figura 4).

Asimismo, se han incorporado una serie de capas vectoriales básicas o necesarias para la visualización y la realización de cálculos y se han diseñado las correspondientes leyendas de estilos para las variables hidroclimáticas que serán utilizadas para la representación de los mapas.

Posteriormente, se ha desarrollado un plugin sobre QGIS para facilitar al usuario la visualización y consulta de mapas de cambio climático en función de la variable, periodo, proyección y mes o año, para calcular el cambio anual en porcentaje de una variable entre un periodo futuro y el periodo de control y para realizar cálculos areales entre capas vectoriales de tipo poligonal y una capa ráster para obtener la media.

#### 4. DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN Y RESULTADOS

Antes de empezar a usar CAMREC, es necesario dar la información necesaria para que la aplicación pueda localizar los mapas con sus leyendas asociadas. Para ello, se ha diseñado el menú *Configuración* en el que se deberán de indicar los siguientes aspectos:

- Directorio donde se han descargado los datos para que la aplicación funcione correctamente.
- Ámbito de aplicación (Península y Baleares o Canarias). En función del ámbito, aparecerá un mapa a la derecha de la barra del menú (figura 5).
- Directorio de salida para los cálculos de la aplicación.

Desde el botón *Cargar Capas Cambio Climático* se activa el menú diseñado para agregar una o más capas ráster simultáneamente (figura 6). Hay que seleccionar al menos un periodo, una variable, un sólo mes o la media anual y al menos un modelo. Sólo habrá que seleccionar un escenario de emisiones en el caso de que se seleccione un periodo futuro.

Las capas muestran valores expresados en mm (mm/mes o mm/año según la referencia temporal), excepto los mapas de la variable APN que están expresados en hm<sup>3</sup> (hm<sup>3</sup>/mes o hm<sup>3</sup>/año según la referencia temporal).

Es muy importante recordar que esos valores absolutos han heredado el sesgo de las proyecciones climáticas de partida.

Cada mapa muestra la estimación (según una de las 12 proyecciones) de los valores anuales, o en cada uno de los 12 meses, de una variable promediados en uno de los 4 periodos de estudio. Así, los valores en el periodo de control son valores simulados a partir de valores climáticos

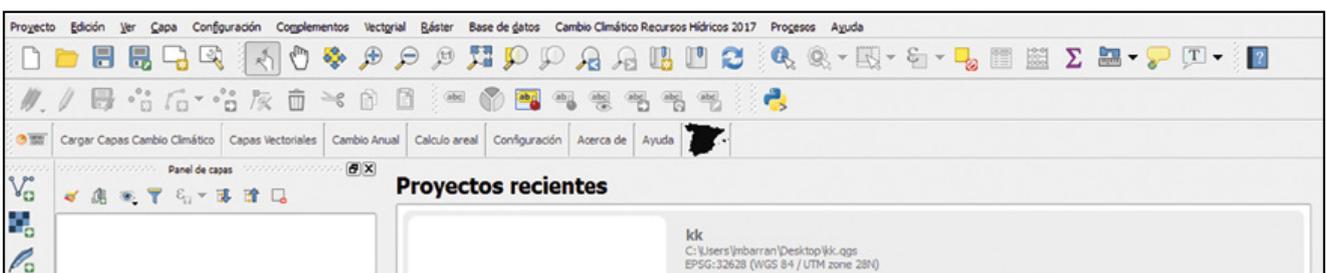


Figura 5. Menú CAMREC configurado para trabajar con mapas en el entorno peninsular español.

proyectados y no son valores observados. Es por ello, que los valores en el periodo de control son diferentes según los modelos climáticos. De hecho, hay notables diferencias entre los valores observados y los proyectados durante el periodo de control. Este sesgo de los valores de las proyecciones climáticas es una importante fuente de incertidumbre, por lo que **los valores absolutos de los mapas incluidos en la aplicación tienen que tomarse con la debida precaución**. El valor de más importancia es el impacto expresado como un cambio porcentual que se obtiene por comparación entre los valores absolutos futuros respecto a los del periodo de control, ya que de ese modo se contrarrestan los sesgos de ambos mapas.

