

CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Generación de escenarios de cambio climático para Centroamérica

Guatemala, El Salvador, Nicaragua,
Honduras, Costa Rica, Panamá



Autor Principal: Sara Covalada (Fundación Internacional y para Iberoamérica de Administración y Políticas Públicas)

Otros autores: Ernesto Rodríguez (AEMET); Jorge Tamayo (AEMET); Antonio Serrano (consultor independiente); Petra Ramos (AEMET DT Andalucía); Pilar Amblar (AEMET DT Andalucía); Nieves Garrido (AEMET DT CyL); Jose Ignacio Villarino (AEMET DT CyL); Inmaculada Abia (AEMET DT CyL); A. Hernanz; J. Sanchis; A. Pastor (AEMET OOCC)

1. RESUMEN

El proyecto “Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para Centroamérica”¹ apoyado por el Programa EUROCLIMA+ de la Unión Europea, en concreto por la agencia implementadora Fundación Internacional y para Iberoamérica de Administración y Políticas Públicas (FIIAPP) y coordinado técnicamente por la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET) tiene por objeto que los países de Centroamérica (Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá) cuenten con escenarios climáticos regionalizados específicos para la región centroamericana bajo una metodología común, con base en las indicaciones del último informe del IPCC (AR5), consensuados con los usuarios y con la resolución suficiente para que la información sea útil en la planificación de medidas de adaptación adecuadas para disminuir los impactos económicos, socioculturales y ambientales que ya se empiezan a detectar.

El proyecto se ha estructurado en 3 componentes: la capacitación a un grupo de técnicos procedentes de los servicios meteorológicos de los 6 países sobre las técnicas de regionalización de proyecciones de cambio climático; el involucramiento de los usuarios nacionales de escenarios de cambio climático, a través de talleres para recabar sus insumos y presentar resultados; la generación de los escenarios regionalizados y su integración en un visor amigable que permita la explotación y descarga de datos.

Los resultados del proyecto incluyen la generación de los escenarios utilizando 45 proyecciones regionalizadas y un visor alojado en la Plataforma Centro Clima del Comité Regional de Recursos Hidráulicos del Sistema de Integración Centroamericana (CRRH-SICA).

Este proyecto pionero de cooperación regional, surgió en el marco del trabajo conjunto de las redes de cooperación iberoamericana: Conferencia de Directores de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Iberoamericanos (CIMHET), Conferencia de Directores Iberoamericanos del Agua (CODIA) y Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático (RIOCC), se ha basado en la experiencia española de desarrollo de escenarios regionalizados y del visor de escenarios de la plataforma AdapteCCa, facilitada por la movilización de expertos públicos (AEMET y Organización Meteorológica Mundial) a los servicios meteorológicos centroamericanos.

2. INTRODUCCIÓN GENERAL Y OBJETIVOS

A iniciativa del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), se creó en 1988 el IPCC con el objetivo de proporcionar una visión científica del conocimiento existente sobre el cambio climático y sus

¹ Video resumen del proyecto: <https://youtu.be/A9BoI6QI0P4>

principales impactos medioambientales y socio-económicos. La misión principal de este grupo es recopilar y evaluar toda la bibliografía científica, técnica y socio-económica reciente relativa al cambio climático que se produce a nivel mundial y elaborar, entre otros documentos, informes de evaluación que tienen un gran impacto en la sociedad a nivel mundial. Desde su creación, el IPCC ha redactado cinco informes de evaluación con una frecuencia aproximada de cuatro a seis años. Actualmente, el IPCC está inmerso en el ciclo de evaluación del sexto informe (AR6, de sus siglas en inglés). El informe de síntesis, que será el último de los productos del AR6, se encontrará disponible en 2022.

Como consecuencia de la generación de esos informes, en 1992, la Cumbre de la Tierra dio lugar al nacimiento de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, o UNFCCC de sus siglas en inglés), como primer paso para afrontar el cambio climático. Un total de 197 países ratificaron la Convención, convirtiéndose en Partes de la misma. El objetivo final de la Convención es prevenir una interferencia humana “peligrosa” en el sistema climático. En 1995 los países iniciaron las negociaciones para fortalecer la respuesta mundial al cambio climático y, dos años después, adoptaron el Protocolo de Kioto. Este acuerdo obligaba jurídicamente a los países desarrollados que son Parte a cumplir unas metas de reducción de las emisiones. El primer periodo de compromiso del Protocolo comenzó en 2008 y finalizó en 2012. El segundo periodo de compromiso empezó el 1 de enero de 2013 y terminará a finales de 2020. En la actualidad hay 197 Partes en la Convención y 192 en el Protocolo de Kioto.

Durante las siguientes cumbres del clima que se celebran cada año, se ha buscado cerrar un acuerdo mejorado que no estableciera diferencias entre países a la hora de la mitigación. No se logró cerrar este acuerdo hasta la conferencia del clima celebrada en París en diciembre de 2015. El llamado Acuerdo de París fue adoptado durante la 21ª Sesión de la Conferencia de las Partes (COP21) de la CMNUCC. Este acuerdo, adoptado por 186 Partes, entró en vigor en noviembre de 2016 y dos años después ya había sido ratificado por 184 Partes, entrando plenamente en vigor en 2020. En él, se definió el marco general de actuación y durante las cumbres siguientes se ha ido desarrollando el reglamento de aplicación. Con el Acuerdo de París se reconoce la importancia de trabajar de una manera concertada y bajo una misma gobernanza, con el objetivo de mantener el incremento de la temperatura media global por debajo de los 2°C respecto a los niveles preindustriales e, incluso si es posible, por debajo de 1,5°C. Desde el punto de vista de la ciencia expresada a través de los informes del IPCC, este es el riesgo climático que la comunidad internacional puede aceptar.

La consecución del objetivo de adaptación que aparece recogido en el artículo 7 del Acuerdo de París fomenta el desarrollo de los Planes Nacionales de Adaptación al Cambio Climático y, en consecuencia, la importancia de disponer a nivel nacional de escenarios climáticos o proyecciones regionalizadas. Asimismo, cada Parte deberá presentar y actualizar periódicamente una comunicación sobre adaptación, que podrá incluir sus planes y medidas, sin que ello suponga una carga adicional para las Partes que son países en desarrollo. También, se reconoce la importancia de la cooperación internacional y de que se tomen en

consideración las necesidades de las Partes que son países en desarrollo, en especial, aquellos que son particularmente vulnerables a los efectos adversos del cambio climático.

