

Clima futuro en entornos marítimo-portuarios: primeros resultados de una sinergia entre proyectos

Luis Torres^{1,2*}, Javier Pórtoles^{1**}, Carlos Prado-López¹, Emma Gaitán¹, César Paradinas¹, Robert Monjo¹

¹Fundación para la Investigación del Clima (FIC) [<https://www.ficlima.org/>]

²Sigillum Veri S.L.

*email: ltm@torvento.com

**email: javier@ficlima.org

Introducción

Los puertos son susceptibles de sufrir los impactos del cambio climático, tales como variaciones de oleaje, aumentos del nivel del mar, cambios en la frecuencia de tormentas severas y olas de calor. Debido a estos fenómenos, las infraestructuras y las operaciones portuarias pueden verse seriamente afectados, y en algunas ocasiones se puede llegar incluso a su paralización, alterando de esta manera factores como la industria o la distribución de mercancías.

El proyecto titulado “Evaluación del Cambio CLimático en Puertos del Sudoeste de Europa” (ECCLIPSE) tiene como objetivo principal el desarrollo de herramientas que permitan a los puertos del espacio SUDOE hacer frente a las amenazas sobre sus infraestructuras y operativa como consecuencia del cambio climático. El espacio SUDOE es un programa de cooperación territorial del sudoeste europeo que apoya el desarrollo de proyectos de cooperación transnacional en materia de innovación, medioambiente, tecnologías de la información y desarrollo sostenible en España, Portugal, Francia y Gibraltar a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Por otro lado, el proyecto *Climate Risk Information for Supporting ADaptation Planning and operAtion - Phase II* (CRISI-ADAPT II) proveerá información a escala climática y estacional de riesgos relacionados con el clima para mejorar la planificación y operación en la adaptación al cambio climático así como la validación de las medidas adoptadas para ello.

La variabilidad climática y los efectos del cambio son distintos entre los puertos del Mediterráneo, del Atlántico o del mar Cantábrico, por lo que es importante buscar sinergias entre regiones y proyectos que se enfrenten a retos similares. Este estudio proporciona los primeros resultados en el análisis de variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación, a escala local, según dos conjuntos de modelos globales de cambio climático.

Área de estudio y datos

El estudio se ha llevado a cabo en el Puerto de Valencia, que se corresponde con el caso de estudio común de ECCLIPSE y CRISI-ADAPT II. Situado al sureste del municipio, el puerto de Valencia se encuentra ubicado a 0° 18,1 longitud oeste y 39° 26,9 de latitud norte y cuenta con una superficie de 5,6 km². Limita al norte con la playa de la Malvarrosa, al sur con la desembocadura del nuevo cauce del río Turia, y está comunicado con la red de carreteras a través de la circunvalación V-30.

El Puerto de Valencia cuenta con un clima típicamente mediterráneo, con temperaturas templadas y largos periodos sin precipitaciones. La temperatura media anual ronda los 18 °C, y su ubicación y su habitual régimen de brisas hacen que las temperaturas máximas medias en meses de verano no superen los 30 °C y que las temperaturas mínimas medias en meses de invierno no bajen de los 9 °C. En situaciones de vientos moderados de poniente las temperaturas se disparan, pudiéndose superar los 40° especialmente en los meses de mayo y agosto, siendo menos frecuentes en junio y julio debido a la ausencia del poniente en estas tierras. Así, destacan 43 °C del 27 de agosto de 2010 y los 42 °C del 14 de mayo de 2015. Si bien, la estación meteorológica del puerto registró 2 grados Celsius menos ese mismo día de 2015 (40.0 °C), debido al efecto del mar.

Las precipitaciones son muy irregulares y se dan sobre todo entre los meses de septiembre y noviembre. Las situaciones que provocan los episodios de mayor precipitación suelen estar asociadas a Depresiones Aisladas en Niveles Altos (DANAs) situadas al sur. Las precipitaciones en este tipo de situaciones pueden llegar a ser potencialmente torrenciales y si, además, estas DANAs sufren un proceso de ciclogénesis mediterránea, también pueden traer consigo vientos de levante muy fuertes.

Para realizar este estudio, se han utilizado observaciones de temperatura y precipitación de la estación meteorológica Príncipe Felipe, instalada en el Puerto de Valencia en 2014, así como un modelo de reanálisis europeo de referencia (ERA5-Land) para completar la serie histórica. Además, se han utilizado dos conjuntos diferentes, de diez modelos climáticos cada uno, correspondientes a los experimentos conocidos como CMIP5 y CMIP6, por las siglas en inglés de *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP), que alimentan respectivamente el quinto y sexto informe del IPCC. Estos modelos proporcionan una idea global del cambio climático a lo largo del siglo XX y XXI pero requieren tratamientos estadísticos para traducir la señal de cambio climático a escala local. Por ello, en este estudio se aplicaron métodos de corrección del error que cometen los modelos en comparación con las observaciones históricas.