Desde el menú *Capas Vectoriales* se pueden añadir una serie de capas predefinidas para la aplicación: límites administrativos (España, comunidades autónomas, provincias), hidrológicas (demarcaciones hidrográficas, ríos y estaciones de aforo) y localización de las estaciones meteorológicas donde se han estimado los valores climáticos de las proyecciones.

Se ha diseñado el menú *Cálculo Areal* para facilitar al usuario la obtención del valor medio de cualquier capa ráster que exista dentro de la vista activa de QGIS en cada uno de los recintos de una capa de polígonos (figura 7).

Se ha desarrollado el menú *Cambio Anual* con el objetivo de facilitar que el usuario obtenga los porcentajes de cambio anual de una variable entre un periodo de impacto futuro y el periodo de control. Para ello es necesario especificar un escenario de emisiones, una variable, un periodo futuro de impacto, un modelo y si se agrupan o no los resultados.

Este tipo de mapas de cambio porcentual son los de mayor aplicación, ya que el sesgo de los valores absolutos de los dos mapas que se comparan tiende a neutralizarse por lo que dichos mapas de cambio porcentual representan adecuadamente el impacto del cambio climático en las diferentes variables de recursos hídricos, según cada una de las proyecciones climáticas.

La aplicación permite obtener mapas ráster con porcentajes de cambio anual en cada una de las celdas de 1 km de lado (opción *Sin agrupar*). En el caso de la APN se obtienen los cambios en las celdas de 500 m de lado, tal como se observa en el mapa de la figura 8. A partir de estos mapas se puede obtener información de utilidad, como que el impacto que tendría el cambio climático según la proyección M8A en las aportaciones del río Ebro en el embalse de Mequinenza supondría un descenso de un 10% de media para el periodo 2010-2040 respecto a la media del periodo 1961-2000.

Además, se pueden calcular los cambios promediados en diferentes unidades territoriales. Para ello, la aplicación incluye mapas vectoriales del entorno peninsular, demarcaciones hidrográficas, comunidades autónomas, y provincias. También permite al usuario que pueda determinar las unidades territoriales donde quiere calcular el cambio anual. Así, en la figura 9 se muestra el cambio anual en cada sub-cuenca hidrográfica, cuya capa vectorial ha sido introducida en QGIS. Para obtener el cambio anual agrupado, se calculan las medias de los valores absolutos de los mapas ráster del periodo de impacto futuro y del periodo de control en cada polígono de la capa vectorial y luego se calcula el cambio de las medias de ambos periodos.

