

JUAN JAVIER MIRÓ^a

MARÍA JOSÉ ESTRELA^b

EDUARDO AGOSTA SCAREL^c

DAVID CORELL^d

CAMBIO CLIMÁTICO Y POTENCIALIDAD PLUVIOMÉTRICA EN EL CONTEXTO DE LAS LLUVIAS TORRENCIALES DE OCTUBRE DE 2024 EN VALÈNCIA

RESUMEN

El episodio torrencial de octubre de 2024 constituye un evento excepcional, no solo sobre el registro histórico y horario, sino también por mostrar características inusuales que parecen relacionarse con efectos del cambio climático. Este, además de asociarse a una DANA de configuración clásica, contó en superficie con un largo recorrido marítimo desde zonas del Mediterráneo central con temperaturas que sobrepasaban los 24 °C a finales de octubre. De modo que el estudio pone en relación el episodio con la tendencia a aumentar los valores de TSM sobre el Mediterráneo, y en especial con el fuerte incremento del contenido de agua disponible en la columna troposférica, que se constata en el estudio a partir de productos de reanálisis (NCEP y ERA5). Así, este episodio parece situarse en el contexto mayor de una tendencia de base al aumento de la potencialidad pluviométrica, y a la “subtropicalización” de condiciones climáticas, dentro del ámbito del este-sureste peninsular. Asimismo, este estudio también

^a Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Universidad de Alicante. Carretera de San Vicente del Raspeig, s/n. 03690 San Vicente del Raspeig-Alicante. jj.miro@ua.es, <https://orcid.org/0000-0003-2167-1228>

^b Facultat de Geografia i Historia, Universitat de València. Av. Blasco Ibáñez, 28. 46010 Valencia. majoesna@uv.es

^c Departamento de Ecología Integral de la Conferencia Episcopal Española. Calle de Añastro, 1. 28033 Madrid. ecologiaintegral@conferenciaepiscopal.es, <https://orcid.org/0000-0003-1182-8877>

^d Facultat de Geografia i Historia, Universitat de València. Av. Blasco Ibáñez, 28. 46010 Valencia. david.corell@uv.es, <https://orcid.org/0000-0002-1826-8625>

Fecha de recepción: 19-09-2025. Fecha de aceptación: 29-10-2025.

constata que ello está en línea con proyecciones climáticas a escenarios futuros de cambio climático que indican un aumento de los extremos pluviométricos en el área de estudio para los próximos años. Así, el estudio presenta proyecciones de extremos diarios de precipitación por *downscaling* estadístico, con modelos del CMIP6, para el ámbito de la zona cero del episodio. Proyecciones que ya para el escenario más cercano y actualmente en curso señalan la posibilidad de extremos diarios de precipitación un 50 % más elevados para la precipitación más extrema esperable en un periodo de 31 años con respecto a la serie de referencia (1985-2015). Es pues importante trasladar a la sociedad la conclusión de que eventos pluviométricos extremos y sus consecuencias pueden incrementar su frecuencia en los próximos años.

PALABRAS CLAVE: extremos pluviométricos, cambio climático, vapor de agua, Mediterráneo, escenarios futuros.

CLIMATE CHANGE AND RAINFALL POTENTIAL IN THE CONTEXT OF THE TORRENTIAL RAINS OF OCTOBER 2024 IN VALÈNCIA

ABSTRACT

The torrential episode of October 2024 constitutes an exceptional event, not only based on historical records and hourly data, but also because it displays unusual characteristics that appear to be related to the effects of climate change. In addition to being associated with a classic cut-off low configuration, it had a long maritime path from areas of the central Mediterranean with temperatures still exceeding 24 °C at the end of October. The study therefore links the episode to the trend of increasing SST values over the Mediterranean, and in particular to the sharp increase in the water content available in the tropospheric column, which is confirmed in the study based on reanalysis data (NCEP and ERA5). Thus, this episode seems to be placed within a general trending context toward increased rainfall potential and the “subtropicalization” of climatic conditions in the east-southeast of the peninsula. This study also finds that this is in line with climate projections for future climate change scenarios that indicate an increase in rainfall extremes in the study area for the coming years. The study presents projections of daily precipitation extremes using statistical downscaling with CMIP6 models for the area around ground zero of the event. Projections for the nearest and currently ongoing scenario indicate the possibility of daily precipitation extremes that are 50 % higher than the most extreme precipitation expected over a 31-year period with respect to the reference series (1985-2015). It is therefore important to convey to society the conclusion that extreme rainfall events and their consequences may increase in frequency in the coming years.

KEYWORDS: rainfall extremes, climate change, water vapor, Mediterranean, future scenarios.

INTRODUCCIÓN

Los episodios catastróficos asociados a lluvias intensas son, *per se*, una característica propia del clima mediterráneo y, particularmente, de la fachada mediterránea de la península ibérica, donde la irregulari-

dad pluviométrica es máxima (Peñarrocha et al., 2002; Martín-Vide, 2004; Sánchez-Almodóvar et al., 2025). Irregularidad que, además, se asocia con patrones circulatorios bastante particulares, de escala regional (Lopez-Bustins et al., 2020).

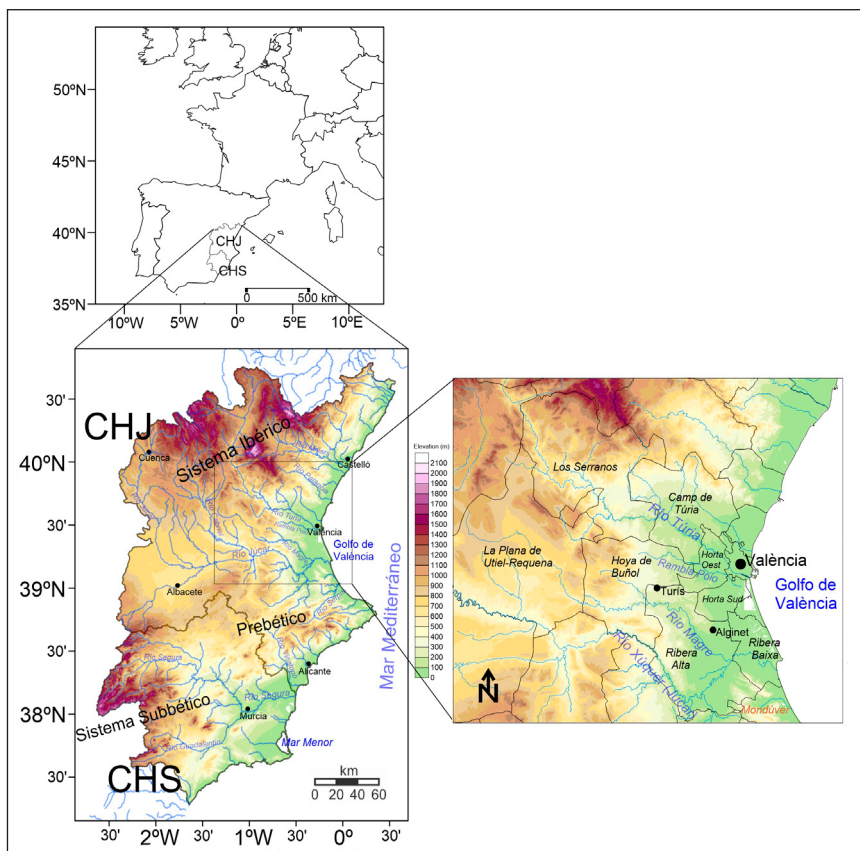
Eventos de este tipo se han ido sucediendo durante milenios y, sin duda, explican en gran parte el modelado morfogenético del territorio. Extremos que, en los últimos cientos de años y decenios, se muestran con una recurrencia totalmente no lineal, caótica y escurridiza a la detección de tendencias significativas. Sin embargo, hoy ya no pueden interpretarse como anomalías aisladas, sino como el resultado de complejas interacciones entre condiciones oceánicas y atmosféricas que, en un escenario de calentamiento global, se refuerzan mutuamente (Serrano-Notivoli et al., 2018; Khodayar et al., 2022). Así, se observa un patrón en el que, aunque el número de días de lluvia tiende a reducirse, los episodios se concentran en lapsos más breves y con una intensidad creciente, especialmente en el litoral oriental ibérico (Molinié et al., 2016; Serrano-Notivoli, 2024). Pero este cambio plantea además retos añadidos, ya que los impactos no dependen únicamente de la peligrosidad natural, sino también de la creciente exposición y vulnerabilidad derivadas de la ocupación intensiva del territorio. Y a esto se une que proyecciones recientes apuntan a incrementos cercanos al 15 % en la precipitación máxima anual en 24 h, con especial incidencia en la zona del golfo de València, y con la posibilidad de intensificaciones a escalas horarias en escenarios futuros (Miró et al., 2018, 2022).

En este contexto, una cuestión actual es si realmente el cambio climático, vía mayor cantidad absoluta de vapor de agua en la troposfera y más energía latente disponible, está proporcionando mayor potencialidad para estos eventos. Tal caso se traduciría sobre todo en la posibilidad de tener mayores intensidades horarias de precipitación, siempre que coincidieran en un evento las mismas características y configuración.

