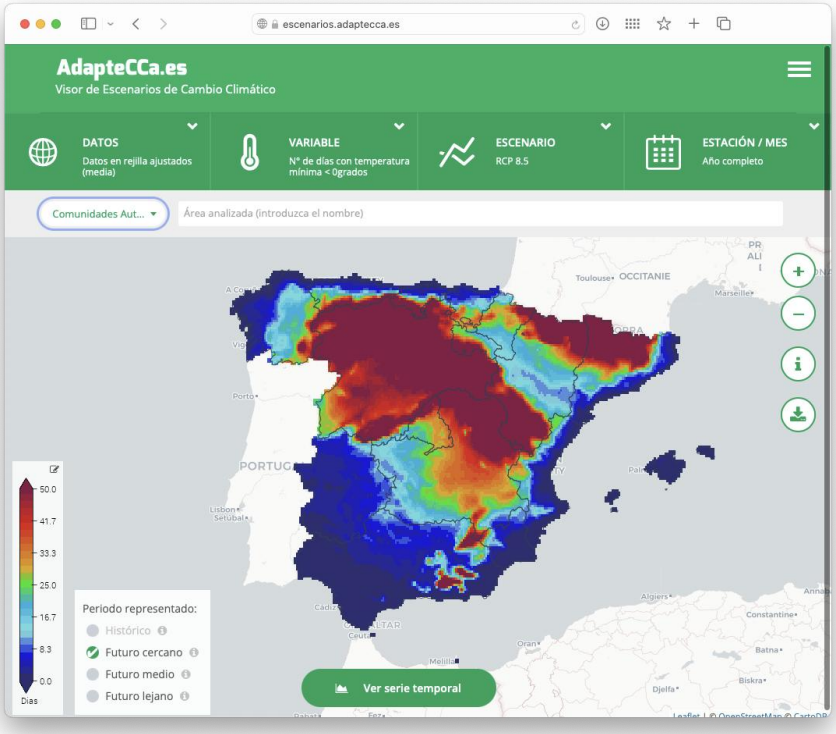
VISOR DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

GUÍA BÁSICA PARA EL CORRECTO USO DE LAS PROYECCIONES REGIONALES DE CAMBIO CLIMÁTICO A ESCALA DE DATO DIARIO



Versión 2.1

13 de junio de 2025

ÍNDICE

1. Analiza los datos en términos estadísticos y sobre un periodo de tiempo suficientemente largo 2
2. Ten en cuenta la resolución espacial de la información y las particularidades geográficas del área de estudio 3
3. Corrige los sesgos 3
4. Usa un "ensemble" multimodelo en lugar de un único modelo 4
5. Elige una técnica de regionalización adecuada para tus propósitos 5
6. Caracteriza adecuadamente la incertidumbre: 6

Este documento contiene un breve resumen con una serie de recomendaciones básicas para el buen uso de los datos a escala diaria. Para más detalle, se pueden consultar otros documentos elaborados en el marco de Escenarios PNACC y Euro-CORDEX.

1. Analiza los datos en términos estadísticos y sobre un periodo de tiempo suficientemente largo

A diferencia de las predicciones meteorológicas y climáticas (predicción estacional y decadal), las proyecciones climáticas no están "sincronizadas" con la realidad y simulan la evolución futura de las variables climáticas para distintos escenarios de emisión y/o forzamiento radiativo. Esto significa que las simulaciones no guardan una relación día-día o año-año sino que proporcionan información sobre tendencias climáticas a largo plazo, proyectadas a partir de los escenarios. Por lo tanto, estos datos nunca se deben utilizar para analizar un año aislado, sino para estudiar cambios en periodos largos (décadas o, idealmente, períodos de 20 o 30 años que caracterizan condiciones climáticas), y en términos estadísticos (promedios, tendencias, percentiles, frecuencia de superación de umbrales, etc.). Típicamente, estos análisis se llevan a cabo comparando un período futuro (por ejemplo, 2071-2100) con una referencia histórica (por ejemplo 1991-2020, que es la referencia climática actual, o 1961-1990 para estudios sobre variabilidad del clima, según la OMM).