La necesidad de adaptación a los impactos que produce el cambio climático requiere la evaluación de los mismos en ecosistemas y sectores afectados por las condiciones climáticas. Por lo tanto, es necesario conocer el estado del clima futuro en su misma escala espacial. Los modelos globales del clima proporcionan proyecciones del clima futuro a una resolución espacial (100 o 200 km) que no resulta adecuada para este propósito, por lo que, es necesario aumentarla mediante técnicas denominadas de regionalización o de reducción de escala.

Los servicios meteorológicos tienen la responsabilidad, en la mayoría de los países, de preparar escenarios regionalizados de cambio climático que, además de su prescriptiva inclusión en las comunicaciones nacionales sobre el cambio climático para la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, son un requerimiento para los estudios de impacto y la definición de estrategias de adaptación en los diferentes ecosistemas y sectores de actividad sensibles a las condiciones climáticas.

El taller intersectorial organizado en diciembre de 2016 por las tres redes iberoamericanas de meteorología (Conferencia de Directores de Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Iberoamericanos, CIMHET), agua (Conferencia de Directores Iberoamericanos del Agua, CODIA) y cambio climático (Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático, RIOCC) sobre “Prevención y Gestión de Fenómenos Hidrometeorológicos Extremos y Medidas de Adaptación al Cambio Climático” (diciembre 2016) acordó una propuesta de acción enfocada a la generación de escenarios climáticos regionales para América Central y el Caribe a partir de los modelos del AR5. Estos escenarios regionalizados deberían poseer una resolución suficiente para evaluar el impacto en los recursos hídricos y fenómenos hidrometeorológicos extremos, deberían desarrollarse utilizando metodologías comunes para toda la región y deberían ser elaborados por instituciones oficiales. Hasta ese momento, estos países habían utilizado únicamente unos pocos de los modelos globales utilizados en el quinto y último informe de evaluación del IPCC, mientras que sus gobiernos comienzan a solicitarles que generasen escenarios con mayor resolución espacial y utilizando un mayor número de modelos, de escenarios de emisión y de técnicas de regionalización para una mejor exploración de las fuentes de incertidumbre que afectan a las proyecciones regionalizadas.

Por otra parte, desde el 2010, con base en los acuerdos de la V Cumbre de la Unión Europea con América Latina y el Caribe (EU-LAC, de sus siglas en inglés), celebrada en Lima en mayo de 2008, América Latina y Europa han trabajado conjuntamente frente al cambio climático a través del programa EUROCLIMA, que tiene su continuación y ampliación en el programa EUROCLIMA+ (www.euroclimaplus.org) financiado por la Unión Europea. EUROCLIMA+ es un programa regional de cooperación de la Unión Europea que trabaja sobre la sostenibilidad ambiental y las medidas de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático en 18 países de América Latina. EUROCLIMA+ apoya la implementación de los compromisos del

Acuerdo de París en el ámbito de la gobernanza climática, de la financiación y la participación de actores en la acción climática.

Con el fin de mejorar sus servicios climáticos, los 6 países centroamericanos (Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Panamá y Costa Rica) solicitaron apoyo a EUROCLIMA+ para la generación de escenarios climáticos regionalizados con una resolución adecuada para tener en cuenta la heterogeneidad climática de la región y que permitiera la toma de decisiones sobre futuros impactos del clima, incluyendo la planificación de las medidas de adaptación necesarias, en línea con la propuesta de acción acordada por las tres redes iberoamericanas de meteorología, agua y cambio climático en el taller de diciembre de 2016.

Con el objeto de responder a estas necesidades, se pone en marcha, dentro del programa EUROCLIMA+, el proyecto “Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para Centroamérica”. Este proyecto tiene tres objetivos principales:

- Producción de escenarios regionalizados de cambio climático para la región Centroamericana por distintos métodos junto con la documentación asociada.
- Capacitación y formación necesaria para producir dichos escenarios.
- Desarrollo de una herramienta de visualización para un manejo y descarga amigable de los datos de escenarios regionalizados.

Para conseguir estos objetivos, se tomó la decisión de reproducir, para Centroamérica, el enfoque seguido por AEMET para la generación de proyecciones de cambio climático (Amblar et al. 2018) y desarrollar un visor de escenarios climáticos constituido por una plataforma web -similar a la de AdapteCCa (<http://escenarios.adaptecca.es/>) desarrollado para España- que proporcionará una fácil visualización de las proyecciones regionalizadas tanto en forma de mapas y de gráficos de series temporales como en forma de datos numéricos descargables.

3. GENERACIÓN DE PROYECCIONES REGIONALIZADAS

En esta sección se presentan los procedimientos de regionalización utilizados en el proyecto. Como ya se ha mencionado, la resolución espacial de los modelos climáticos globales (GCM, de sus siglas en inglés) es insuficiente para su uso directo por parte la comunidad de impactos que necesita una resolución mayor. Para conseguir un aumento de resolución se recurre a la aplicación de técnicas o métodos de reducción de escala o regionalización (*downscaling*, en inglés).

Las técnicas de regionalización se aplican a las proyecciones generadas por los modelos climáticos globales, a los que aportan detalles de escala más pequeña asociados con información adicional de orografía, usos de suelo, etc. Como consecuencia, las proyecciones regionalizadas de cambio climático heredan los defectos y debilidades de los modelos climáticos de partida. Por ejemplo, si el modelo climático global simula incorrectamente aspectos de la variabilidad climática a gran escala relevantes para el clima regional/local, carecerá de sentido regionalizar aquellas proyecciones climáticas realizadas con el mismo (Brunet et al. 2009).

Existen dos grandes grupos de técnicas de regionalización: dinámicas y empírico/estadísticas. Las técnicas dinámicas resuelven las ecuaciones del sistema climático a una resolución mayor pero en un dominio espacial menor (véase Fig. 1), de modo que los requerimientos de cálculo se mantengan dentro de unos límites aceptables. Éstas utilizan al modelo global como suministrador de condiciones de contorno. Las técnicas estadísticas, por su parte, requieren mucho menos tiempo de cómputo y se basan en el cálculo de las relaciones estadísticas que vinculan las variables atmosféricas de gran escala (predictores) con las variables climáticas de escala regional/local (predictandos), relaciones que se suponen invariables frente al cambio del clima. Esta suposición de invariabilidad representa una clara desventaja frente al grupo de métodos de regionalización dinámica, aunque, generalmente, sean poco costosos en tiempo de cálculo y relativamente sencillos (Trzaska y Schnarr, 2014). En la actualidad se admite que la regionalización dinámica y estadística constituyen enfoques complementarios y que ninguno es superior al otro (Gutiérrez et al. 2018).