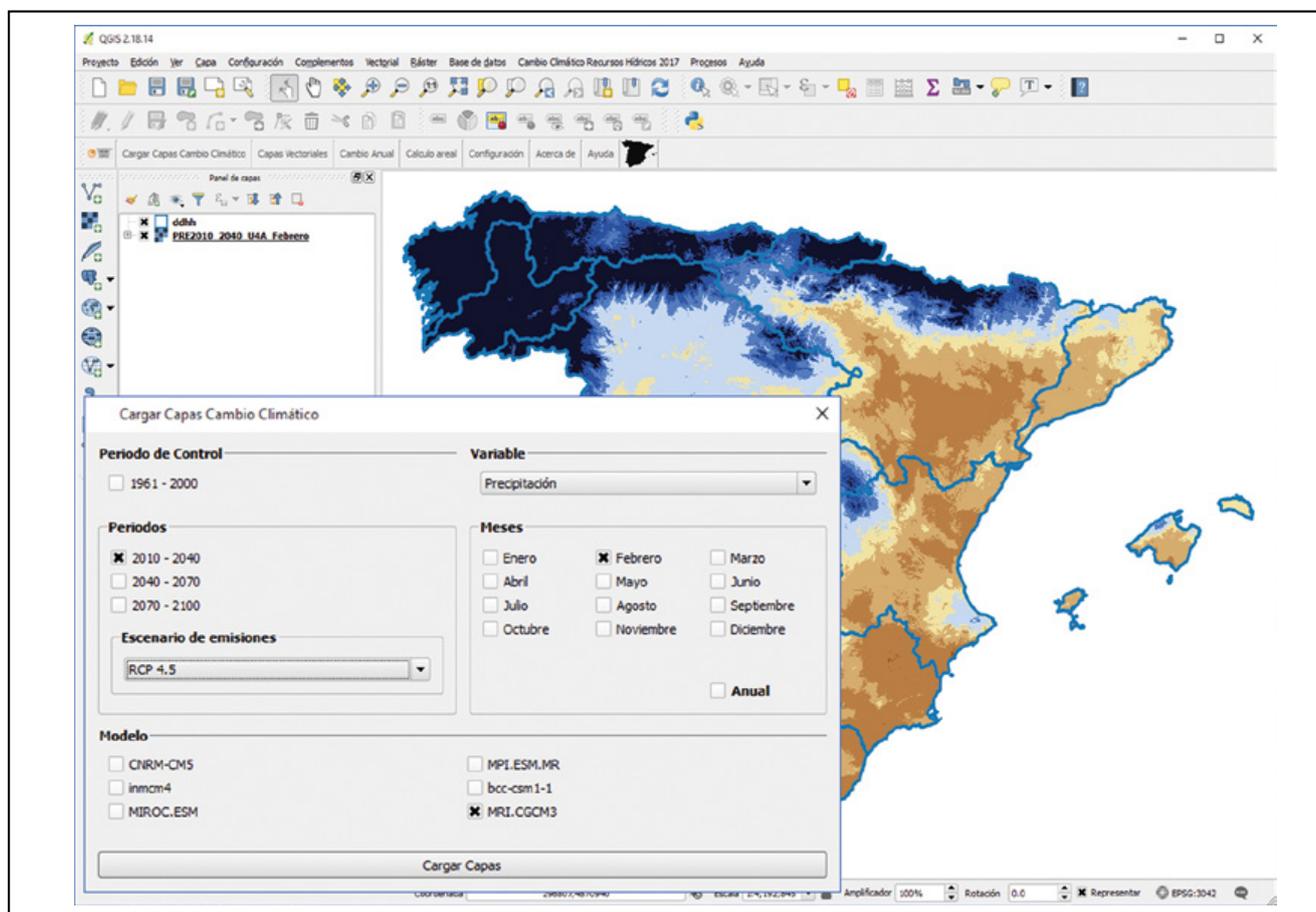


Figura 6. Pantalla para cargar las capas ráster de cambio climático y mapa con la PRE de febrero en 2010-2040 (según la proyección U4A).