Las lluvias torrenciales de València de octubre de 2024

El evento de torrencialidad extraordinaria de finales de octubre de 2024, y la catástrofe ocasionada en gran parte de l'Horta Sud y l'Horta Oest (inmediaciones de la ciudad de València), se suma a una larga tradición de temporales extremos en la fachada mediterránea oriental. La “gran riada” de València de 1957 ha sido reconstruida hidrológica y sedimentológicamente, mostrando la vulnerabilidad histórica del Turia y de la llanura aluvial urbana (Puertes y Francés, 2016). El 20 de octubre de 1982, la rotura del embalse de Tous desencadenó una de las mayores catástrofes socionaturales del siglo xx en España y marcó un punto de inflexión en la gestión del riesgo de inundación (Serra-Llobet et al., 2013). Pocos años después, el 3-4 de noviembre de 1987, el episodio de La Safor registró el récord nacional oficial de 24 h con 817 mm en Oliva y acumulados extraordinarios en su entorno (Santos-Burguete et al., 2019).

Figura 1. Mapa de localización y encuadre del área de estudio. En el *zoom* derecho que aproxima la zona cero se añaden topónimos de interés que son mencionados a lo largo del texto



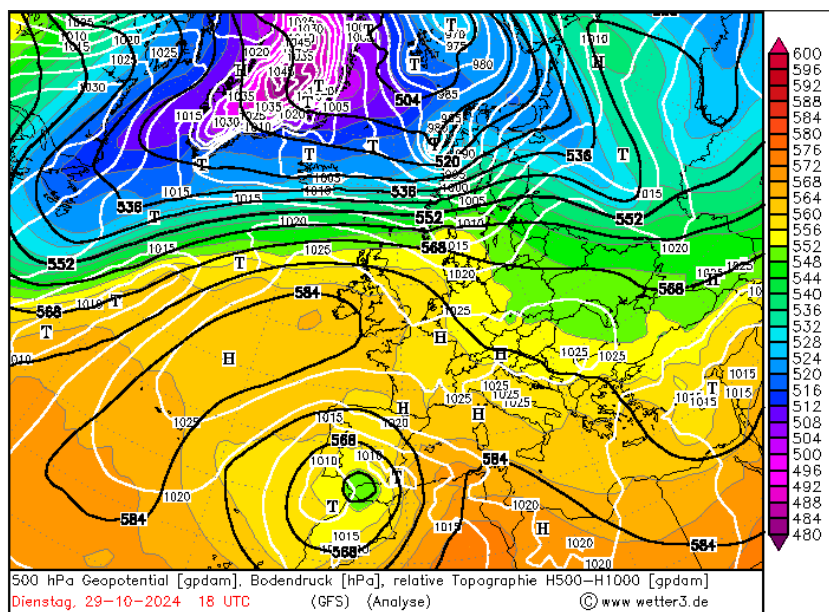
Se trata de un episodio muy centrado en torno al día 29 de octubre, quizás comenzando en la madrugada del 28 al 29 por el interior sur de València, para centrarse después varias horas en una serie de trenes convectivos que se fueron desplazando de sureste a noroeste. El cual comenzó por la cuenca baja del río Magro y el interior norte del macizo del Mondúver ya desde la mañana del 29, con intensidades de hasta 80 mm; para ir desplazándose por la tarde hacia el noroeste y ampliando su intensidad y territorio alcanzado, afectando a la cuenca alta del río Magro, y sobre todo a las cabeceras adscritas a la rambla del Poio, donde se alcanza alta persistencia y acumulados puntuales superiores a 600 mm (>700 mm muy puntualmente en Turís). Asimismo, también se extendió con virulencia hacia el altiplano de Requena-Utiel, Los Serranos y otras partes de la cuenca media del Turia, conforme el conjunto convectivo fue engrosando y se fue desplazando al interior, aunque progresivamente con menos energía potencial y agua disponible, e intensidades más moderadas, aún de cierta persistencia, en dirección a Ademuz, Cuenca y Albarracín.

Aunque el episodio ya fue retirándose de València en la madrugada del 30, todavía durante el día 30 afectó notablemente a la provincia de Castellón, con máximos pluviométricos que sobrepasaban los 200 mm en puntos del interior y norte.

La situación se caracterizó por una DANA clásica y muy bien formada entre el sur de la península ibérica y Gibraltar, con un embolsamiento de aire frío de -22°C a unos 5.500 m de altitud (figura 2). Formó posteriormente una baja superficial de sotavento (por efecto del Atlas sobre la advección primaria) entre Alborán y Argel, impulsando viento puro de levante en superficie, con largo recorrido marítimo sobre el Mediterráneo. Y aunque la TSM más cercana al litoral valenciano rondaba los 22°C , el recorrido marítimo se desplazó sobre masas de agua más orientales por encima todavía de 24°C . De cualquier manera, son datos de TSM con anomalía positiva de 1°C o más por encima de lo normal en la época. Todo lo cual condujo a una alta disponibilidad de agua precipitable, de hasta 35 kg/m^2 , en la columna troposférica, sobre el área más afectada.

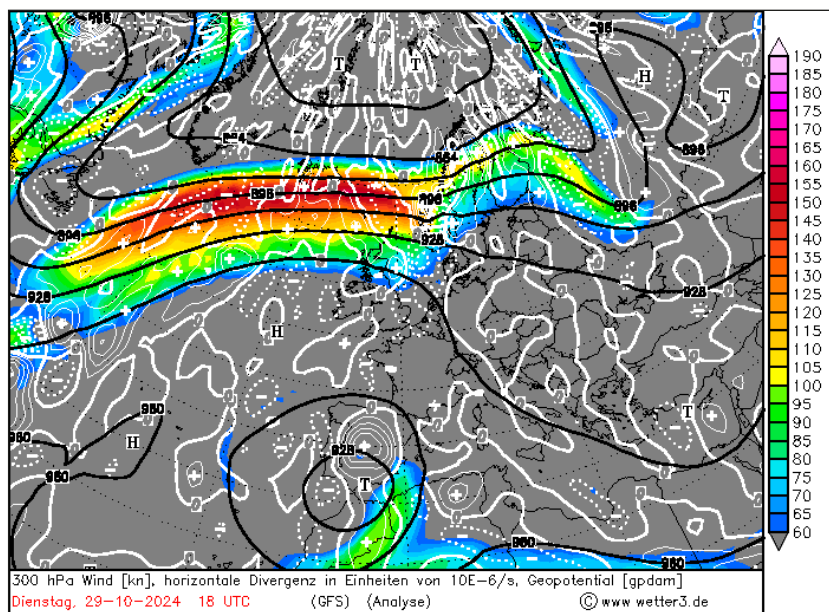
Sin embargo, en capas medias y altas de la troposfera predominaba un flujo del sureste propio de la rama ascendente de la DANA (explicando el desplazamiento del conjunto convectivo en dirección noroeste), así como teníamos instalado justamente sobre el área de mayor afección un potente campo de divergencia a 300 hPa (figura 3), propiciando la succión del aire cálido y húmedo que entra en superficie desde el mar hacia capas altas en las zonas de disparo.

Figura 2. Mapa de superficie (líneas blancas), altitud geopotencial a 500 hPa (negras) y topografía relativa entre 1.000 y 500 hPa (colores) en decámetros, para el 28 de octubre de 2024 (0 h)



Fuente: GFS vía wetter3.de.

Figura 3. Mapa mostrando los campos de divergencia horizontal (líneas blancas) y la fuerza de flujo que la acompaña (colores), en la superficie geopotencial de 300 hPa (en decámetros), para el 28 de octubre de 2024 (0 h)



Fuente: GFS via wetter3.de.

Aquí, los detalles locales que determinan los puntos exactos de inicio del disparo vertical son importantes. Y, probablemente, los efectos hidrodinámicos en torno al macizo del Mondúver, como el aumento local de la vorticidad relativa a sotavento del macizo o en sus pequeños valles internos, tuvieron un papel importante. Así, indicios de ello fueron los fenómenos de alta vorticidad local, tirando fuertemente de la entrada de aire húmedo desde el litoral mediterráneo hasta la línea interior de disparo, con vientos fuertes, que fueron observados en el primer transecto de los cumulonimbos desde el noroeste del Mondúver hacia l'Horta Sud y la Foia de Bunyol.

No hay duda de que la gravedad y naturaleza de los efectos sufridos no se explicarían del todo sin la elevadísima ocupación humana de estas zonas inundables y la propia intervención humana sobre el avenamiento hídrico. Es así paradójico que el cauce artificial del bajo Turia, que lo desvía de València ciudad y lo capacita en volumen hídrico soportado, ha tenido, sin embargo, efectos contradictorios ante las inundaciones laminares. Mientras que ha protegido enteramente a la ciudad de cualquier inundación que venía del otro lado del cauce, ha hecho, sin embargo, de barrera, dificultando el drenaje natural de la inundación y agravando sus efectos en el lado afectado. Asimismo, cabe también tener en cuenta que, quizás por suerte para el núcleo central de València ciudad, a diferencia de otras ocasiones esta vez el episodio no afectó tanto a la propia cuenca media-baja del Turia y el Carraixet.