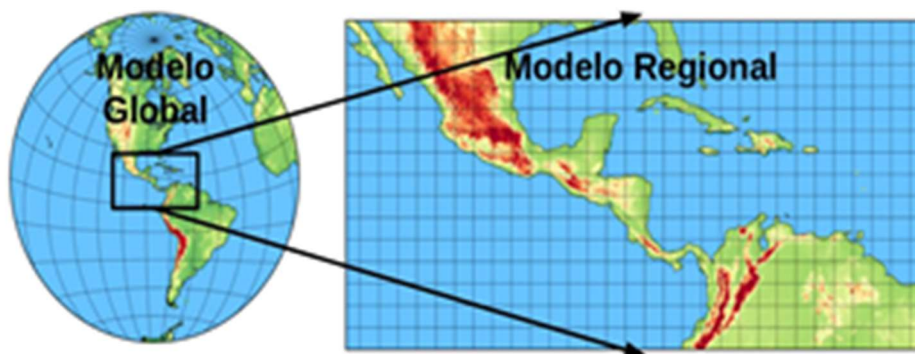


Figura 1. Ilustración de modelos globales y regionales.

En este proyecto se usan tanto técnicas de regionalización dinámica como estadística para obtener proyecciones regionalizadas de las variables temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación. Estas técnicas se pasan a describir a continuación.

3.1. Métodos de regionalización aplicados

Regionalización dinámica

Entre las técnicas de regionalización dinámica se encuentran los modelos climáticos regionales. Estos modelos tienen su correspondencia con los modelos de área limitada utilizados en la predicción numérica del tiempo. Los modelos climáticos regionales (RCM, de sus siglas en inglés) son modelos climáticos de mayor resolución que los globales que cubren sólo un área determinada. Los RCM utilizan la gran escala y las condiciones de contorno laterales de los GCM para producir las salidas de alta resolución. La principal ventaja de los RCM estriba en su mayor capacidad para representar los procesos atmosféricos de meso-escala, y en un tratamiento mejor de los factores regionales responsables en parte de las características de las variables climáticas de interés, permitiendo, además, que estas mantengan la coherencia espacial y física. Sin embargo, su coste computacional es muy elevado (Trzaska y Schnarr, 2014).

La regionalización dinámica ha experimentado un gran avance con el programa CORDEX (véase <http://www.cordex.org>), establecido por iniciativa del Programa Mundial de Investigación del Clima (WCRP, de sus siglas en inglés) en el año 2009 para desarrollar un marco mejorado dirigido a generar proyecciones climáticas a las escalas requeridas por los estudios regionales de evaluación de impactos y adaptación en cualquier región terrestre del planeta. Estas proyecciones completan las proyecciones globales obtenidas a partir de los modelos del *Coupled Model Intercomparison Project - Phase 5* (CMIP5) (véase <https://pcmdi.llnl.gov/mips/cmip5/>)

Regionalización estadística

El principio subyacente a todos los métodos de regionalización estadística es que los climas a escala local son esencialmente una función del estado atmosférico a gran escala. Profundizando en el concepto de regionalización estadística, recordemos que, básicamente, se trata de establecer una serie de relaciones empíricas y/o estadísticas entre el predictando (variables locales de interés en la zona de estudio) y aquellas variables mejor simuladas (geopotencial, temperatura o parámetros derivados) por los modelos climáticos de baja resolución o predictores, basándose en la idea subyacente tras este tipo de técnicas de regionalización. La regionalización estadística tiene la doble ventaja de ser computacionalmente más barata y de ajustarse mejor a las escalas locales, facilitando, en consecuencia, la generación de conjuntos o *ensembles* con un número suficiente de miembros para poder explorar las incertidumbres. Esto hace que este tipo de regionalización sea muy atractivo para muchas aplicaciones hidrológicas y agrícolas (Wilby et al. 2002a,b). Por otro lado, la mayor parte de los métodos de regionalización estadística se encuentran libres de sesgos durante el periodo de calibración, lo que hace que la salida sea muy conveniente para los estudios de impacto.

Desafortunadamente, una de las limitaciones principales de la regionalización estadística radica en la formulación de la hipótesis de que las relaciones estadísticas establecidas entre los predictores y el predictando en el clima actual continuarán siendo válidas en las condiciones futuras del clima, hipótesis difícil de verificar en el futuro. Este tipo de estacionariedad temporal en la relación empírica puede llegar a suponer una grave limitación en cuanto a la consideración de factores asociados a los cambios de variables locales (Hay y Clark, 2003). Adicionalmente, los métodos de regionalización estadística tienden a subestimar la varianza y, con frecuencia, no representan bien los sucesos extremos (Fowler et al. 2007).

Los enfoques estadísticos de regionalización se suelen agrupar en tres categorías principales: predicción perfecta (PP, del inglés *Perfect Prognosis*), estadística de salidas de modelos (MOS, del inglés *Model Output Statistics*) y generadores de tiempo (WG, del inglés *Weather Generators*). Los métodos PP se apoyan en datos observacionales a gran escala, con frecuencia datos de reanálisis, así como observaciones a escala local. Estos métodos se suelen agrupar en dos grupos: métodos basados en funciones de transferencia y métodos basados en agrupamientos. Entre los primeros se encuentra el método basado en regresión lineal múltiple y entre los segundos el método de análogos, que se van a utilizar en esta guía. Es de interés mencionar la Acción europea COST-VALUE (véase <http://www.value-cost.eu/validationportal/app/#!home>), dirigida a validar y comparar sistemáticamente los distintos métodos de regionalización dinámica y estadística utilizados por los miembros participantes. Vamos a tratar de describir de la manera más sucinta, aunque detallada posible, los métodos de regresión y de análogos empleados. Estos métodos tienen una fase de calibración y una de estimación para obtener las proyecciones futuras regionalizadas a partir de modelos globales.

Método de análogos

El método de análogos está basado en el conocimiento y experiencia de los meteorólogos operativos: situaciones “análogas” a gran escala tienden a producir efectos análogos en superficie. Se trata del esquema de regionalización más sencillo e intuitivo. Sucintamente, la circulación atmosférica a gran escala simulada por un GCM se compara con cada una de las configuraciones atmosféricas de un periodo pasado y la más similar, en un sentido que hay que definir, se elige como su análogo. El tiempo local que se observó con el análogo se asocia a la configuración futura. Un problema importante asociado con este método estriba en la necesidad de disponer de una serie suficientemente larga de observaciones, de forma que siempre podamos encontrar un análogo razonable de la circulación a gran escala. Para paliar en parte este problema, se escoge, en vez de un análogo, un conjunto de ellos correspondientes a las situaciones sinópticas más similares a la del día problema. Como el comportamiento estadístico de la temperatura y la precipitación son muy diferentes, también las estadísticas a inferir del conjunto de análogos serán diferentes y la forma de seleccionar los análogos.