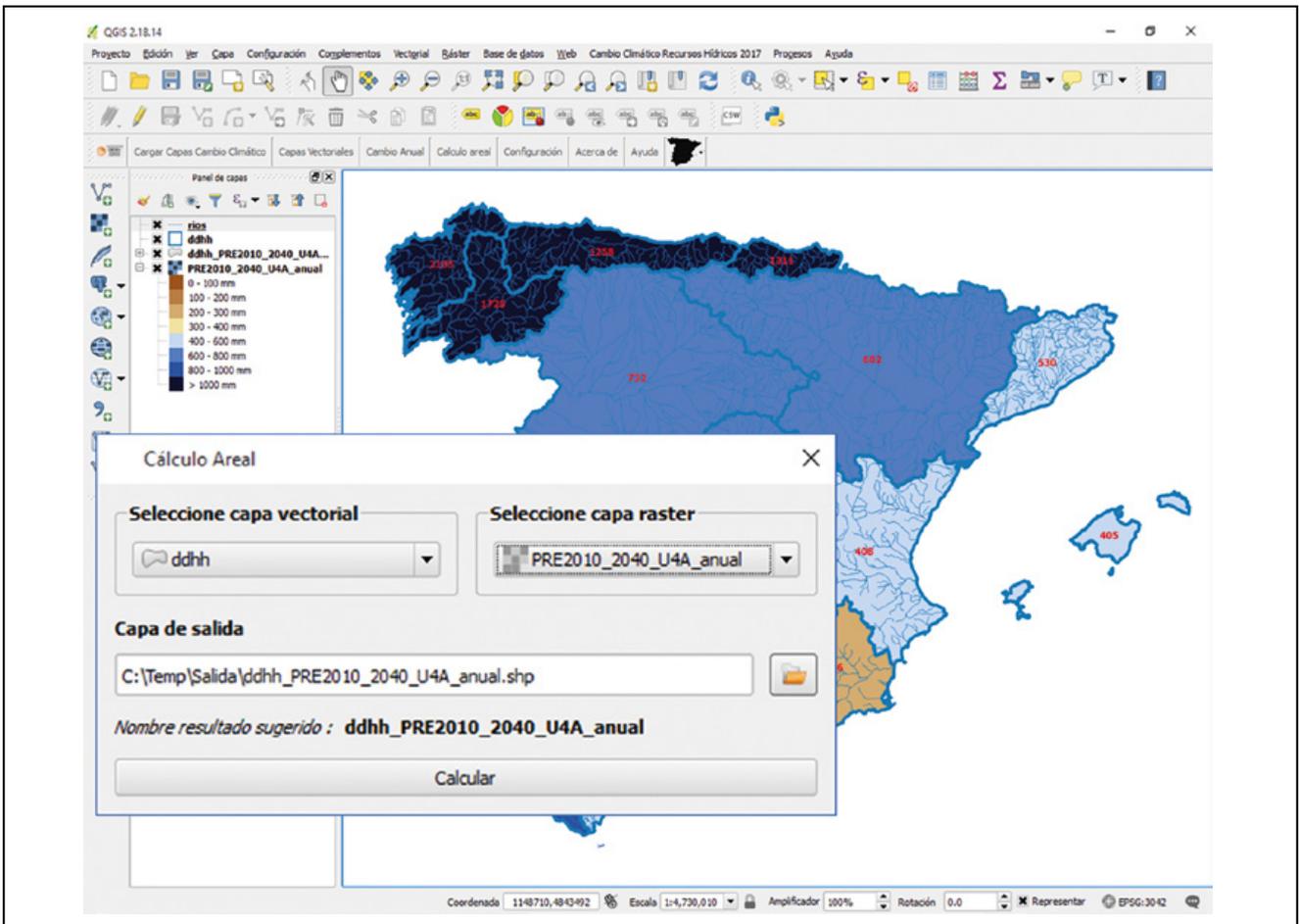


Figura 7. Pantalla para el cálculo areal y mapa de PRE anual en 2010-2040 promediada en DDHH (según la proyección U4A).