DATOS Y MÉTODOS

El presente estudio ha contemplado el uso de múltiples fuentes y bases de datos complementarias entre sí.

En primer lugar, se dispone de una amplia base de datos diarios de precipitación, a partir de una base completa y homogénea que incluye la información de 8.246 series de precipitación diaria en toda la península ibérica y Baleares, según técnicas testadas en Miró et al. (2017), considerando en el presente caso más de 1.200 series para la interpolación de datos de precipitación total del episodio sobre el territorio de las confederaciones hidrográficas del Júcar y Segura (CHJ-CHS), que incluyen observatorios de las redes de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), la Asociación Valenciana de Meteorología (AVAMET) y el Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR-IVIA). Dicha base de datos se ha utilizado esencialmente para interpolar los acumulados totales del episodio para todo el conjunto de las cuencas hidrográficas CHJ y CHS con la mayor densidad de información posible.

Sin embargo, en este caso, la disponibilidad de intensidades horarias de la precipitación es crucial para entender el comportamiento de la hidrografía y los efectos catastróficos que tuvo el episodio. Por ello, en segundo lugar, se ha utilizado la base de datos minutales completa de AVAMET, con todos sus intervalos de registro temporal original, a fin de poder aplicar sumatorios móviles en ventanas de tiempo específicas, haciéndose uso para ello de 580 estaciones, que ya no cubren bien las cuencas CHJ y CHS, pero aún sí por entero el territorio de la Comunitat Valenciana y algunos puntos adicionales limítrofes.

Sin embargo, aun cuando hoy por hoy la red de AVAMET es la que mayor densidad de estaciones ofrece para datos horarios en el conjunto de la Comunitat Valenciana, para el episodio de estudio se da la circunstancia de que las intensidades horarias puntualmente más elevadas fueron registradas por la estación automática en Turís de AEMET y la red local de automáticas de SISRITELE. Por lo que, para tener también en cuenta de alguna manera este hecho, alternativamente se ha hecho también uso del conjunto de datos horarios a intervalos fijos puestos a disposición publica por Beguería et al. (2024), denominado *Ground records and spatial fields of the 2024/10/29 extreme precipitation event in Valencia, Spain*, disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/374208> (<https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/16716>), que aporta detalle sobre el área concreta más afectada. Según la documentación de dicho *dataset*, los registros originales se obtuvieron de diferentes redes pluviométricas que operan en la provincia de València, incluyendo AEMET, la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), AVAMET, SISRITELE y la estación municipal de Torrent, incluyendo un total de 225 estaciones. Aunque para el caso concreto de las intensidades máximas en intervalos de 10, 20, 30 y 60 minutos, la información se generó a partir de 190 estaciones de la red AVAMET.

A partir de la base de datos ofrecida por Beguería et al. (2024) se ha generado para el presente estudio una interpolación espacial de la precipitación acumulada en tramos fijos de una hora, para cada una de las 24 h del día 29 de octubre de 2024. Y, adicionalmente, una distribución de intensidades máximas en 10, 20, 30 y 60 min.

En cualquier caso, la caracterización exacta del intervalo temporal con el máximo acumulado es dificultosa, ya que puede darse en una ventana a caballo de intervalos temporales fijos (Camarasa-Belmonte

et al., 2010). Es por ello por lo que en el presente estudio se intenta ir un poco más allá al contemplar el concepto de suma móvil minutil para caracterizar precipitación máxima acumulada en intervalos de 1, 6 y 12 h, respectivamente. Ello se ha realizado a partir de la base de datos minutil completa de AVAMET (580 estaciones). Partiendo de que el lapso de registro minutil difiere según la estación de AVAMET (intervalos de 5, 10 min u otros no coincidentes en el minuto exacto de registro), el procedimiento seguido para ello ha sido el de convertir primero todos los datos a exactamente minutales. Así, si el intervalo de registro de una automática fue, por ejemplo, de 5 min, el valor registrado se repartió proporcionalmente entre cada uno de los 5 min que representa el lapso temporal. Y, a continuación, se aplicó la ventana de suma móvil de 60 min sobre la totalidad del periodo que duró el episodio. De modo que de todos los valores así calculados minuto a minuto se extrajo el valor máximo registrado entre el 28 de octubre y el 30 de octubre de 2024. La gran ventaja de este enfoque es la obtención del máximo real en 60 min (1 h) de todo el episodio. Y lo mismo se realizó para el intervalo de 6 h (suma móvil de 360 min) y 12 h (ídem 720 minutos).

Las interpolaciones generadas a partir de estos datos horarios de AVAMET se realizaron en el mismo marco territorial (CHJ-CHS), formato y escala de valores/colorimetría que la interpolación obtenida para la precipitación total del episodio entre el 28 y el 30 de octubre de 2024 (figura 4). Aunque, como se ha explicado antes, cabe tener aquí en cuenta que las interpolaciones de datos horarios, a diferencia de los diarios que conforman la interpolación de la precipitación total del episodio, son menos representativas fuera de la Comunitat Valenciana.

Aparte de las bases de datos empleadas para series temporales observadas, se han empleado para abordar la discusión de resultados, en el contexto actual de cambio climático, datos procedentes de los reanálisis ERA5, NCEP/NCAR y datos de TSM procedentes del NOAA/NCEI *Optimum Interpolation Sea Surface Temperature* (OISST).

Asimismo, se ha realizado un proceso de *downscaling* estadístico sobre series concretas. Se trata de una técnica que permite el ajuste de los datos proporcionados por las rejillas gruesas de los GCM globales a la densidad de probabilidad real de los datos reales observados en la escala local (Mearns, 2009; Kotamarthi et al., 2021), lo que es crucial para la correcta caracterización de extremos. Para ello hay una multiplicidad de técnicas estadísticas disponibles (por ejemplo, Sen Gupta y Tarboton, 2016; Kotamarthi et al., 2021; Quesada-Chacón et al., 2022; Soares et al., 2024). En el presente caso se ha empleado a tal fin la herramienta LARS-WG (Semenov, 2008; Semenov y Stratonovitch, 2015), en su versión 8 más reciente (2025), para realizar *downscaling* estadístico sobre series observadas en histórico de modelos de proyección a escenarios futuros de cambio climático. Y se utilizó en este caso el set más reciente disponible del esfuerzo global *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP) en su fase 6, esto es, CMIP6 (Eyring et al., 2016). Su infraestructura de modelos de proyección escenarios futuros se ha vuelto de hecho esencial para el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y otras evaluaciones climáticas internacionales y nacionales. En su informe *Sixth Assessment Report -AR6* (IPCC, 2023) se determinan varios escenarios de proyección, o *Shared Socioeconomic Pathways* (ssp), en distintos grados, desde el de menor polución o *camino verde* (ssp1) hasta el extremo de desarrollo solo basado en combustibles fósiles (ssp5). Para el caso del presente estudio, se ha optado por el escenario

moderado (ssp245), considerándolo como el más probable en el corto-medio plazo, ya que en este caso se ha utilizado como marco temporal de proyección el muy corto plazo (representativo de 2020 a 2040) y el corto-medio plazo (representativo de 2030 a 2050). Consideramos que a más largo plazo probablemente el nivel de incertidumbre para precipitaciones sobrepase el valor intrínseco de la proyección.

La confianza del *downscaling* estadístico se asumió con el uso del test KS, para comparar la distribución real observada con la distribución generada por *downscaling* a través de LARS-WG, gracias al uso de un periodo de referencia para ello con registro histórico real de precipitaciones diarias para el punto objetivo. Asimismo, se probó el error sistemático (sesgo) y el error aleatorio de la distribución estimada respecto la real, prestando especialmente atención a los percentiles extremos. Dicho error (no mayor de $\pm 3\%$) y la prueba de distribución, junto con su p-valor, se consideraron suficientemente buenos para considerar como representativos de la realidad local los resultados frutos del *downscaling*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