Método de regresión

El método de regresión lineal múltiple permite realizar la regionalización espacial a través de las relaciones entre el predictando (variable a regionalizar) y los predictores, utilizando regresiones lineales múltiples. Una de las principales ventajas de este método es su fácil aplicación, al no necesitar grandes requerimientos de computación y, normalmente, está indicado para zonas heterogéneas o con orografía compleja. Sin embargo, su aplicación requiere el uso de series de datos climáticos suficientemente largas y homogéneas.

Como sucede con el resto de los métodos estadísticos, la obtención de proyecciones climáticas con esta metodología implica la aceptación de hipótesis, entre las que se encuentra que el modelo paramétrico ajustado tenga validez bajo las condiciones futuras de cambio climático. Por otra parte, hay que ser siempre extremadamente cuidadoso con la extrapolación de modelos fuera del rango de valores con los que se ha realizado la calibración, ya que aumenta apreciablemente la incertidumbre de los valores estimados.

El método de regresión lineal múltiple implementado por AEMET para obtener las proyecciones tanto de temperatura como de precipitación, está basado en el método propuesto por Wilby et al. (2002 a, b). Como la temperatura permite establecer relaciones más lineales con los predictandos, este autor consideró lo que denominó un método no condicional. Ahora bien, en el caso de la precipitación, como las relaciones pueden llegar a ser altamente no lineales, este autor consideró lo que denominó un modelo condicional para la precipitación, en el que la relación predictando y predictores se realiza a través de una variable intermedia. No obstante, conviene resaltar que este tipo de métodos tienen que usarse con bastante cautela, ya que no es muy recomendable para el caso de la precipitación (Gutiérrez et al. 2018). Sin embargo, en el estudio de proyecciones climáticas puede utilizarse teniendo en cuenta sus limitaciones.

Los predictores que se utilizan en los métodos estadísticos de regionalización basados en funciones de transferencia deben de satisfacer una serie de condiciones. Estos predictores deben: a) tener alto poder predictivo, b) capturar el efecto del cambio climático, c) estar razonablemente bien reproducidos por los modelos climáticos globales y d) sus relaciones con el predictando deben de ser estacionarias en el tiempo. Además, diferentes estudios muestran la conveniencia de combinar predictores termodinámicos con predictores de circulación para considerar tanto los predictores que transportan señal como los predictores que están más ligados al balance radiativo. Junto a estas consideraciones, también hay que tener en cuenta la disponibilidad de la información procedente de los modelos climáticos globales, en este caso concreto, la información de los modelos globales del proyecto CMIP5 que puede consultarse en el portal.

3.2. Datos utilizados

La obtención de datos es una parte básica del proyecto, ya que todos los productos y actividades se basan en unos datos de partida suficientes y de calidad.

Al comienzo del proyecto, y dado que las proyecciones del clima se iban a realizar tanto en rejillas observacionales como en puntos con observaciones de variables climáticas, se descargaron todos los datos en rejilla necesarios para la aplicación de la regionalización y se recibieron los datos de observatorios facilitados por los diferentes Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN).

Los datos obtenidos pueden clasificarse de la siguiente forma:

1. Datos de regionalización dinámica procedentes del proyecto CORDEX, que han sido interpolados a una rejilla regular.
2. Datos de modelos globales a regionalizar (procedentes del proyecto CMIP5).
3. Datos del reanálisis ERA-Interim (Dee et al. 2011) que proporcionan el estado de la atmósfera para la calibración de las regionalizaciones estadísticas.
4. Datos de rejillas observacionales para realizar las regionalizaciones estadísticas. Éstos a su vez los podemos clasificar en:
 1. Datos diarios de temperaturas máxima y mínima y de precipitación obtenidos en observatorios climatológicos y suministrados por los servicios meteorológicos de los distintos países de América Central.
 2. Datos diarios observacionales en rejilla procedentes de dos fuentes de datos diferentes según la variable climática.
 1. Rejilla observacional de precipitación. Base de datos CHIRPS (Funk et al. 2015).
 2. Rejilla de reanálisis ERA5 (Hersbach y Dick, 2016) de temperatura máxima y temperatura mínima.

Todo esto hace un total de unos 1,8 terabytes. En la Fig. 2 se muestran los tamaños relativos de los datos obtenidos para este proyecto

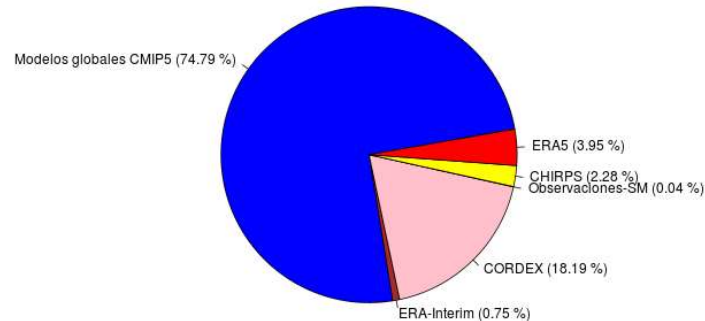


Figura 2. Tamaños relativos de los datos obtenidos para este proyecto. El espacio total ocupado es de aproximadamente 1,8 terabytes.

Las proyecciones basadas en los datos del proyecto CORDEX se han obtenido bajo los escenarios histórico, RCP2.6, RCP4.5 y RCP8.5. Aunque el número de variables disponibles es muy amplio, se han seleccionado un subconjunto en virtud de su interés para los diferentes sectores. No todos los organismos participantes en el proyecto CORDEX produjeron regionalizaciones para todas las áreas geográficas definidas por el mismo. De este modo, para la región centroamericana contamos con las proyecciones realizadas por dos centros: el SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute) y el ICTP (International Centre for Theoretical Physics). Los RCM utilizados por cada uno de estos centros son, respectivamente, el RCA4 (<https://www.smhi.se/en/research/research-departments/climate-research-rossby-centre2-552/rossby-centre-regional-atmospheric-model-rca4-1.16562>) y el RegCM4.3 (Giorgi et al. 2012). La tabla 1 recoge el listado de aquellos modelos globales que han sido regionalizados por cada uno de los modelos regionales.

Cuadro 1. Modelos globales regionalizados por cada uno de los modelos regionales SMHI-RCA4 y ICTP-RegCM4.3.