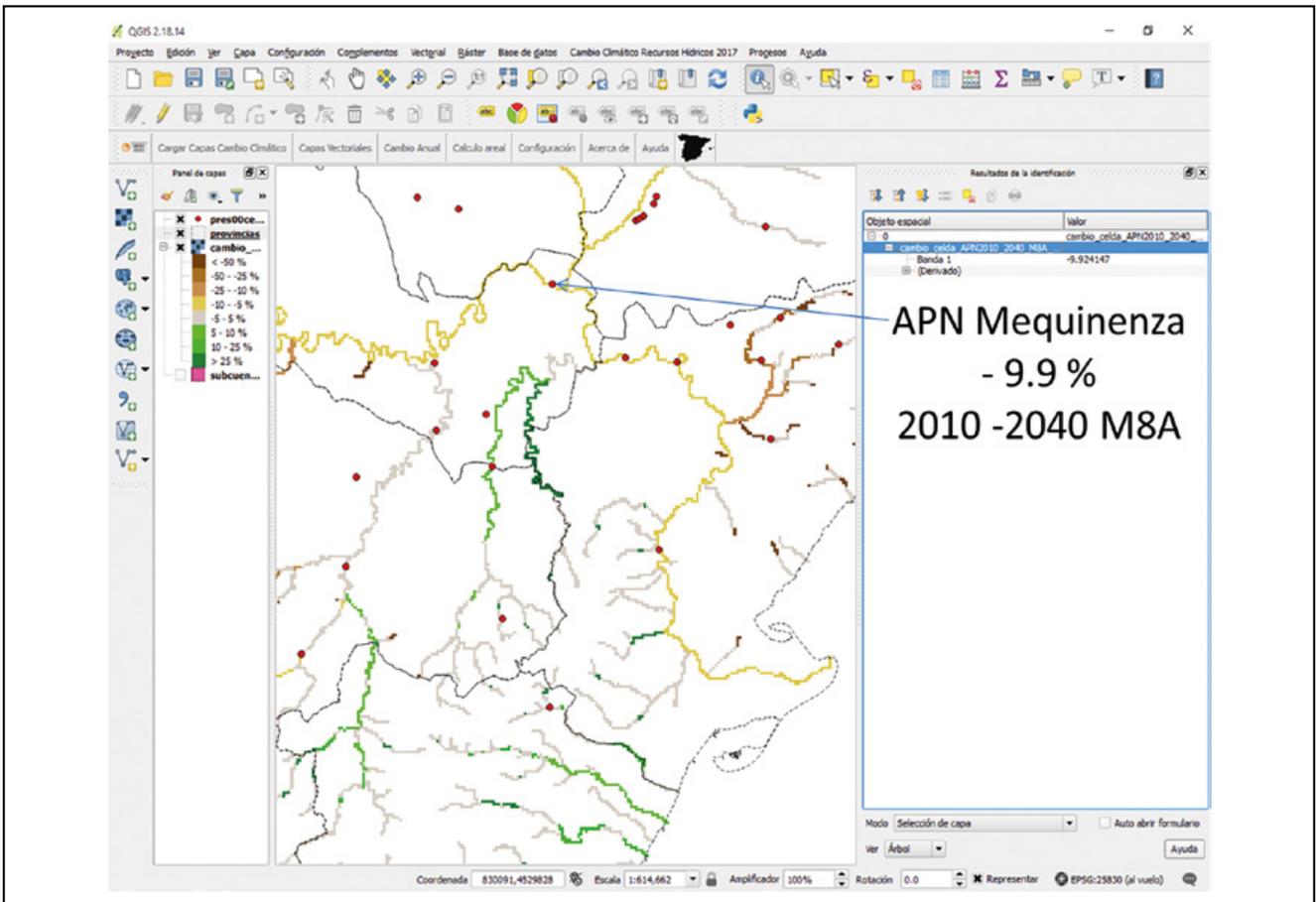


Figura 8. Cambio anual en la APN media en 2010-2040 en cada punto de los ríos (según la proyección M8A).