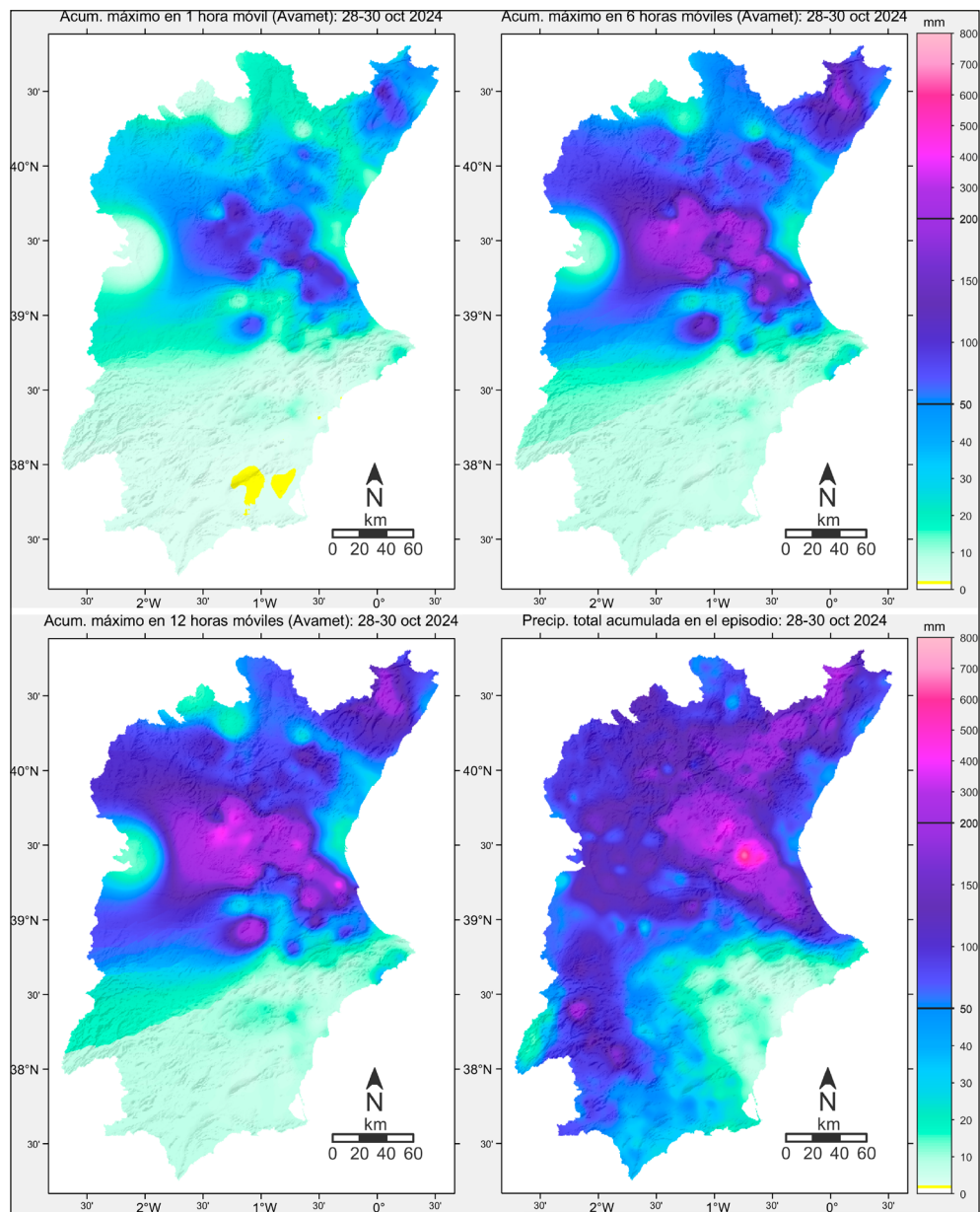
Caracterización de la magnitud pluviométrica del episodio

La distribución espacial, temporal y volumétrica del episodio se ve bien caracterizada en la figura 4. La dimensión total del episodio en cuanto a acumulado total de precipitación se aprecia abajo a la derecha de la figura, que en este caso contempla plena cobertura de estaciones en la totalidad de las cuencas hidrográficas del Júcar y Segura. Aunque se trata de un acumulado entre el 28 y 30 de octubre de 2024, para la zona cero de València se concentró prácticamente toda en el día 29, sin desdeñar también acumulados muy importantes en Castellón, mayoritariamente concentrados ya en el día 30. En todo caso, se aprecia que una zona relativamente amplia de la zona cero registró más de 600 mm, siendo los datos mayores a 700 mm ya mucho más puntuales. Mientras que una zona mucho mayor del centro, norte e interior de València, así como del interior de Castellón, registró un acumulado superior a 200 mm.

En la dimensión temporal, hasta llegar al acumulado total del episodio, la figura 4 representa tres estadios temporales previos de precipitación máxima alcanzada en una ventana móvil de 1, 6 y 12 h, respectivamente, aunque solo con las estaciones de la red AVAMET, con lo que la interpolación es menos representativa conforme nos alejamos del territorio propiamente valenciano, pero cubriendo bien las zonas de mayor afección. Mientras que encontramos máximos de 1 h superiores a 100 mm en un amplio sector de la zona cero, y de 150 ya muy puntualmente, en un intervalo de 6 h encontramos áreas con más de 300 mm, y con más de 400 mm en 12 h.

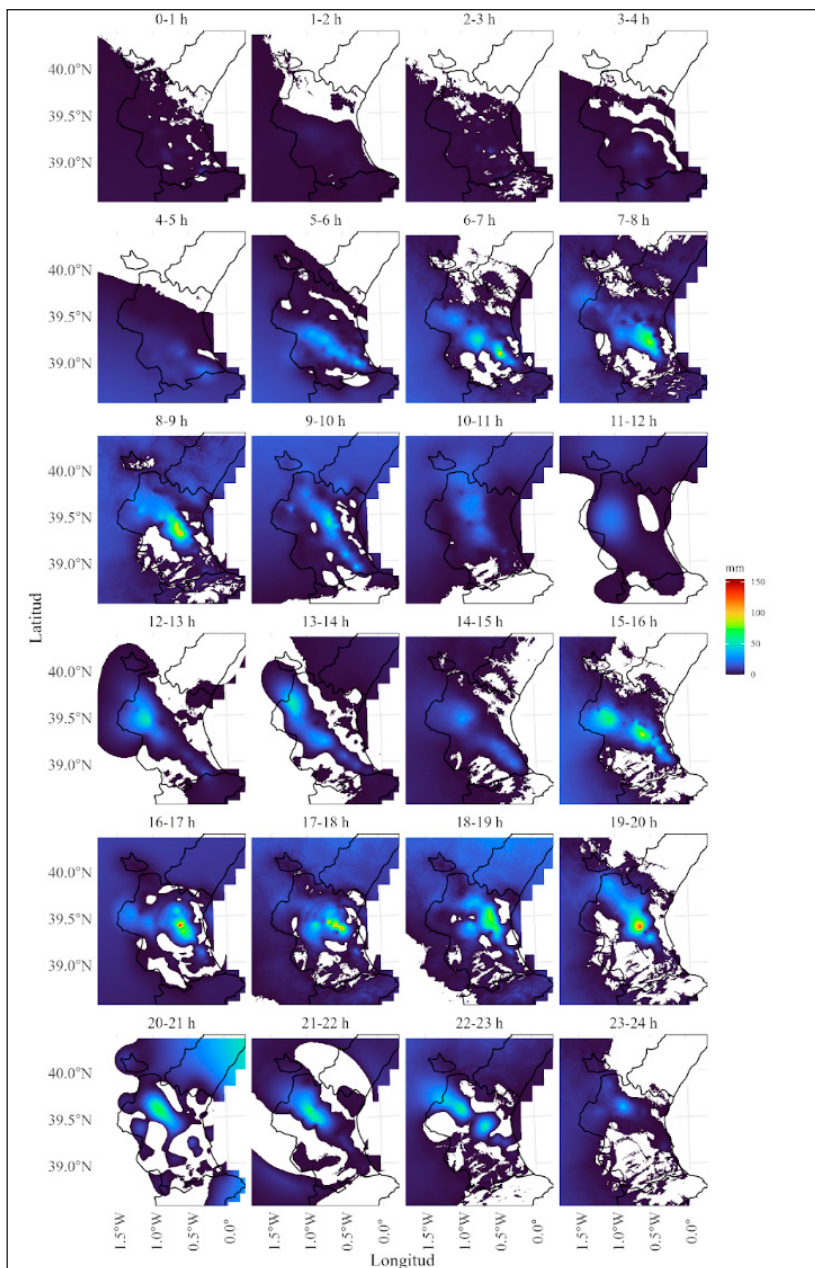
Desde la perspectiva de la evolución del episodio/hora en el caso concreto del día 29 de octubre, y utilizando esta vez la fuente de datos procedente de Beguería et al. (2024), se ha elaborado la figura 5, centrándola en la zona más afectada por el episodio.

Figura 4. Precipitación registrada entre el 28 y 30 de octubre de 2024 sobre el territorio combinado CHJ y CHS. Arriba izquierda, precipitación máxima alcanzada en 1 h (solo AVAMET). Arriba derecha, ídem: 6 h. Abajo izquierda, ídem: 12 h. Abajo derecha, acumulados totales por episodio con datos diarios de AEMET, AVAMET, SiAR y elaboración propia según Miró et al. (2017)



Fuente: elaboración propia.