El Visor de Escenarios de cambio climático de AdapteCCa permite el análisis de períodos históricos y futuros siguiendo estas directrices y utilizando un período climático de referencia histórico (1971-2000, el más cercano a la referencia climática de la OMM en base a los datos disponibles) y tres períodos futuros (cercano: 2011-2040, medio: 2041-2070, lejano: 2071-2100).

2. Ten en cuenta la resolución espacial de la información y las particularidades geográficas del área de estudio

Los datos de observaciones puntuales (como los valores puntuales en observatorios de AEMET incluidos en el Visor de Escenarios de cambio climático de AdapteCCa) se corresponden con medidas instrumentales obtenidas en emplazamientos concretos y son representativas del clima local circundante. Sin embargo, los datos de rejillas observacionales tienen asociada una resolución característica por defecto (por ejemplo, 5 km / 2.5 km para la rejilla observacional de AEMET incluida en Visor de Escenarios de cambio climático de AdapteCCa sobre la España peninsular y las Islas Baleares / sobre las Islas Canarias), y se obtienen en base a una interpolación "más o menos avanzada" de los datos puntuales de observaciones disponibles en el área comprendida por cada punto de rejilla. En consecuencia, donde no hay datos observacionales próximos, la rejilla observacional puede proporcionar valores no representativos, por lo que su resolución "efectiva" puede ser menor. Además, las observaciones tienen lagunas que pueden dar lugar a rupturas de homogeneidad en los puntos de rejilla correspondientes, es decir, saltos en el clima no atribuibles a razones meteorológicas. Finalmente, las observaciones suelen distribuirse espacialmente de forma inhomogénea, con mayor cobertura en zonas habitadas, por lo que la resolución efectiva no es homogénea espacialmente, y su representatividad puede verse afectada en zonas de orografía compleja; por ejemplo, en zonas de montaña las observaciones se suelen tomar en los valles y no en los picos que los delimitan, introduciendo sesgos. Lo mismo sucede con otros puntos con contrastes climatológicos fuertes como los que hay entre mar-tierra, zonas urbanas-no urbanas, zonas agrícolas-forestales, etc. Por tanto, la calidad de la rejilla observacional utilizada es crítica para la caracterización espacial adecuada de las condiciones climáticas regionales y el uso de distintas rejillas continentales, nacionales y regionales proporciona un valor añadido a los productos.

Estos problemas no se tienen para las rejillas de modelos, como los modelos numéricos de alta resolución de Euro-CORDEX del Visor de Escenarios de cambio climático de AdapteCCa, que cubren la península ibérica y Baleares con una resolución de ~11 km (y 5 km para los datos corregidos) o los datos obtenidos mediante regionalización estadística en rejilla (5 km sobre península ibérica y Baleares y 2.5 km sobre Canarias). En este caso, los valores de rejilla son representativos del promedio areal correspondiente. Normalmente, la resolución de estos productos es más limitada, por lo que no permiten representar las características regionales en zonas de orografía compleja, ni discriminar diferencias entre municipios cercanos. Por otra parte, los valores de estas rejillas incluyen sesgos sistemáticos debidos a la formulación de los modelos. Estos problemas se pueden aliviar parcialmente utilizando técnicas de regionalización (en particular técnicas de ajuste de sesgos), que combinan estadísticamente la información de modelos con información observacional.

3. Corrige los sesgos

Tanto los modelos climáticos como las técnicas de regionalización pueden tener sesgos sistemáticos que conviene conocer y ajustar. Existen distintas técnicas de ajuste de sesgos, y cada una de ellas puede ser más adecuada para un determinado propósito (ver Gutiérrez y otros 2019). Por ejemplo, una guía sobre la relevancia y limitaciones de las distintas técnicas de ajuste de sesgos se puede consultar en el IPCC AR6-WG1 Chapter 10 (*linking global to regional climate change*; en particular la sección sobre relevancia y limitaciones de ajuste de sesgos). Existen distintos paquetes de software de uso libre (como climate4R, utilizado para el desarrollo del Atlas del IPCC), que incorporan un amplio abanico de técnicas de ajuste de sesgos y permiten analizar e intercomparar distintas opciones.