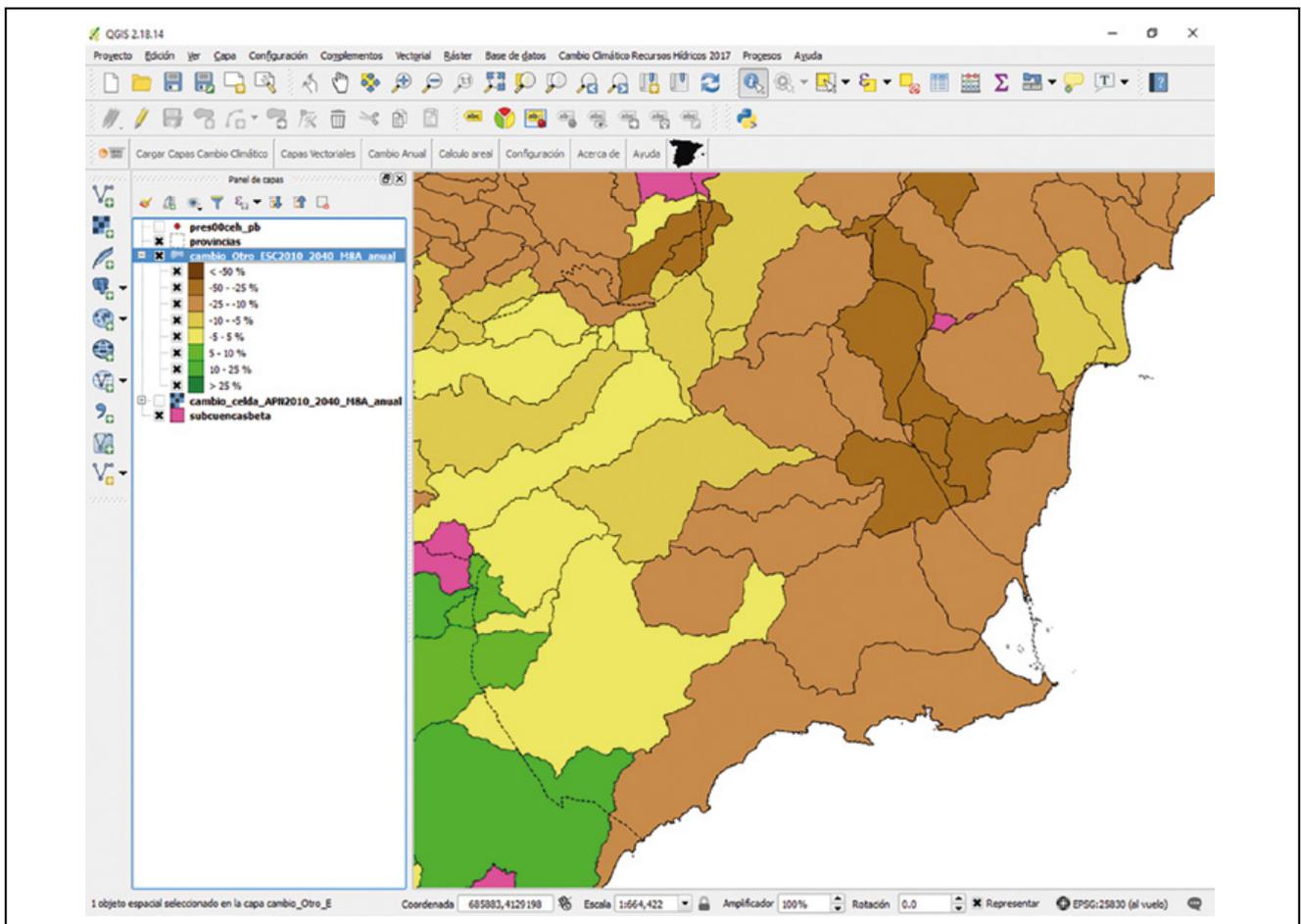


Figura 9. Cambio anual en la ESC media en cada sub-cuenca hidrográfica en 2010-2040 (según la proyección M8A).