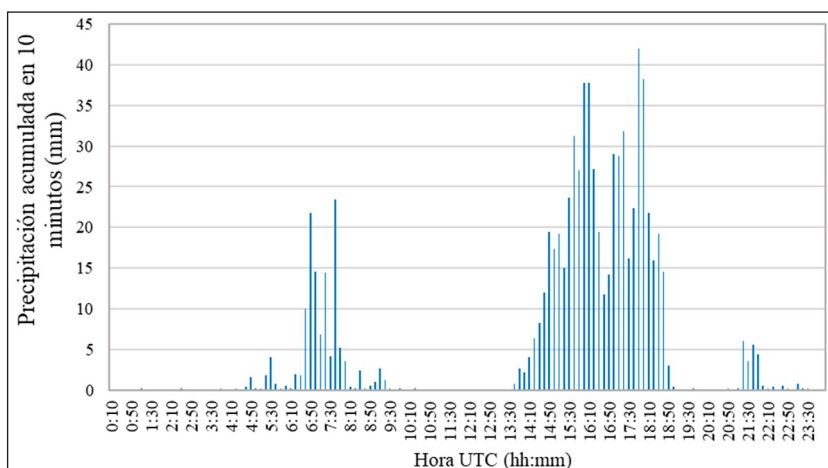
Figura 5. Distribución espacial de la precipitación acumulada en tramos de 1 h (hora local) durante el 29 de octubre de 2024 en la zona más afectada por el evento de acuerdo



Fuente: datos procedentes de Beguería et al. (2024) y elaboración propia.

Como se puede observar, la precipitación se originó en el sur y fue desplazándose progresivamente hacia el norte a lo largo del día 29. Posteriormente, puede observarse cómo la organización del sistema adopta una disposición alargada con orientación sudeste-noroeste. Las figuras nos muestran que las primeras intensidades importantes aparecen hacia las 06:00 h (hora local), hasta alcanzar su pico en el intervalo de 08:00 a 09:00 h, con acumulados horarios superiores a 100 mm. Tras una disminución de la intensidad durante el mediodía, el episodio se reactivó por la tarde, registrándose las intensidades más elevadas a partir de las 15:00 h. Entre las 15:00 y las 20:00 h se concentraron los máximos horarios, con valores cercanos a 150 mm en 1 h. Finalmente, en las últimas horas del día, la precipitación y su intensidad fueron descendiendo de manera progresiva. La distribución espacial en franjas horarias revela la persistencia del sistema convectivo sobre una misma región durante varias horas consecutivas, lo que explica los acumulados excepcionales alcanzados en estaciones como Turís (figura 6 –en este caso expresada en tiempo UTC–).

Figura 6. Precipitación acumulada en intervalos de 10 min (tiempo UTC) registrada en la estación de Turís-Masía de Calabarra (AEMET) el 29 de octubre de 2004



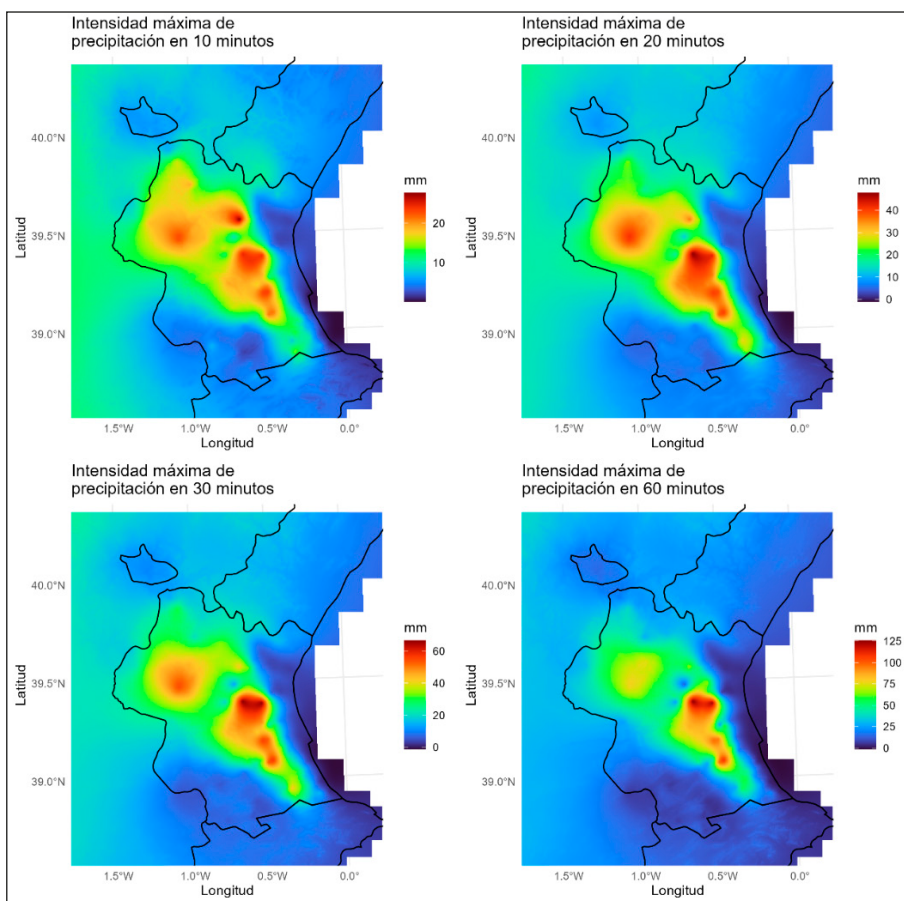
Fuente: datos procedentes de AEMET.

La estación automática de Turís (Masía de Calabarra), perteneciente a AEMET, es la estación que en el episodio reportó la mayor intensidad horaria de precipitación, con una intensidad máxima de hasta 187 mm/h, lo que se considera el mayor registro horario registrado hasta la fecha en el sector de análisis. Como se aprecia en la figura 6, se distinguen tres periodos de precipitación a lo largo del día (tiempo UTC). El primero, entre las 04:20 y las 10:20 h, alcanzó intensidades puntuales superiores a 20 mm / 10 min y acumuló un total de 127,4 mm. El segundo periodo, comprendido entre las 13:40 y las 19:00 h, fue el más relevante del episodio, con una precipitación acumulada de 620,6 mm y máximos superiores a 40 mm en 10 min. Finalmente, un tercer periodo, de menor magnitud y duración que los

anteriores, tuvo lugar entre las 20:50 y las 23:30 h, con acumulados y tasas de precipitación inferiores a los intervalos anteriores.

Por otro lado, para caracterizar espacialmente máximos pluviométricos en intervalos temporales más pequeños, de 10, 20, 30 y 60 min, se ha realizado la figura 7, en este caso a partir de los datos procedentes de Beguería et al. (2024), y también específicamente para el área centrada en la zona más afectada por el episodio.

Figura 7. Intensidad máxima de la precipitación acumulada en intervalos de 10, 20, 30 y 60 min durante el episodio del 29 de octubre de 2024 en la zona más afectada por el evento



Fuente: datos procedentes de Beguería et al. (2024) y elaboración propia.

De acuerdo con la figura 7, se observa que, respecto a la precipitación máxima en 10 min, se alcanzaron intensidades puntuales muy elevadas, superiores a 20 mm / 10 min, en amplias zonas de la provincia

de València, con máximos localizados principalmente en la zona de Turís y en puntos del interior norte de la provincia, tocando ya la cuenca alta del Turia. Para los intervalos de 20 min, las máximas intensidades, que superaron los 40 mm / 20 min en amplias zonas, afectaron igualmente al área de la comarca de la Ribera Alta, interior de l'Horta Sud, Foia de Bunyol, así como en la comarca de Utiel-Requena, todo dentro del primer transecto de los cumulonimbos desde el noroeste del Mondúver hacia el interior de l'Horta Sud, y después la zona entre Los Serranos y el altiplano de Utiel. En el caso de los intervalos de 30 min, las intensidades más destacadas, cercanas a 60 mm / 30 min, se mantuvieron, aproximadamente, en las mismas áreas. Y, finalmente, en el intervalo de 60 min se registraron los valores más altos del episodio, superiores a 100 mm / 60 min, pero reforzando ahora el componente más prelitoral en el tren convectivo desde noroeste del Mondúver al interior de l'Horta Sud, con máximos muy claros en la zona de Turís y Montserrat, y confirmando la persistencia del núcleo de precipitación extrema en dicha zona.

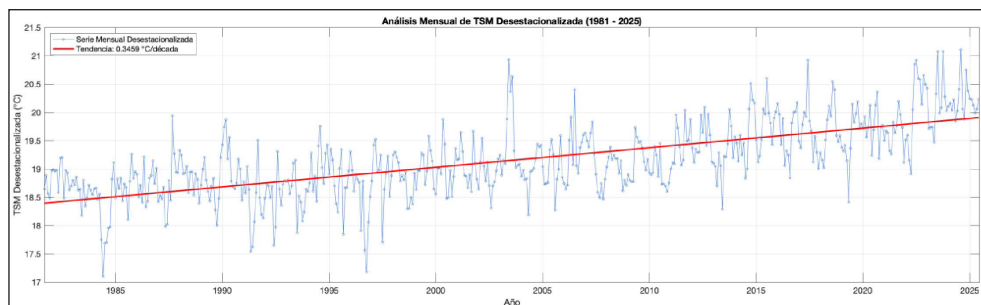
Discusión en el contexto del cambio climático

Aunque los episodios torrenciales y de alta intensidad horaria forman naturalmente parte del clima mediterráneo peninsular, la intensidad por concentración horaria de los episodios recientes se discute recientemente al hilo de los efectos que el cambio climático podría estar teniendo en los extremos pluviométricos (Zittis et al., 2021; Miró et al., 2022; Poncet et al. 2025). De hecho, ya ha sido establecida la existencia de una tendencia estadísticamente significativa al aumento de episodios torrenciales (>150 mm / 24 h) desde mediados del siglo xx hasta hoy en el caso concreto del sureste de la península ibérica que, sin embargo, no es significativa en el resto del arco mediterráneo peninsular (Miró et al., 2022).