Los **modelos de reanálisis** son simulaciones numéricas que intentan reproducir fielmente las condiciones meteorológicas (atmosféricas o/y oceánicas) del pasado, día a día. Con el objetivo de generar series de valores consistentes físicamente (en el tiempo o espacio y entre variables climáticas), se combinan observaciones con modelización computacional. Gracias a las ecuaciones físicas que consideran, estos modelos permiten reconstruir la evolución del clima pasado para las décadas recientes, incluyendo además variables no observadas directamente en amplias regiones. El ERA5-Land es la última versión del modelo de reanálisis desarrollado por el Centro Europeo de Predicciones Meteorológicas a Medio Plazo (ECMWF). Tiene una resolución espacial de aproximadamente 9 km y proporciona datos a escala horaria desde 1981 hasta el presente.

Los modelos climáticos del **Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP)** son simulaciones numéricas del clima basadas en las condiciones esperadas de actividad antropogénica (emisiones de gases, aerosoles...) y natural (biológica, solar, volcánica, etc.). El objetivo de este experimento es mejorar la comprensión del clima y de sus cambios pasados y futuros desde un punto de vista multi-modelo. Para ello, se han ido desarrollando desde el inicio del proyecto (en 1995) un conjunto de modelos climáticos de diferentes instituciones de investigación de todo el mundo y se han ido introduciendo mejoras en cada versión. Las versiones que se han comparado en este estudio son la quinta (CMIP5, desarrollada entre 2010 y 2014) y la sexta (CMIP6, 2016-2020).

Resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos en la comparativa, para el caso de la temperatura máxima, muestran que existe bastante consenso entre los modelos regionalizados del CMIP5 y del

CMIP6. De acuerdo con el reanálisis, la temperatura máxima en el Puerto de Valencia en el periodo de 30 años 1981-2010 fue de 39,5 °C. El error medio del reanálisis en el periodo común (2014-2020) es cercano a -1 °C, incluso en los extremos, por lo que probablemente la máxima absoluta 1981-2010 fue de 40.5 °C.

Después de corregir el error de los modelos, el escenario medio proyecta un incremento de la máxima en 30 años de hasta los 43 °C en el periodo 2071-2100 según los modelos del CMIP5, y los 44 °C según los modelos del CMIP6. Si se cumpliera el escenario más pesimista, a mitad de siglo ya se podrían superar los 44 °C y la temperatura máxima del periodo 2071-2100 podría superar los 48 °C en el peor de los escenarios y según ambos experimentos (**Figura 1**).

En cuanto a la precipitación, encontramos más discrepancias. La precipitación máxima diaria en el Puerto de Valencia en el periodo 1981-2010 es de unos 100 mm según el reanálisis, 178 mm según la estación meteorológica de Viveros el 11 de octubre de 2007 y 124 mm el 26 de noviembre de 2016 en la estación Príncipe Felipe. Es decir, el reanálisis subestima casi la mitad de la precipitación en el periodo de referencia 1981-2010.

Viendo las proyecciones de cambio climático bajo el escenario medio, los modelos corregidos del CMIP6 sugieren que no habría grandes variaciones a lo largo del siglo, mientras que en el escenario extremo se podría **incrementar un +20%**. En cambio, los modelos del CMIP5 proyectan, en su escenario extremo, un aumento muy significativo hacia finales de siglo, pudiéndose alcanzar **el doble de la precipitación máxima diaria** durante el periodo 2071-2100.