Modelo Global	Modelo Regional SMHI	Modelo Regional ICTP
CanESM2	SMHI-RCA4	
CNRM-CM5	SMHI-RCA4	
CSIRO-Mk3.6.0	SMHI-RCA4	
GFDL-ESM2M	SMHI-RCA4	
HadGEM2-ES	SMHI-RCA4	ICTP-RegCM4.3
IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	
MIROC5	SMHI-RCA4	
MPI-ESM-LR	SMHI-RCA4	
MPI-ESM-MR		ICTP-RegCM4.3
NorESM1-M	SMHI-RCA4	

Fuente: elaboración propia

Los datos de los modelos globales del CMIP5 y del reanálisis de ERA-Interim, necesarios para la regionalización estadística, ya se encontraban disponibles en AEMET como resultado de trabajos anteriores (Amblar et al. 2017).

En cuanto a los datos de observatorios de temperatura máxima y mínima y precipitación, estos han sido proporcionados por las instituciones con responsabilidad meteorológica en los países participantes. De este modo, se han obtenido datos homogeneizados de unas 98 estaciones de precipitación en Costa Rica y Panamá y no homogeneizados procedentes del resto de los países participantes, constituyendo un total de unas 200 estaciones, aproximadamente, repartidas por toda Centroamérica. Las rejillas observacionales (Li y Heap, 2014) son producidas por diversos organismos meteorológicos mediante la interpolación de datos de observatorios (y su combinación con datos de teledetección en el caso de la rejilla CHIRPS) a una rejilla regular. También consideraremos en este trabajo como rejillas observacionales las generadas por técnicas de reanálisis, mediante las cuales un modelo de la atmósfera genera una serie de tiempo en cada nodo de la rejilla que es físicamente consistente con los datos observacionales que asimila dicho modelo. Esta técnica no produce datos fiables para todas las variables (p.ej., precipitación, ya que no es una variable directamente analizada), pero sí para la temperatura. Como se ha mencionado en el esquema de arriba, se ha utilizado la rejilla CHIRPS para precipitación (resolución de 0,05 x 0,05°, aproximadamente 5 km x 5 km), y el reanálisis ERA5 interpolado a una resolución de 0,25 x 0,25°, aproximadamente 25 km x 25 km para la temperatura. Ambos se encuentran libremente disponibles, CHIRPS en su propio sitio web² y ERA5 en el Copernicus Data Store³.

¹ <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>

³ <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview>

3.3. Procesamiento de datos, adaptación y aplicación de los métodos

Los datos del proyecto CORDEX proporcionan las regionalizaciones dinámicas realizadas en el marco del mismo. Sin embargo, se presentan en una variedad de formatos que no son adecuados para su uso directo por las herramientas GIS (acrónimo de *Geographical Information System*) que utiliza el visor, por lo que se ha hecho necesaria su conversión a un formato unificado y adecuado. Se ha escogido como rejilla final, de los datos CORDEX, una malla regular en longitud-latitud de 0,5° de espaciado, haciendo coincidir uno de sus nodos con un punto en el que coinciden las dos rejillas diferentes en las que se encuentran los datos del proyecto CORDEX para Centroamérica (84,109° O, 13,136° N). Para ello se han interpolado los datos originales, en sus distintos formatos, a la rejilla regular mencionada.

La regionalización por análogos ha requerido una adaptación más profunda que ha incluido las modificaciones necesarias para ser ejecutado en el superordenador de AEMET. Siendo el método de análogos un método más exigente en recursos que el de regresión y siendo el área centroamericana más extensa que la española, los requerimientos computacionales son mucho mayores cuando se aplican a aquella que a ésta. La adaptación ha incluido una diferente elección de predictores que en el caso del área española. Al situarse el dominio centroamericano en latitudes bajas no permitía una utilización de la hipótesis geostrofica que relaciona viento y geopotencial, al contrario de lo que sucedía en la aplicación del método sobre España.

La regionalización por regresión se ha realizado por aplicación casi directa del método desarrollado por AEMET para España. La adaptación de este método ha sido necesaria en dos aspectos del mismo: por un lado, un área con un clima tan diferente del español como es la centroamericana, requiere predictores diferentes; y por otro lado, la extensión mucho mayor de Centroamérica ha puesto de manifiesto la necesidad de adaptar el formato de los ficheros de salida, que no era adecuado para la gran cantidad de datos que se producen para un área tan extensa.

Además hay que mencionar que una vez descargados los modelos climáticos globales se procedió a su decodificación (desde NetCDF y su interpolación -ya que todos los modelos poseen diferentes rejillas y resoluciones- a una rejilla común que ha sido las del reanálisis ERA-Interim).

4. HERRAMIENTA DE VISUALIZACIÓN

Uno de los tres objetivos principales del proyecto era el desarrollo de una herramienta de visualización para un manejo y descarga amigable de los datos de escenarios regionalizados. La experiencia española demostraba que, hasta que no se dispuso de una herramienta de visualización de este tipo, el uso de los datos de escenarios se restringía a usuarios muy especializados y con amplia experiencia en manejo y procesamiento de datos climáticos. En consecuencia, desde el principio del proyecto se apuntó a desarrollar una herramienta de visualización similar a la de AdapteCCa (<http://escenarios.adaptecca.es>) desarrollada para España y que proporcionase una fácil visualización de las proyecciones regionalizadas tanto en forma de mapas y de gráficos de series temporales como en forma de datos numéricos descargables.

Con el fin de identificar adecuadamente las necesidades de los países centroamericanos en relación con las características del visor, expertos de AEMET y FIIAPP desarrollaron una serie de talleres de usuarios para los países participantes en el proyecto y en los que se identificaron las necesidades y características que debería tener el futuro visor de escenarios. En todos los talleres se contó con representantes de diferentes instituciones que serían susceptibles de utilizar los resultados del proyecto. También se procuró tener un equilibrio entre el número de asistentes y sectores representados y la capacidad de discutir dentro de un tiempo razonable, al estar restringido los talleres a una jornada.

Los talleres tuvieron lugar en todos los países participantes en el proyecto y todos tuvieron un formato similar. En todos ellos, se presentaron las características del componente de gobernanza climática de EUROCLIMA+ (véase también <http://euroclimaplus.org>) las características del proyecto, incluidos los productos posibles y visualización de los mismos (siguiendo el modelo de <http://escenarios.adaptecca.es/>) y, finalmente, solía haber una presentación nacional sobre la última Comunicación Nacional sobre Cambio Climático a la UNFCCC o sobre la experiencia nacional en el objeto del proyecto. Posteriormente, y tras aclarar algunos conceptos y discutir sobre los diferentes aspectos del proyecto, se establecía una discusión en grupos para debatir necesidades de los usuarios y propuestas de posibles características del visor de escenarios a desarrollar por el proyecto en el marco del programa EUROCLIMA+.