Como los modelos climáticos regionales de Euro-CORDEX utilizados en el Visor de Escenarios de cambio climático de AdapteCCa pueden tener sesgos sistemáticos, estos datos se han ajustado para que sean más representativos de la variabilidad regional. En particular, han sido ajustados utilizando la técnica de ajuste de sesgos ISIMIP3 (Lange 2019; Lange 2021) que preserva los cambios/tendencias futuras del modelo y que ha sido utilizada en el Atlas Interactivo del IPCC AR6. Una intercomparación de esta técnica con otras metodologías alternativas (por ejemplo, con el método EQM utilizado en una versión anterior del visor de escenarios) está disponible en Casanueva et al. 2020.

4. Usa un "ensemble" multimodelo en lugar de un único modelo

Es recomendable analizar conjuntamente un elevado número de modelos climáticos, de forma que la señal de cambio sea más robusta que la de un único modelo, y además se pueda cuantificar la incertidumbre, dada por el grado de acuerdo/desacuerdo entre los distintos modelos. En el Visor de Escenarios de Cambio Climático de AdapteCCa están disponibles las proyecciones climáticas ofrecidas por los diferentes modelos para las variables básicas: Temperatura mínima, Temperatura máxima, Precipitación y Evapotranspiración potencial.

Debido al gran número de proyecciones climáticas disponibles en la actualidad, en ocasiones es necesario efectuar una selección representativa de las mismas para poder realizar estudios de impacto. La elección de las proyecciones climáticas que van a ser utilizadas es muy relevante porque condiciona los resultados de los análisis del impacto. Los métodos para la selección de proyecciones representativas y, por lo tanto, la generación de **sub-ensembles**, son de dos tipos principales:

1. **Basados en la evaluación de los modelos**, tratando de elegir aquellos que mejor representen el clima regional (para el análisis particular en el que se vaya a aplicar). Para este primer tipo se dispone de simulaciones de "evaluación", donde los valores de contorno para los modelos regionales y los predictores para los métodos estadísticos son tomados de un reanálisis (que representa una reproducción fidedigna del tiempo observado). Basado en estas simulaciones hay varios estudios científicos que analizan los RCMs disponibles de CORDEX y los métodos estadísticos aquí utilizados para la Península Ibérica.
Además de las simulaciones de "evaluación", que proporcionan información sobre el valor intrínseco de los modelos, es necesario también evaluar las simulaciones/proyecciones forzadas por modelos climáticos (GCMs), y todo ello considerando métricas relevantes para el problema que se esté estudiando, por lo que estas metodologías resultan complicadas, más allá de permitir descartar algunos modelos que se comporten de forma claramente anómala (teniendo en cuenta que los resultados de la evaluación del período histórico no tienen por qué ser representativos de los del futuro).

2. **Basados en representar adecuadamente la incertidumbre del ensemble.** Esta segunda metodología es más simple y segura en el sentido de que garantiza que el ensemble que se elige es representativo del rango de incertidumbre total. Lo más habitual es utilizar modelos que muestren todo el rango de incertidumbre disponible. Esta es la práctica habitual en iniciativas internacionales como CORDEX-CORE o ISI-MIP. Como resumen, lo ideal sería seleccionar un subconjunto que fuese representativo de la variabilidad completa del ensemble, para no sesgar los resultados por una u otra opción.

En cualquier caso, a la hora de seleccionar o eliminar algún modelo es clave definir una métrica relevante para la aplicación que se quiere desarrollar (recursos hídricos, agricultura, etc.). Por

ejemplo, puede ser útil analizar el comportamiento de unas variables en estaciones determinadas (por ejemplo, para el crecimiento de cultivos), siendo el comportamiento del resto del año menos importancia, o ser más importante que se reproduzca bien la presencia de valores extremos y no tanto la evolución del valor medio.

5. Elige una técnica de regionalización adecuada para tus propósitos

Las distintas técnicas de regionalización tienen sus particularidades y conviene conocerlas para saber qué técnica puede ser más adecuada para los diferentes propósitos.