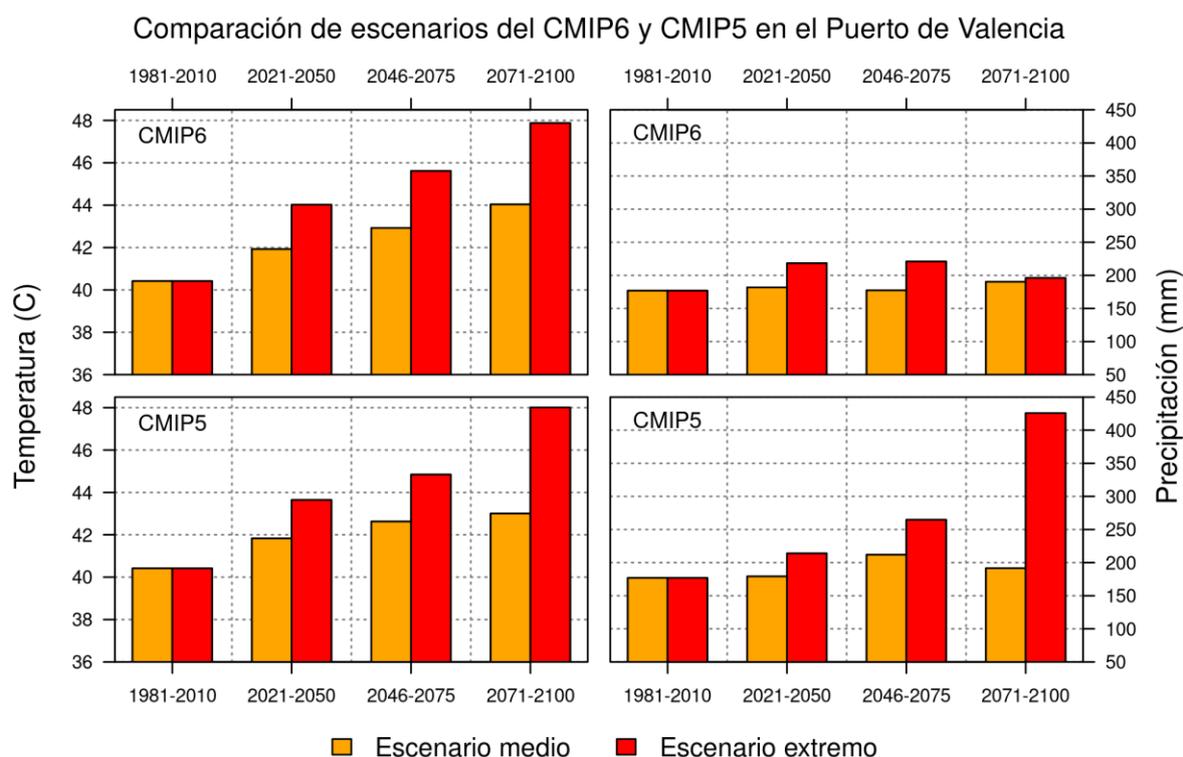


Figura 1. Comparación de los escenarios de cambio climático del CMIP6 y CMIP5 para el puerto de Valencia, según las variables de temperatura máxima y precipitación diaria con un periodo de retorno de 30 años. Las diferencias en la temperatura proyectada son menores a 1 °C, es decir, presenta menor incertidumbre que el error del Era5-Land comparado con la estación Príncipe Felipe del Puerto de Valencia. Sin embargo, las discrepancias en precipitación oscilan entre el 20% a mediados de siglo y más del 100% a finales.

A nivel europeo, si se comparan, por ejemplo, los valores extremos de temperatura máxima del periodo de 30 años 2046-2075 según el CMIP6 y CMIP5 (restando el primero al segundo), las diferencias dependen de la región (**Figura 2**). En general, se observa que los modelos del CMIP6 proyectan una temperatura ligeramente superior, sobre todo en la zona de los Balcanes y Este de Europa. En cambio, en zonas de Europa Central, los modelos del CMIP5 proyectan una temperatura extrema superior para este periodo. En cualquier caso, las diferencias entre el CMIP5 y CMIP6 son en general inferiores a 3 °C.