Se plantearon a los asistentes las siguientes preguntas para su debate:

- Nivel de agregación temporal: estación seca/húmeda, trimestres, etc.
- Áreas predeterminadas dentro de un mismo país con criterios geográficos, climatológicos o políticos.
- Lista inicial de variables e indicadores climáticos para sectores prioritarios.
- Posibles nuevas potencialidades del visor no incluidas en el visor de AdapteCCa.

Tras una integración de las propuestas de los diferentes grupos en cada uno de los talleres, se llegó a la siguiente propuesta final consolidada con los siguientes elementos para su integración en el diseño del visor regional:

Nivel de agregación temporal:

Se permitirá la definición, por parte del usuario, de la agregación temporal de la información a mostrar. Esto se hará definiendo un mes de inicio y una duración en meses del periodo anual de interés.

Áreas predeterminadas para agregar la información espacialmente:

- Por países.
- Por departamentos.
- Por regiones naturales (a definir por cada país).
- Por áreas protegidas (a definir por cada país).
- Por cuencas hidrográficas (a definir por cada país).
- Por zonas climáticas (a definir por cada país).
- Por intervalos según las altitudes.

Los desarrolladores incluirán inicialmente las áreas a cuyos límites geográficos se pueda acceder de forma libre. Para las zonas a nivel nacional, los límites deberán ser proporcionados por los diferentes países.

Variables

Se propusieron las siguientes variables para su valoración por parte de los desarrolladores del visor:

- Humedad relativa, percentiles 90% y 10%.
- Temperatura, percentiles 90% y 10% de temperatura máxima y mínima.
- Precipitación, percentiles 90% y 10%.
- Número máximo de días consecutivos con precipitación <1 mm (sequía).
- Presión atmosférica.
- Indicador de sequía.
- Índice de estrés agrícola (sequía).
- Umbrales variables de precipitación máxima diaria.
- Número de días con precipitación superior/inferior a un umbral.
- Grados días con selección de la temperatura base.
- Duración máxima de olas de frío.
- Intensidad de radiación.
- Viento (dirección, velocidad).
- Evapotranspiración.

- Humedad relativa.
- Índice de riesgo de incendios.

Posibles nuevas potencialidades adicionales del visor

Se propusieron las siguientes posibles potencialidades adicionales a las del visor Adapteca.

- Posibilidad de descargar capas SIG.
- Posibilidad de subir información a la plataforma.
- Solapamiento de capas (mapas).
- Aplicación móvil.
- Posibilidad de incluir mapas (históricos) de amenazas, p.ej., análisis integral de zonas de inundación y lluvias máximas, zonas propensas a movimientos de ladera.
- Página inicial con la explicación de la herramienta, su uso, el alcance, su importancia, etc.
- Integrar resultados de simulaciones realizadas a nivel nacional y regional.
- Adjuntar una pestaña con enlaces de interés a instituciones nacionales e internacionales, y documentos de políticas, planes, programas y estrategias nacionales y regionales relacionados al tema.

El visor de escenarios regionalizados de cambio climático está alojado en la plataforma Centroclima (<https://centroclima.org/escenarios-cambio-climatico/>) administrada y gestionada por el Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH). El visor está orientado a facilitar la consulta y descarga de proyecciones regionalizadas de cambio climático para Centroamérica, realizadas a partir de las proyecciones globales del Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático). El visor integra actualmente los resultados del proyecto internacional de regionalización dinámica CORDEX y las proyecciones regionalizadas obtenidas con varios métodos de regionalización estadística desarrollados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Los productos presentados proceden de las proyecciones generadas mediante técnicas de regionalización con dato diario. Dichas proyecciones contemplan tres escenarios de emisión de uso habitual (RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5), así como un escenario de referencia (Histórico).

Esta aplicación permite al usuario consultar información a través de dos elementos principales: mapas y series temporales. Para ello, el usuario debe, en primer lugar, llevar a cabo una serie de selecciones que permiten delimitar el conjunto de datos que desea consultar. Estas selecciones se realizan a través de diversos elementos de selección situados en la parte superior de la aplicación. La Figura 3 muestra en la parte superior los cinco elementos de selección principales: modelos, variable, escenario, meses (en las pestañas superiores) y selección espacial (en la fila inferior, debiendo seleccionar un área geográfica del mapa o del listado para poder acceder). Al pulsar sobre cada una de las pestañas superiores se despliega un menú con las diferentes opciones de selección. La opción meses hace referencia a los

meses que se van a considerar en el agrupamiento temporal de los datos, a definir por el usuario mediante un mes inicial y una longitud en meses. El uso de la aplicación y el acceso a los datos viene descrito en detalle en el “Manual de Usuarios” (https://centroamerica.aemet.es/manual_usuarioV3.pdf)

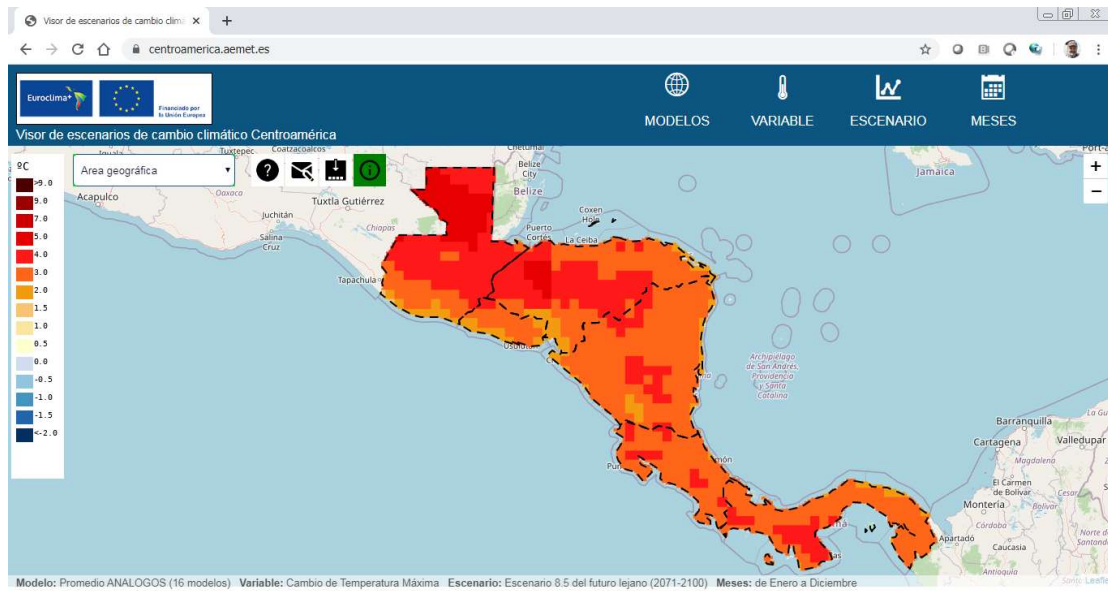


Figura 3. Página inicial del visor de escenarios regionalizados para Centroamérica