En ese sentido, para la potencialidad pluviométrica y sus posibles cambios, el mar Mediterráneo es el aportador primario de dicha potencialidad para el área de estudio (aunque no el único), por lo que el primer enfoque debe pasar por observar la tendencia de sus temperaturas superficiales (TSM) que se relacionan con su potencial evaporativo. Y hay pocas dudas de que esta ha sido claramente ascendente desde el decenio de los ochenta hasta hoy (Pastor et al., 2020), a razón de 0,35 °C por década (figura 8), mostrando un calentamiento anómalo que ampliamente excede 1,5 °C en toda la cuenca del Mediterráneo.

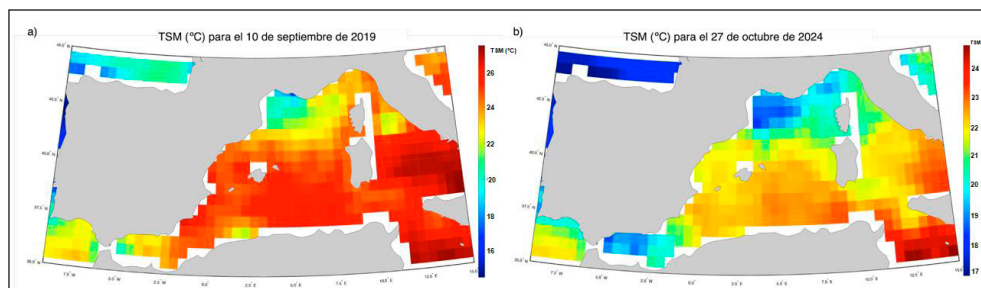
Si observamos las temperaturas superficiales (TSM) que mostraban las aguas del Mediterráneo occidental justo al inicio del episodio, y las comparamos por ejemplo con las que se registraron al inicio del episodio torrencial de septiembre de 2019 en la Vega Baja del Segura (figura 9), encontramos que en el episodio de octubre de 2024 la TSM junto al litoral valenciano era comparativamente más baja, como por otra parte es lógico al encontrarnos al final de octubre (frente mediados de septiembre en el episodio de 2019).

Figura 8. Tendencia en los datos mensuales desestacionalizados de TSM, promediada sobre el mar Mediterráneo (35°-45°N y 9°O-25°E) desde 1981 hasta la actualidad (p-valor <0,05)



Fuente: elaboración propia. Datos provistos por NOAA/NCEI Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST).

Figura 9. TSM registrada sobre el Mediterráneo occidental en los días concretos 10 de septiembre de 2019 (a) y 27 de octubre de 2024 (b)

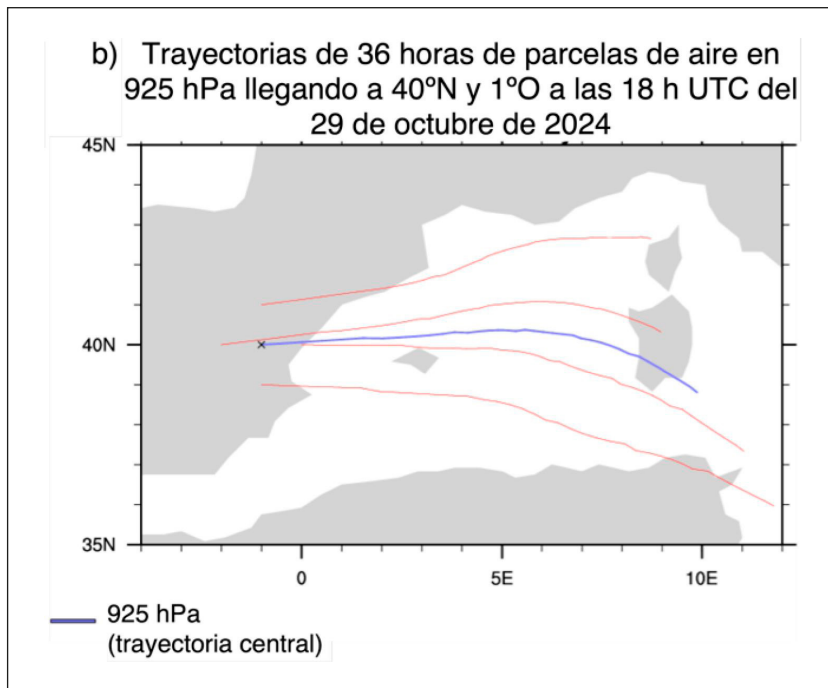


Fuente: elaboración propia. Datos provistos por OISST.

Vemos en la figura 9 que el potencial por evaporación desde la superficie marina adyacente sería mayor en el de septiembre de 2019 (26-27 °C en el mismo litoral alicantino), lo cual podría compensarse por la mayor potencia en aire frío y entidad de la DANA de 2024. Sin embargo, es importante señalar que el flujo marítimo sobre el Mediterráneo fue de muy largo recorrido sobre sus aguas en el episodio de 2024 (como ya se puede intuir en el análisis sinóptico de la figura 2), de manera que, en realidad, el flujo cargado de humedad procedía como mínimo de los mares Tirreno y Jónico, donde todavía se registraban zonas con TSM por encima de 24 °C (puntualmente 25 °C). Se trata de un hecho que ya ha sido señalado como de especial importancia en este tipo de episodios (Pastor et al., 2015).

Si vemos la trayectoria de la masa de aire en atmósfera libre representativa de capas bajas (figura 10), parece confirmarse esta procedencia desde el Mediterráneo central desde las 36 h anteriores.

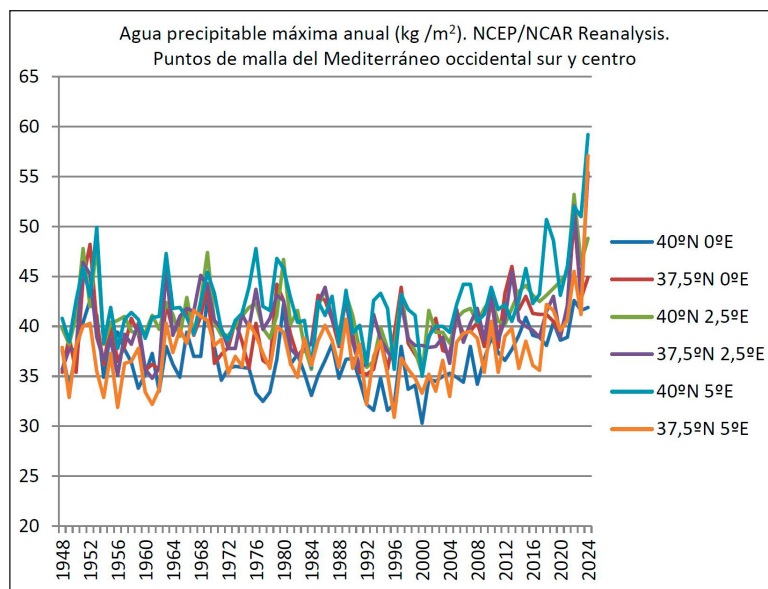
Figura 10. Arriba: Trayectoria de la masa de aire a 925 hPa durante las 36 h anteriores al día 29 de octubre de 2024 a las 18 h UTC



Fuente: figura 10 (b) de Agosta et al., en este monográfico.

El papel del agua precipitable

Al hilo de la discusión precedente, emerge la posibilidad de que ambos episodios extraordinarios recientes (septiembre de 2019 y octubre de 2024) se relacionen con una tendencia reciente al aumento del agua atmosférica disponible para la potencialidad máxima pluviométrica. Ambos episodios registraron máximos horarios de precipitación no reportados con anterioridad en el área de estudio, particularmente el más reciente. Y, aunque es cierto que, al menos en parte, esto puede deberse al considerable aumento de la densidad espacial de estaciones con registro horario automático con la reciente incorporación de nuevas redes que van creciendo en cobertura espacial (de modo que desconocemos totalmente los registros horarios que, por ejemplo, el episodio de la *pantanada* de Tous de 1982 pudo tener), podría haber también aquí un vínculo con la potencialidad creciente aportada por el agua precipitable. Así, si observamos la figura 11, un incremento neto del extremo máximo anual alcanzado por el agua total precipitable en la columna troposférica es también observable al analizar el histórico de dicha variable que ofrece el reanálisis americano NCEP-NCAR en los puntos de malla sobre el Mediterráneo más cercanos al área de estudio (figura 11).

Figura 11. Agua precipitable máxima anual (kg/m²)

Fuente: elaboración propia a partir de la información del reanálisis NCEP-NCAR en los puntos de malla sobre el Mediterráneo que quedan más cercanos al litoral de València y Alicante.