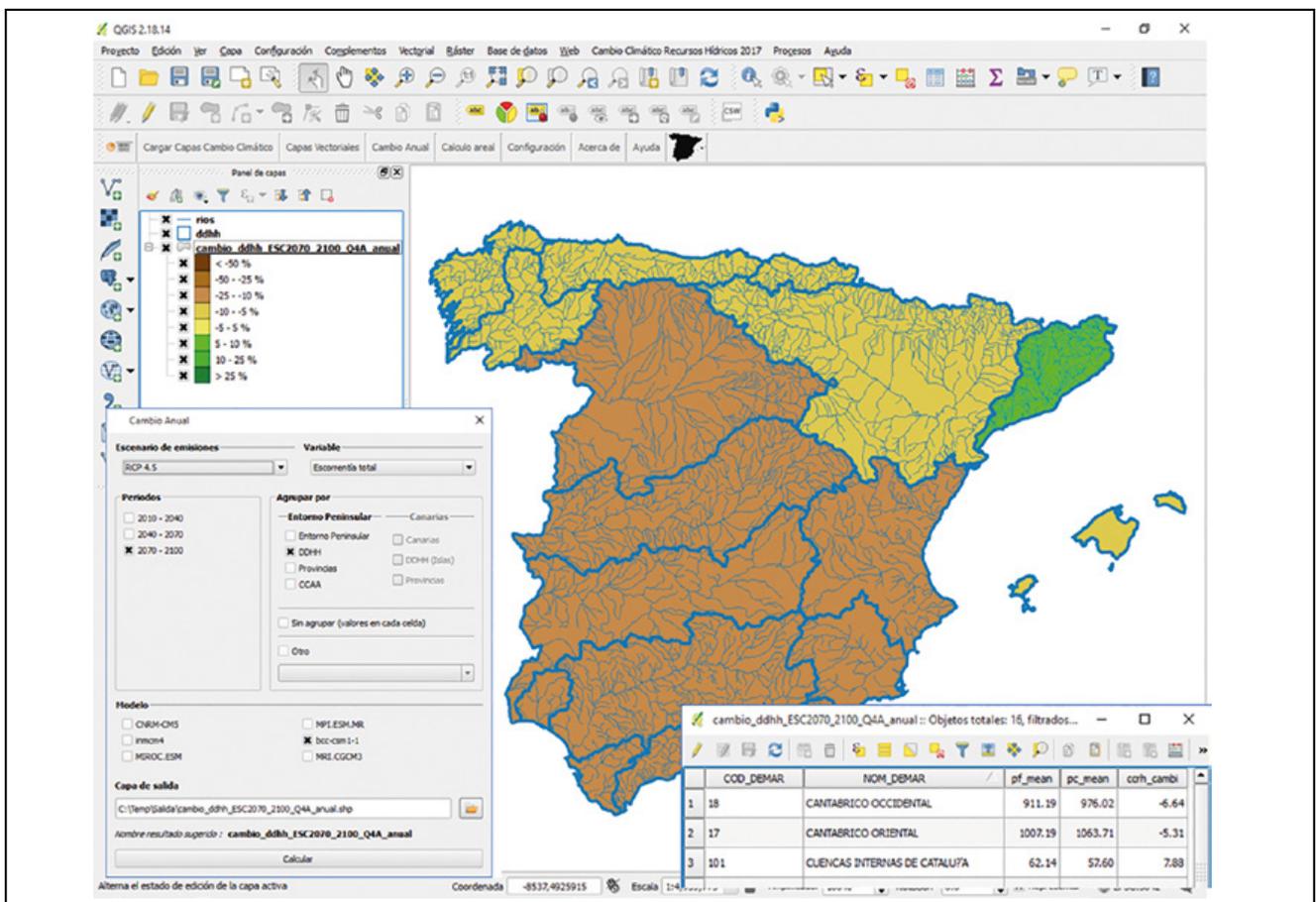


Figura 10. Cambio anual en la ESC media en cada Demarcación Hidrográfica en 2070-2100 (según la proyección Q4A).

El resultado será una capa vectorial. La aplicación le asignará automáticamente el nombre que estará compuesto por la palabra *cambio*, el nombre de la capa vectorial y el nombre de la capa ráster. El cambio anual se almacenará sobre el campo *cch\_cambi* de la tabla de atributos de dicha capa. Los campos *pc\_mean* y *pf\_mean* contienen los valores absolutos anuales en el periodo de control y en el periodo de impacto futuro elegido, a partir de los cuales se calcula el cambio anual (figura 10).

Si se selecciona la variable APN, la aplicación solo permitirá realizar la operación a nivel de celda (*Sin agrupar*).

Es muy importante tener en cuenta una serie de cuestiones para interpretar correctamente los resultados que se puedan obtener del uso de CAMREC y poderlos aplicar de manera adecuada.

Como se ha dicho anteriormente, los mapas que se incluyen en CAMREC dan valores absolutos mensuales o anuales en mm o hm<sup>3</sup> que están sesgados ya que los modelos climáticos de partida no reproducen fielmente la precipitación observada en el periodo de control. Este hecho es un síntoma de la incertidumbre de este tipo de estudios de cambio climático y su tratamiento del sesgo es objeto de debate (CEDEX 2017). El sesgo explica por ejemplo que la precipitación estimada por un modelo en el periodo de control difiera de la precipitación simulada por otro modelo y que difiera a su vez de la observada en dicho periodo. Por lo tanto, los valores absolutos de los mapas incluidos en la aplicación tienen que tomarse con la debida precaución. El interés radica en los mapas de impacto, obtenidos como comparación entre los valores medios de una variable en un periodo futuro respecto a los del periodo de control.

El impacto se expresa pues como cambios porcentuales y éstos son muy sensibles a los bajos valores, de manera que en aquellas zonas donde por ejemplo la escorrentía es muy baja en el periodo de control (casi cero), pequeñas variaciones en valores absolutos pueden ocasionar grandes variaciones porcentuales en ambos sentidos. Así pues, es normal encontrar bruscas variaciones espaciales del valor de impacto en zonas con bajos recursos hídricos. Es por ello, que los mapas de impacto tienen más representatividad cuanto mayor es el ámbito de agregación de la información. Por lo tanto, se aconseja no elegir ámbitos pequeños pues son más susceptibles de dar valores de impacto anómalos, especialmente si son ámbitos con bajos recursos hídricos en los que puede haber grandes cambios porcentuales.