Existen dos fuentes principales de información climática regional. Por una parte, la información proveniente de **modelos climáticos regionales** —como los del proyecto CORDEX— se genera en rejillas regulares que cubren todo el dominio de simulación con una resolución espacial definida (~10 km en Euro-CORDEX). Estas proyecciones ofrecen un amplio conjunto de variables climáticas con consistencia física y espacial. Sin embargo, para poder utilizar las salidas de estos modelos a escala regional, es necesario aplicar una técnica estadística de ajuste de sesgos. En el caso de Escenarios-PNACC, se ha empleado el enfoque desarrollado en el marco del proyecto ISIMIP, utilizando como referencia observacional la rejilla ROCIO_IBEB de AEMET, lo que ha permitido generar proyecciones ajustadas a una resolución final de aproximadamente 5 km.

Por otra parte, los métodos de **regionalización estadística** proporcionan información en puntos/localidades específicas o sobre rejillas observacionales predefinidas en los que los métodos han sido calibrados y aplicados utilizando las observaciones existentes. En el contexto de Escenarios-PNACC, se han aplicado métodos avanzados de machine learning a partir de las simulaciones globales de CMIP6 sobre estaciones de la red de AEMET y sobre las rejilla observacionales desarrolladas por AEMET: ROCIO_IBEB, con una resolución de ~5 km sobre la Península y Baleares, y ROCIO+_CAN, con una resolución de ~2.5 km sobre Canarias. La regionalización estadística está limitada a aquellas variables para las que se dispone de información observacional suficiente, típicamente precipitación y temperatura, aunque cada vez son más comunes productos para otras variables.

Los datos en rejilla tienen una mayor cobertura espacial, pero no son representativos de un punto o localidad particular que pueda ser de interés para un estudio, sino del promedio del área que abarca cada punto de rejilla. Esta característica resulta especialmente problemática en regiones de orografía compleja, donde un mismo punto de rejilla puede comprender una gran variabilidad geográfica que escapa a estos datos *promedio* de rejilla. Un problema adicional es que los datos proporcionados por los modelos climáticos (globales y regionales) suelen incluir sesgos/desviaciones sistemáticas cuando se comparan con valores históricos observados en una zona de interés. Por ello, la representatividad de los datos de rejilla ha de ser cuidadosamente analizada en cada caso, considerando la aplicación de técnicas de post-proceso en aquellos casos en los que la resolución o los sesgos pueden comprometer su aplicación directa.

Por otra parte, los datos puntuales son representativos de las localidades para las cuales se dispone de información. El problema es que puede no existir ninguna localidad cercana/representativa para un estudio dado. Si se dispone de información histórica en el punto o puntos de interés (por ejemplo, la serie histórica de precipitaciones en la cabecera de una cuenca para un estudio de hidrología) sería posible aplicar las técnicas estadísticas en estos puntos, para regionalizar las proyecciones globales de cambio climático; sin embargo, esta tarea resulta compleja y requiere la colaboración con algún grupo especializado. Algunos proyectos (como VALUE) han tratado de facilitar esta tarea, haciendo públicos los métodos (por ejemplo, el paquete downscaleR de regionalización estadística para R; climate4R) y los datos necesarios

para realizar estas proyecciones. Estas características hacen que para cada estudio particular resulte más adecuado un tipo de datos u otro.

Los métodos de regionalización estadística disponibles en el visor de escenarios de AdapteCCa (MLR-ANA+QDM para temperatura y DeepESD para precipitación) han sido seleccionados tras una minuciosa evaluación e intercomparación de numerosos métodos de regionalización estadística, incluyendo los usados en el AR5 (Análogos y Regresión). Para más detalle consultar Correa y otros (2024).