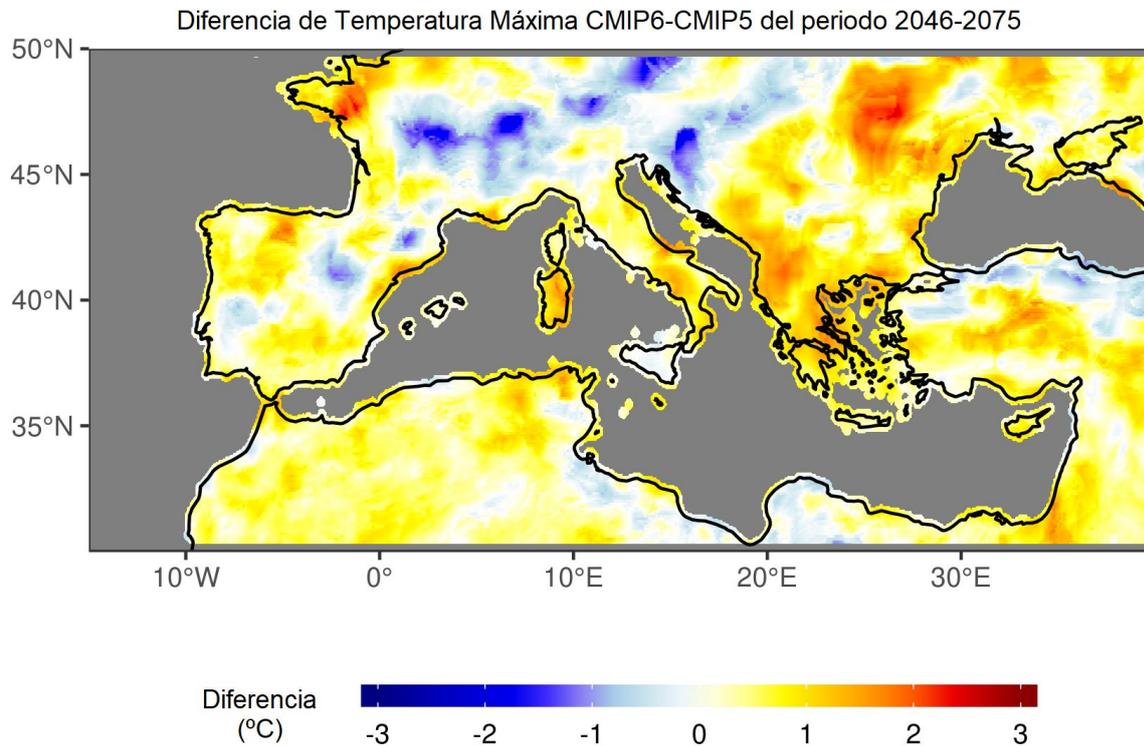


Figura 2. Diferencia entre el CMIP6 y CMIP5 de temperatura máxima proyectada para el periodo 2046-2075 (periodo de retorno de 30 años), después de aplicar un método de regionalización estadística basada en regresión multineal.

Para obtener unos resultados óptimos para un punto concreto, como es el caso del Puerto de Valencia, es necesario aplicar técnicas de regionalización o *downscaling* estadístico. De esta manera, fenómenos de escala local que afectan a un punto, tales como brisas, efecto Foehn, inversiones térmicas o precipitación orográfica son tenidos en cuenta a la hora de realizar una proyección de clima futuro, obteniéndose proyecciones más fiables que las que proporcionan las salidas directas de los modelos climáticos, cuyas rejillas no son capaces de distinguir fenómenos locales. Además, se requiere revisar de forma continua la simulación de la precipitación debido a la gran incertidumbre asociada a la variabilidad natural del clima mediterráneo. Esto justifica claramente la necesidad de actualizar y mejorar continuamente los experimentos CMIP, al menos hasta que la señal de cambio climático sea más estable en temas de precipitación.

ANEXO: Datos y metodología

Para la realización de este estudio, se han utilizado datos observados de temperatura, precipitación, viento y humedad de estaciones meteorológicas instaladas en el Puerto de Valencia, así como datos del ERA5-Land (quinta versión del reanálisis del *European Centre for Medium-Range Weather Forecast*, ECMWF) y diversos modelos climáticos del quinto y sexto informe del IPCC que se detallan a continuación:

CMIP5			CMIP6		
MODELO	ENTIDAD	RESOLUCIÓN (°)	MODELO	ENTIDAD	RESOLUCIÓN (°)
GFDL-ESM2M	National Oceanic and Atmospheric Administration (EEUU)	2 x 2,5	GFDL-ESM4	National Oceanic and Atmospheric Administration (EEUU)	1,25 x 1,00
CanESM2	Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis (Canadá)	2,8 x 2,8	CanESM5	Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis (Canadá)	2,81 x 2,79
CNRM- CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques (Francia)	1,4 x 1,4	CNRM-ESM2-1	Centre National de Recherches Meteorologiques (Francia)	1,4 x 1,4
BCC-CSM1-1	Beijing Climate Center (China)	1,4 x 1,4	BCC-CSM2-MR	Beijing Climate Center (China)	1,125 x 1,121
HADGEM2-CC	Met Office Hadley Center (UK)	1,87 x 1,25	UKESM1-0-LL	UK Met Office Hadley Center (UK)	1,87 x 1,25
MIROC-ESM-CHEM	Japan Agency for marine-Earth Science and Technology (Japón)	2,8 x 2,8	ACCESS-ESM1-5	Australian Community Climate and Earth System Simulator (ACCESS)	1,87 x 1,25
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology (Alemania)	1,8 x 1,8	MPI-ESM1-2-HR	Max Planck Institute for Meteorology (Alemania)	0,938 x 0,935
MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute (Japan)	1,2 x 1,2	MRI-ESM2-0	Meteorological Research Institute (Japan)	1,125 x 1,121
NorESM1-M	Norwegian Climate Centre (Noruega)	2,5 x 1,9	NorESM2-MM	Norwegian Climate Centre (Noruega)	1,25 x 0,94
			EC-EARTH3	EC-EARTH Consortium (UE)	1,25 x 1,00