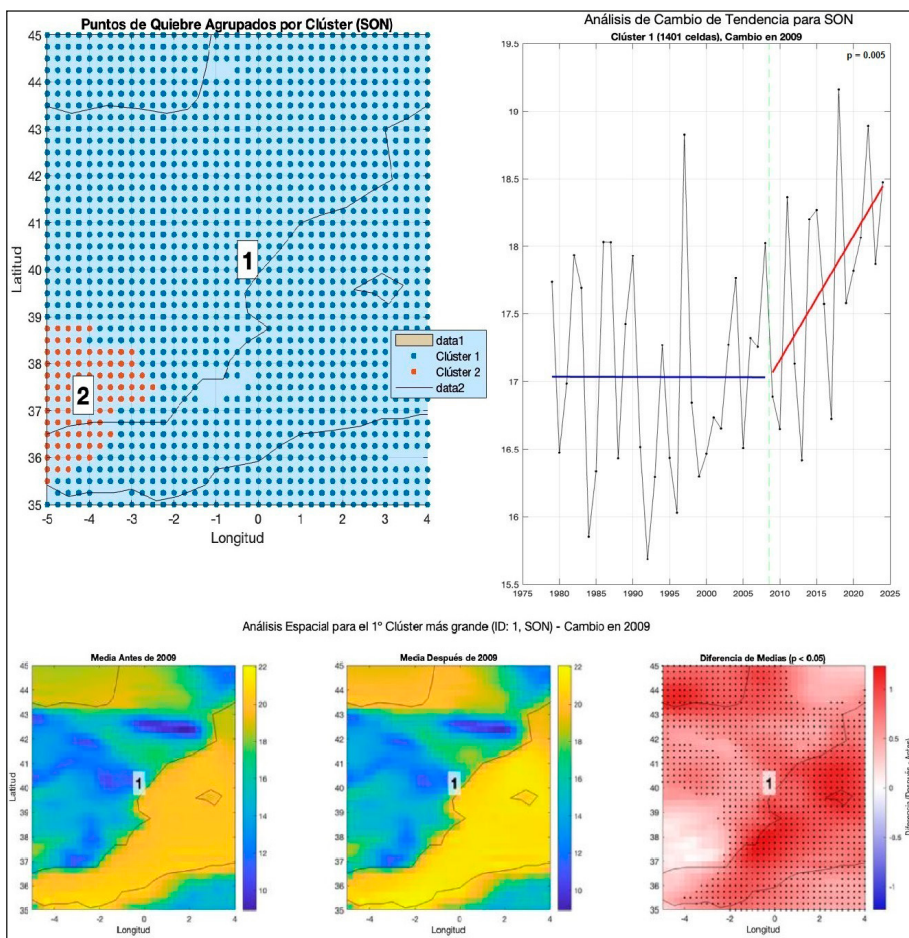
Es aquí llamativo al menos que, mientras que la TSM va incrementándose de forma bastante constante ya desde los años ochenta (figura 8), los máximos de agua precipitable (figura 11) no parecen incrementarse, más allá de su elevada oscilación interanual, hasta 2005 (incluso se insinúa lo contrario en los años noventa). Sin embargo, en los últimos veinte años ha tomado una dirección muy marcada al ascenso, mayor que la TSM. Y dentro del contexto de este marcado ascenso reciente se insertarían los dos episodios torrenciales antes aludidos (septiembre 2019 y octubre de 2024).

Estos datos se ven también mayoritariamente confirmados al analizar datos provenientes del reanálisis europeo ERA-5. Y en este caso hemos utilizado la variable vapor de agua total promedio en la columna troposférica por cada m² de superficie, y para la temporada otoñal, en concreto los meses de septiembre, octubre y noviembre en conjunto (figura 12).

Es esta ocasión (figura 12), y a la vista de lo que insinúa la figura 11, se decidió aplicar primero un método de detección de puntos de cambio en las tendencias de la serie anualizada, realizando un análisis de clústeres sobre los puntos de malla del ERA5, mediante el algoritmo DBSCAN, que unifica en cada clúster los puntos que comparten el signo y año (en un intervalo de ± 3 años) de cambio en sus tendencias. El análisis permitió definir dos clústeres, pero siendo el 1 por mucho el principal, y el que engloba claramente el área de estudio y Mediterráneo más occidental (figura 12, arriba a la izquierda). Para este predominante clúster 1, el año de cambio en la tendencia es el 2009, tras el cual se inicia una muy fuerte tendencia al alza (figura 12, arriba a la derecha).

A continuación, para dicho clúster principal identificado se realizó un análisis espacial de cambio en la media de campo otoñal del vapor de agua troposférico entre el periodo anterior al cambio (2009) y el periodo posterior a este. El resultado se muestra en la figura 12, abajo, marcándose con puntos negros aquellos puntos de malla en que el cambio entre ambos periodos es estadísticamente significativo ($p < 0,05$), con una prueba estadística de diferencias de media de t de *Student* para varianzas desiguales (Wilks, 2019).

Figura 12. Análisis de cambio en contenido promedio en vapor de agua en la columna troposférica para el conjunto de septiembre-octubre-noviembre (1979-2025), mediante análisis de punto de quiebre de tendencias clusterizadas mediante el algoritmo DBSCAN (Ester et al., 1996)



Arriba izquierda: clústeres detectados. Arriba derecha: tendencia del clúster principal (1) y año de cambio en la tendencia (p -valor = 0,05). Abajo, análisis espacial del cambio en las medias del campo de vapor de agua troposférico, acontecido entre antes y después del punto de cambio en las tendencias ($p < 0,05$). Fuente: elaboración propia a partir de datos derivados del reanálisis europeo ERA-5.

Es evidente que, en lo que respecta al contenido de agua troposférica como potencialidad para un posible episodio torrencial, ambos reanálisis (americano y europeo) están indicando un aumento de dicha potencialidad que, sin embargo, es en realidad un fenómeno reciente de los dos últimos decenios, más allá de la tendencia más paulatina y sostenida de la TSM. Todo lo cual está indicando que hay más factores de la circulación atmosférica en juego (Rivera, 2025). Es probable que los primeros años de ascenso de la TSM se compensaran con reacomodaciones de la circulación general en nuestras latitudes que todavía hacían posible el desalojo periódico de masas de aire que iban cargándose de humedad sobre el Mediterráneo. Mientras que, por el contrario, en los últimos años este desalojo periódico se estaría volviendo cada vez más ineficiente conforme los rasgos de “subtropicalización” van aumentando sobre el ámbito mediterráneo, al tiempo que comienza a ser más frecuentes la llegada de ríos atmosféricos de vapor de agua en capas medias desde latitudes tropicales-subtropicales que se suman a la evaporación mediterránea. Sin embargo, hay que admitir que se trata de una cuestión aún poco clara y que necesita estudio y corroboración. En todo caso, los datos parecen indicar que, además del calentamiento sistemático del Mediterráneo, hay cambios en teleconexiones de la circulación troposférica de mayor escala, que están confluyendo en el agudo incremento interanual de la humedad en el Mediterráneo occidental en las dos últimas décadas, que merecen un estudio pormenorizado.

Es de cualquier manera cierto que este aumento en el contenido de agua atmosférica se verá contrarrestado muy a menudo (probablemente una mayoría de veces con creces) por el aumento de la propia capacidad del aire de retener agua subsecuente al calentamiento térmico mayor. Lo que producirá puntos de rocío más altos, humedad relativa menor y la necesidad de más agua para iniciar los procesos pseudoadiabáticos. Sin embargo, en las ocasiones en que se alcanza la saturación y formación de nubes en la vertical, la potencialidad de registrar volúmenes mayores de precipitación será mayor, tal y como se observa en las latitudes intertropicales y subtropicales. Por tanto, todo esto parece enmarcarse en un proceso de “subtropicalización”, debilitamiento del chorro zonal y aumento de extremos sobre la Península Ibérica y cuenca mediterránea en general (Zittis et al., 2021; Cresswell-Clay et al., 2022; Zhou et al., 2024; Jézéquel et al., 2025; Rivera, 2025).

Teniendo en cuenta los datos anteriores, no es de extrañar que el episodio de octubre de 2024 en València tuviese rasgos sinóptico-meteorológicos realmente excepcionales. Así, al poner el episodio de octubre de 2024 (y quizás también el de septiembre de 2019) en el contexto del cambio climático, se deduce que este tipo de episodios podría repetirse con mayor frecuencia que antes, y quizás aún mayor intensidad, a medio plazo (2040), lo que, por otra parte, está en línea con algunas proyecciones a escenarios futuros de cambio climático realizadas en el área de estudio, basadas en *downscaling* estadístico de los modelos de proyección (CMIP5) sobre periodo histórico con series reales observadas (Miró et al., 2021). Relacionado con esto, el estudio más reciente realizado por Poncet et al. (2025) refuerza precisamente la idea de que cabe esperar una mayor intensidad horaria de extremos pluviométricos en la cuenca mediterránea según modelos de proyecciones a escenarios futuros de cambio climático de última generación, en este caso especializados en mejorar la modelización de la convección. Y todo esto también entraría dentro del contexto de un aumento de condiciones de subtropicalidad en el Mediterráneo, en el que, mientras que aumentan las condiciones generales de sequedad y pérdida de eficacia

pluviométrica, se incrementan los extremos pluviométricos prelitorales (Miró et al.; 2021, Zittis et al., 2021; Poncet et al. 2025; Rivera, A., 2025).