Hay 12 distintos impactos del cambio climático sobre las variables hidroclimáticas. Esas 12 diferentes posibilidades futuras son fruto de las incertidumbres inherentes a la simulación climática y a la evolución de la concentración de gases de efecto invernadero. Adoptar una u otra proyección puede llevar a resultados muy diferentes. En el ámbito de la planificación hidrológica se han venido adoptando porcentajes de cambio promediados entre las 6 proyecciones del mismo escenario de emisiones y agrupados en el ámbito de cada Demarcación Hidrográfica, tal como se indica en la Instrucción de Planificación Hidrológica (MARM 2008). No obstante, la adopción de una u otra hipótesis debería adecuarse a los objetivos que se persigan cuando se esté utilizando CAMREC.

Los valores de cambio calculados en la aplicación CAMREC pueden diferir ligeramente de los mostrados en el informe del estudio “Evaluación del impacto del cambio

climático en los recursos hídricos y sequías en España” del cual proceden los mapas base, debido a diferencias en los algoritmos de cálculo areal y de representación de las capas vectoriales entre GRASS y QGIS.

## 5. CONCLUSIONES

Se ha elaborado una aplicación informática, CAMREC, que permite al usuario disponer de mapas digitales con los valores simulados de variables hidroclimáticas según 12 diferentes proyecciones climáticas para el siglo XXI. Además, la aplicación facilita al usuario que pueda obtener información del impacto hidrológico del cambio climático en aquellas zonas que le sean de interés. El impacto se expresa como porcentajes de cambio en variables hidroclimáticas en periodos futuros de 30 años.

La aplicación permite obtener mapas con porcentajes de cambio anual agrupados por diferentes ámbitos territoriales (demarcaciones hidrográficas, provincias, etc.). También permite al usuario que pueda determinar los ámbitos territoriales. Se aconseja no elegir ámbitos pequeños pues son más susceptibles de dar valores de impacto anómalos, especialmente si son ámbitos con bajos recursos hídricos.

Hay que tener en cuenta que las diferencias entre las proyecciones climáticas son una medida de la incertidumbre de los resultados, por lo que conviene tenerlas todas en consideración. Debido a la incertidumbre inherente a los estudios de impacto del cambio climático, los resultados derivados del uso de CAMREC deben de interpretarse con la debida precaución.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Oficina Española de Cambio Climático el haber impulsado y financiado este trabajo y a la Agencia Estatal de Meteorología su asistencia y el suministro de la información climática de partida.

## 7. DESCARGA DE RESPONSABILIDAD

El CEDEX no se hace responsable del uso que se dé a esta herramienta y no admite responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan de la misma, ni de daños directos o indirectos como consecuencia de la aplicación práctica de dichos resultados.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

AEMET (2016). *Proyecciones climáticas para el siglo XXI*. <http://escenarios.aemet.es/>. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (acceso 16-07-2016).

CEDEX (2017). *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España*. Informe Técnico Centro de Estudios Hidrográficos - CEDEX, Tomo único, clave CEDEX 42-415-0-001. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica del Ministerio de Fomento. [http://www.cedex.es/CEDEX/LANG\\_CASTELLANO/ORGANISMO/CENTYLAB/CEH/Documentos\\_Descargas/](http://www.cedex.es/CEDEX/LANG_CASTELLANO/ORGANISMO/CENTYLAB/CEH/Documentos_Descargas/) (acceso 03-04-2018).

GRASS Development Team (2018). Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://grass.osgeo.org> (acceso 31-05-2018).

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F. et al. (eds.)]. New York: Cambridge University Press.

Jiménez Cisneros, B.E., Oki, T., Arnell, N.W., Benito, G., Cogley, J.G., Döll, P., Jiang, T., y Mwakalila, S.S. (2014). Freshwater resources. En: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B. et al. (eds.)]. New York: Cambridge University Press, pp. 229-269.

MARM (2008). ORDEN ARM/2656/2008 del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. BOE, 22 de septiembre de 2008, nº 229: 38472-38582. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

QGIS Development Team (2018). Un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://www.qgis.org/es/site/> (acceso 31-05-2018).