5. PLAN DE CAPACITACIÓN Y FORMACIÓN

La capacitación de técnicos de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) Iberoamericanos en las técnicas y procedimientos para la generación de escenarios locales de cambio climático es una de las actividades que se ha venido llevando a cabo desde el año 2008 por iniciativa de la Conferencia de Directores de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Iberoamericanos (CIMHET). En la quinta edición del curso de generación de escenarios regionalizados de cambio climático, que se celebró en Montevideo (Uruguay) en junio de 2018 y en el que participaron técnicos de todos los servicios meteorológicos centroamericanos, se conformó el núcleo inicial del grupo de trabajo centroamericano para el desarrollo del proyecto de Generación de escenarios apoyado por EUROCLIMA+.

Tras este curso de carácter general e introductorio al tema, se celebraron otros tres cursos, organizados específicamente en el contexto del presente proyecto, y focalizados en diferentes temas relacionados con distintos aspectos de la generación de escenarios regionalizados.

El primer curso de “Extracción y Utilización de Datos CORDEX” (San Salvador, 25 de febrero al 1 de marzo de 2019) se centró en mostrar las diferentes herramientas y procedimientos existentes para la extracción y utilización de datos procedentes de proyecciones climáticas regionalizadas dinámicamente y puestas a disposición pública por el proyecto CORDEX. El curso fue eminentemente práctico y los participantes generaron ejemplos de la evolución de índices de extremos para sus respectivos países a partir de este tipo de datos. El curso tuvo una duración de una semana con 28 horas lectivas. Solamente pudieron asistir por problemas logísticos participantes de El Salvador, Costa Rica, y Guatemala.

El segundo curso fue un “Curso Básico de Servicios Climáticos” (México DF, 17 al 28 junio de 2019) y se gestó en el marco de la reunión de la Comisión Mixta de Seguimiento del Convenio entre AEMET y la Universidad Rovira i Virgili (URV) (19/09/2018). Allí se discutió y decidió programar cursos de Capacitación en Servicios Climáticos en lengua española, de dos semanas de duración, intentando encajar estas actividades en la planificación de CIMHET. Aprovechando las sinergias del proyecto de Escenarios de Cambio Climático dentro del programa EUROCLIMA+, se decidió enfocar la primera edición del curso “Básico de Servicios Climáticos” en Centroamérica y países vecinos (Colombia, Venezuela, Cuba, México). Finalmente, el curso se integró en las actividades de capacitación del proyecto de Escenarios de Cambio Climático dentro del programa EUROCLIMA+. El curso tuvo una duración de dos semanas con 56 horas lectivas. Asistieron 21 participantes, de los cuales 14 fueron del núcleo de países centroamericanos del presente proyecto.

El tercer curso sobre “Métodos Estadísticos de Regionalización para Proyecciones de Cambio Climático” (Managua, 14 al 18 de octubre de 2019) tuvo como principal objetivo mostrar los diferentes métodos estadísticos para regionalización de proyecciones climáticas procedentes de modelos globales y su especial conveniencia para estimar las incertidumbres de las proyecciones procedentes principalmente de tres fuentes: los escenarios de emisión, los modelos globales y las técnicas de regionalización. El curso tuvo una duración de una semana con 28 horas lectivas. Asistieron 20 participantes de todos los países centroamericanos integrantes del presente proyecto. Inmediatamente después de este curso se realizó una capacitación -inicialmente no programada- para los participantes de Honduras, Panamá y Nicaragua que, en su día, no pudieron asistir al curso “Extracción y utilización de datos CORDEX” (San Salvador, 25 de febrero al 1 de marzo de 2019). Esta capacitación consistió en una revisión del curso realizado en San Salvador precedida de una parte on-line en la que los participantes pudieron acceder a materiales y prácticas que luego se desarrollarían en la parte presencial. Este mini-curso tuvo dos días de duración con 10 horas lectivas. Asistieron 12 participantes de Panamá, Honduras y Nicaragua que no pudieron asistir al primer curso programado sobre este tema.

6. CONCLUSIONES

El proyecto se ha completado alcanzándose satisfactoriamente los tres principales objetivos planteados en su inicio. Se han calculado las proyecciones regionalizadas para la región utilizando dos algoritmos de regionalización estadística y procesando también los datos de regionalización dinámica procedentes del proyecto CORDEX. Se han cubierto los objetivos de capacitación inicialmente programados mediante dos talleres, uno específicamente dedicado a descarga y manipulación de datos CORDEX y otro a utilización de métodos estadísticos de regionalización. Adicionalmente, se ha organizado otro evento de capacitación dedicado a la provisión de servicios climáticos. Finalmente, se completó el desarrollo de un visor para presentar de forma amigable toda la información de escenarios generada en el proyecto

El proyecto se concibió desde el inicio como una réplica del proceso seguido por AEMET para generar datos de proyecciones regionalizadas de cambio climático y cómo ponerlos a disposición de la comunidad de usuarios de impactos y adaptación al cambio climático. AEMET siguió un largo recorrido de más de 15 años que se inició con la creación de una unidad suficientemente dotada de recursos humanos y técnicos para abordar esta tarea y contemplar sus sucesivas actualizaciones marcadas por el ritmo impuesto por la aparición de los informes del IPCC y los proyectos coordinados CMIP que proporcionan las simulaciones globales. Se pretendía, en este proyecto, aprovechar la experiencia de AEMET y avanzar mucho más deprisa evitando las tareas mucho más lentas de desarrollo de técnicas de regionalización y de diseño de la visualización final. Sin embargo, los algoritmos de regionalización debieron adaptarse para su implementación en latitudes tropicales, lo que supuso un retraso no previsto inicialmente. Por otra parte, la visualización se optó por desarrollarla desde cero con los recursos de AEMET y con la ayuda de una asistencia técnica. El principio de este desarrollo se basó en optimizar la organización interna de los datos regionalizados para minimizar el tiempo de respuesta en las peticiones de información al visor. El proyecto ha presentado una complejidad posiblemente no imaginada en su totalidad en la fase de diseño, de hecho se precisó de una extensión temporal de tres meses para poder completarlo en su totalidad.