6. Caracteriza adecuadamente la incertidumbre:

Las proyecciones climáticas o estimaciones de la evolución futura del clima de la Tierra en escalas temporales decadales y seculares vienen afectadas por diferentes fuentes de incertidumbre, que pueden agruparse en tres categorías principales:

1. **Incertidumbre asociada al escenario socioeconómico futuro:** Esta incertidumbre está asociada a los posibles trayectorias futuras de emisiones y concentraciones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y aerosoles. Los distintos escenarios se definen para caracterizar trayectorias plausibles representativas de distintos modelos de sociedad, con mayor o menor esfuerzo de adaptación y mitigación y distintos ritmos de emisión por las actividades humanas y a sus complejas interacciones con la biosfera y la hidrosfera. Las simulaciones de las que derivan las proyecciones que se incluyen en el Visor de Escenarios de AdapteCCa[1] —utilizadas como base científica para el sexto informe de evaluación del IPCC (AR6)—, se basan en distintos escenarios socioeconómicos y trayectorias de concentración (Shared Socioeconomic Pathways, SSPs, and Representative Concentration Pathways, RCPs). Hasta aproximadamente 2030, las concentraciones de los GEI en los varios SSP-RCP difieren sólo marginalmente y, en consecuencia, la incertidumbre debida al escenario es pequeña. Su contribución relativa a la incertidumbre total se incrementa en las décadas futuras, convirtiéndose en la fuente dominante de incertidumbre para la temperatura para el final del siglo XXI.

2. **Incertidumbre asociada a la modelización:** es una incertidumbre resultante de las limitaciones en: a) nuestra comprensión del sistema climático, b) nuestra habilidad para simularlo y c) los modelos climáticos que, aunque basados en las mismas leyes físicas, utilizan diferentes aproximaciones, hecho que da lugar a diferencias en la simulación. Mientras que la incertidumbre de los modelos se incrementa a lo largo del siglo XXI, su contribución relativa a la incertidumbre total generalmente muestra un pico o meseta alrededor de la mitad del siglo.

3. **Incertidumbre asociada a la variabilidad natural:** surge de la variabilidad climática interna debida a la naturaleza no lineal del sistema climático y su interacción con los mecanismos de forzamientos externos naturales incluyendo las futuras erupciones volcánicas y los cambios en la radiación solar incidente. La importancia relativa de la

[1] Nótese que todavía no existen simulaciones de modelos regionales anidadas de Euro-CORDEX para CMIP6 por lo que la información de Euro-CORDEX CMIP5 sigue siendo la información regional de cambio climático más avanzada disponible.Nótese que existe una nueva generación de proyecciones globales que han sido utilizados en el Sexto Informe del IPCC (AR6) con una nueva generación de modelos climáticos globales y con un nuevo conjunto de escenarios, los Socioeconomic Shared Pathways (SSPs). Sin embargo, todavía no existen simulaciones de modelos regionales anidadas por lo que la información de Euro-CORDEX CMIP5 sigue siendo la información regional de cambio climático más avanzada disponible.

incertidumbre de la variabilidad interna generalmente decrece con el tiempo a medida que la incertidumbre debida al escenario o a la modelización aumenta.

También contribuyen a la incertidumbre las distintas técnicas de regionalización, encargadas de aumentar la resolución espacial de las proyecciones climáticas generadas por los modelos globales.

A fecha de hoy, la demanda más acuciante de la sociedad para los estudios de impacto se restringe a los primeros decenios del siglo XXI. Para este periodo, la relación señal de cambio climático/ruido emergente es más débil que la que existe a finales del siglo XXI. La cuantificación de las incertidumbres constituye, por tanto, una necesidad para que las evaluaciones de impactos puedan ser realmente útiles en las decisiones a tomar por los gestores y políticos.

El escenario de emisión es la principal fuente de incertidumbre en la segunda mitad del siglo. Por ello, es necesario analizar varios escenarios (al menos dos, por ejemplo SSP2-4.5 y SSP3-7.0, para obtener una horquilla de resultados, correspondientes a escenarios de emisiones medias y altas, respectivamente) para caracterizar adecuadamente la incertidumbre y tener una representación plausible del clima futuro. Hasta mediados de siglo, la incertidumbre que aportan los distintos modelos es similar o incluso superior a la de los escenarios, sobre todo a nivel regional, por lo que algunos estudios se basan en un único escenario. Sin embargo, existe una gran variabilidad de resultados dependiendo de la variable considerada y la región de interés, por lo que un tratamiento adecuado de la incertidumbre ha de considerar siempre los resultados de distintos escenarios para poder caracterizar el clima futuro.