La presentación de este proyecto se ha realizado en distintos foros, incluyendo el evento “Redes de cooperación iberoamericana en meteorología, agua y cambio climático” en el marco de la COP 25 en Madrid⁴ y el webinar “Experiencias Iberoamericanas en el uso de herramientas para interpretar información y facilitar el diseño de políticas y medidas de adaptación”⁵ en colaboración con la RIOCC, la CODIA y la CIMHET.

⁴ <https://youtu.be/n3Oppyle7HY>

⁵ <https://youtu.be/JvR6XxVYI9g>

Como principal lección aprendida en el desarrollo del proyecto, se puede mencionar la necesidad de mejorar la estimación de los recursos necesarios para adaptar los algoritmos de regionalización a una región distinta de la región para la que fueron diseñados. Otras tareas, en principio no contempladas por el proyecto, y que son fundamentales para el uso de técnicas estadísticas, como el control de calidad de los datos observacionales, la detección de datos no homogéneos o incluso la eliminación de las no homogeneidad y estimación de valores ausentes, deberían haberse abordado en un proyecto previo. Finalmente, se subraya la importancia de llevar a cabo un exhaustivo control de calidad del producto final basado en un análisis comparativo con otras fuentes de datos externas al proyecto, complementario al control de consistencia interna de los datos. Por otra parte, se han desarrollado herramientas de gran versatilidad que permitirán la extensión del proyecto a otras regiones con mayor facilidad de la requerida en el presente proyecto.

La recepción de datos de estaciones ha sido gradual a lo largo del tiempo y muchos de ellos necesitan ser sometidos a procesos de homogeneización. En una futura ampliación del proyecto, se podría contemplar esta tarea que redundaría en la mejora de la regionalización estadística sobre observatorios tanto por regresión como análogos. Por otra parte, también se ha planteado la recepción de datos de regionalización dinámica realizada para Centroamérica por el servicio meteorológico brasileño (*Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos*, CPTEC), que no está incluida en el proyecto CORDEX. Dicha recepción e inclusión en el visor, quedaría también para una posible ampliación del proyecto.

Entre los posibles planes futuros que pudieran formar parte de una segunda fase del proyecto podrían contemplarse los siguientes puntos:

- Uso de los escenarios realizados e identificación de indicadores sectoriales
- Mantenimiento y actualización de los escenarios
- Formación de un grupo encargado para responder a preguntas/dudas de usuarios.
- Profundizar en las tareas de capacitación y consolidación del grupo de trabajo regional del proyecto para dar seguimiento a la generación de escenarios y al visor.
- Realización de regionalizaciones para los datos procedentes de observatorios y que se han digitalizado en el marco del proyecto y su posterior incorporación al visor.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Amblar, MP, MJ Casado Calle, MA Pastor Saavedra, P Ramos Calzado, y E Rodríguez Camino. 2017. "Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5."
<https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/7956>.
- [2] Amblar-Francés, MP y col. 2018. «Strategy for generation of climate change projections feeding Spanish impact community». *Advances in Science and Research*

- 15: 217-30. <https://www.adv-sci-res.net/15/217/2018/> (5 de diciembre de 2018).
- [3] Brunet, M, MJ Casado, M De Castro, P Galán, JA López, JM Martín, A Pastor, y col. 2009. "Generación de Escenarios Regionalizados de Cambio Climático para España. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Gobierno de España," 158.
- [4] Dee, D P, S M Uppala, A J Simmons, P Berrisford, P Poli, S Kobayashi, U Andrae, y col. 2011. "The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system." *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137 (656): 553–97. <https://doi.org/10.1002/qj.828>
- [5] Fowler, HJ, S Blenkinsop, y C Tebaldi. 2007. "Linking Climate Change Modelling to Impacts Studies: Recent Advances in Downscaling Techniques for Hydrological Modelling." *International Journal of Climatology* 27 (12): 1547–78. <https://doi.org/10.1002/joc.1556>.
- [6] Funk, C, P Peterson, M Landsfeld, D Pedreros, J Verdin, S Shukla, G Husak, y col. 2015. "The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes." *Scientific Data* 2 (December): 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- [7] Giorgi, F, E Coppola, F Solmon, L Mariotti, MB Sylla, X Bi, N Elguindi, y col. 2012. "RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains." *Climate Research* 52 (March): 7–29. <https://doi.org/10.3354/cr01018>.
- [8] Gutiérrez, JM, D Maraun, M Widmann, R Huth, E Hertig, R Benestad, DE Keller, y col. 2018. "An intercomparison of a large ensemble of statistical downscaling methods over Europe: Results from the VALUE perfect predictor cross-validation experiment." *International Journal of Climatology*, March. <https://doi.org/10.1002/joc.5462>.
- [9] Hay, LE, y MP Clark. 2003. "Use of Statistically and Dynamically Downscaled Atmospheric Model Output for Hydrologic Simulations in Three Mountainous Basins in the Western United States." *Journal of Hydrology* 282 (1): 56–75. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00252-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00252-X)
- [10] Hersbach, H, y D Dick. 2016. "ERA5 reanalysis is in production". ECMWF Newsletter, Number 147-Spring 2016.
- [11] Li, J, y A D Heap. 2014. "Spatial Interpolation Methods Applied in the Environmental Sciences: A Review." *Environmental Modelling and Software* 53: 173–89. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815213003113> (May 10, 2019).
- [12] Trzaska, S, y E Schnarr. 2014. "A review of downscaling methods for climate change projections." *United States Agency for International Development by Tetra Tech ARD*, no. September: 1–42. http://www.ciesin.org/documents/Downscaling_CLEARED_000.pdf.
- [13] Wilby, RL, CW Dawson, y EM Barrow. 2002a. "Sdsm - a Decision Support Tool for the

Assessment of Regional Climate Change Impacts.” *Environmental Modelling & Software* 17 (2): 145–57. [https://doi.org/10.1016/s1364-8152\(01\)00060-3](https://doi.org/10.1016/s1364-8152(01)00060-3).

- [14] Wilby, R L, D Conway, y PD Jones. 2002b. “Prospects for downscaling seasonal precipitation variability using conditioned weather generator parameters.” *Hydrological Processes* 16 (6): 1215–34. <https://doi.org/10.1002/hyp.1058>.
- [15] Wilby, RL, S Charles, E Zorita, B Timbal, P Whetton, y LO Mearns. 2004. “Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods.”