Una primera posible aproximación a la proyección a corto-medio plazo de la potencialidad pluviométrica en el contexto de cambio climático

Llevando la discusión un poco más allá, y para poder ahondar un poco más en un posible escenario futuro con mayor intensidad de los episodios torrenciales en la región, hemos optado por realizar en el contexto del caso de estudio una prueba de *downscaling* estadístico local, a través de la herramienta LARS-WG-8 para proyecciones climáticas. En su última versión incorpora los modelos más recientes disponibles del CMIP6, el cual aún el esfuerzo global internacional en el desarrollo de última generación de modelos de proyección climática a distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero del IPCC. En concreto, entre los múltiples desarrollos internacionales disponibles, el modelo del MetOffice Hadley Center HadGEM3-GC31 (Williams et al., 2017; Andrews et al., 2020) dispone de un muy buen modelo de océanos acoplado al modelo atmosférico (Storkey et al., 2018), lo que para el presente caso de estudio es importante, dado que la interacción con el Mediterráneo es clave. Por tanto, hemos utilizado este modelo, así como el escenario intermedio (ssp245) en proyecciones de la precipitación a corto y medio plazo (hasta 2070), centrando el análisis en los extremos diarios de precipitación.

Alternativamente, como contraste, hemos utilizado otro modelo de otra institución de prestigio europea. En este caso, el modelo MPI-ESM1-2 (Gutjahr et al., 2019) del Max Planck Institute for Meteorology (Alemania).

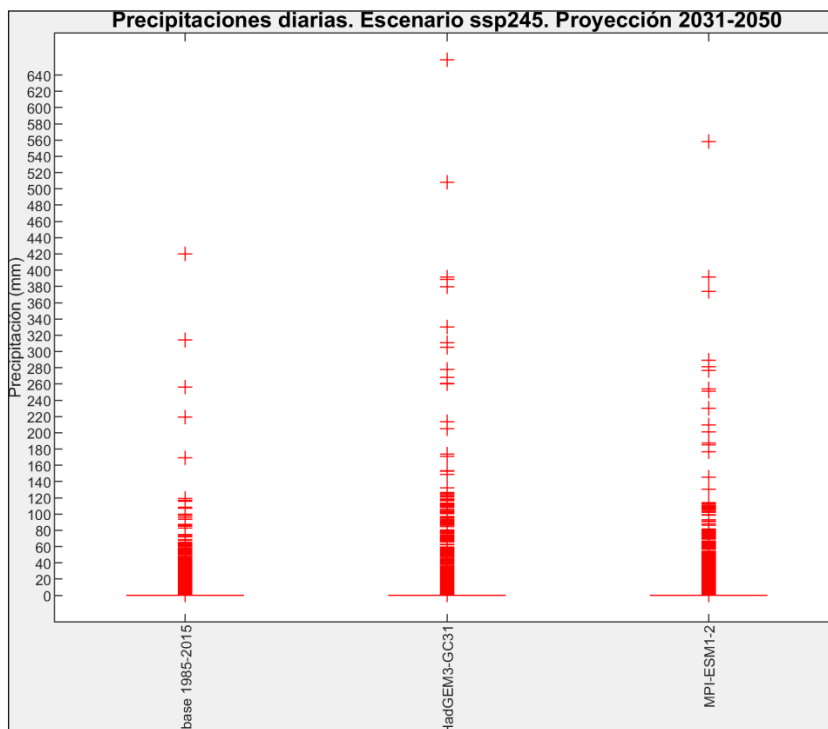
Se ha decidido realizar este análisis de proyección climática tomando como base dos series observadas representativas del caso de estudio que, en este caso, han de cubrir el periodo base en que el *downscaling* se construye entre el modelo en histórico y la serie real observada del lugar, que es por defecto 1985-2015 (31 años). En primer lugar, se ha elegido la serie de València (Vivers), dada su calidad de observación. Sin embargo, se ha buscado otra serie más representativa de la zona cero, que cuente con una buena cobertura temporal en datos originales del periodo base. Esto costó un poco y, aunque la base de datos de la que se dispone tiene todos los huecos rellenados a partir de los componentes principales de variabilidad de la vecindad (Miró et al., 2017), lo ideal aquí es una serie en que, para el periodo base en concreto, el porcentaje de datos estimados inicialmente ausentes sea muy bajo (< 5 %). Finalmente, se eligió la estación de Alginet (AEMET con código 8328E), que el día 29 de octubre de 2024 totalizó 261 mm.

Cabe asimismo señalar que la serie sintética generada representativa de un escenario futuro tiene exactamente 31 años de datos diarios generados, de modo que tanto medias como extremos estadísticos puedan ser comparados en igualdad de condiciones con la serie base real observada en histórico (aun cuando esos 31 años sean representativos del estado de un periodo de proyección más corto, por ejemplo, 2031-2050). Y también es importante señalar que, aun cuando debe asumirse que la incertidumbre en la proyección futura de precipitaciones extremas es muy alta en el clima mediterráneo peninsular, la bondad del *downscaling* ha sido primero testada a través del periodo base de referencia, en el que la distribución y extremos de la serie sintética generada (con las condiciones de gases de invernadero de ese periodo base histórico) se contrasta con la de la serie observada real mediante el test de Kolmogorov-Smirnoff,

discriminando distintos meses del año. El test KS arrojó resultados bastante buenos para considerar que no hubo diferencia estadísticamente significativa entre ambas distribuciones.

Al realizar en primer lugar la proyección de esta última estación (Alginet), en un medio plazo representativo del tiempo (2031-2050) utilizando los dos modelos (figura 13), se aprecia en la *boxplot* de distribuciones diarias que las precipitaciones extremas irían en claro aumento.

Figura 13. Caja de distribución de las precipitaciones diarias para Alginet. Periodo base y la proyección con horizonte 2031-2050 (ssp245) para los dos modelos contemplados

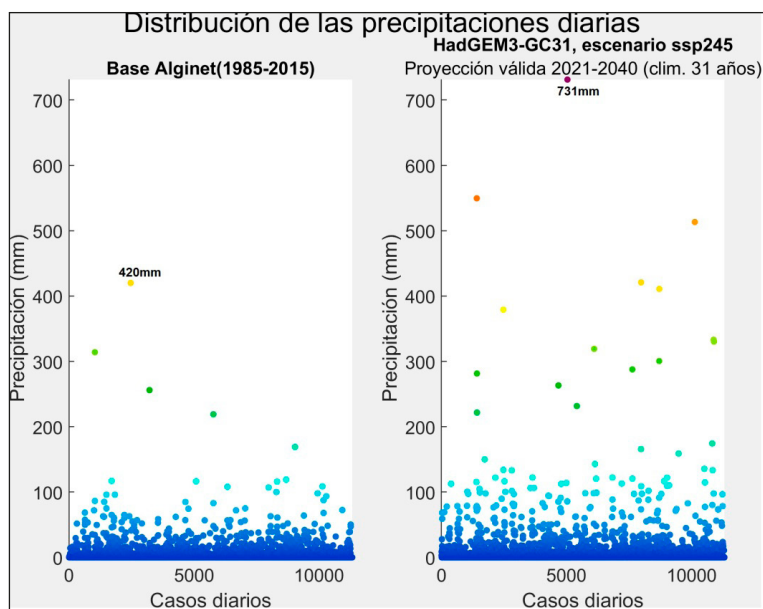


Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, la estimación de extremos proyectados por HadGEM3-GC31 es más elevada que MPI-ESM1-2, pero ambos coinciden en un aumento claro de los extremos. Por ello, se decidió a continuación tomar el horizonte de proyección más cercano posible, en este caso, 2021-2040, dentro del cual, en realidad, podría ya ser representativo el extremo real alcanzado el 29 de octubre de 2024 (aun cuando no sea exactamente en este punto), simplemente para comprobar si el extremo estimado por cada modelo se acerca más a lo que ya es realidad en el área de estudio, en un contexto en el que la proyección de extremos de precipitación tiene mucha más incertidumbre que, por ejemplo, la proyección de temperaturas. En ese sentido, para el periodo 2021-2030 desde HadGEM3-GC31, se estimó

el valor máximo más cercano a los más de 700 mm del episodio de octubre del 24, como se puede ver en la figura 14. Aunque dicho valor no se ha de tomar en sentido absoluto para toda una subregión, sino como un incremento del rango de probabilidades que, refiriéndose al lugar concreto objeto de *downscaling*, es indicador de la dimensión de cambio esperable en la zona. En este caso (figura 14 y en adelante en el resto de las figuras), se ha utilizado una forma de representar la distribución de datos de precipitación quizás más intuitiva.

Figura 14. Distribuciones de la precipitación diaria para Alginet, dispuestas en sucesión temporal y colores de intensidad. Periodo base (izquierda) y proyección con horizonte 2021-2040 (ssp245) mediante HadGEM2-GC31 (derecha)



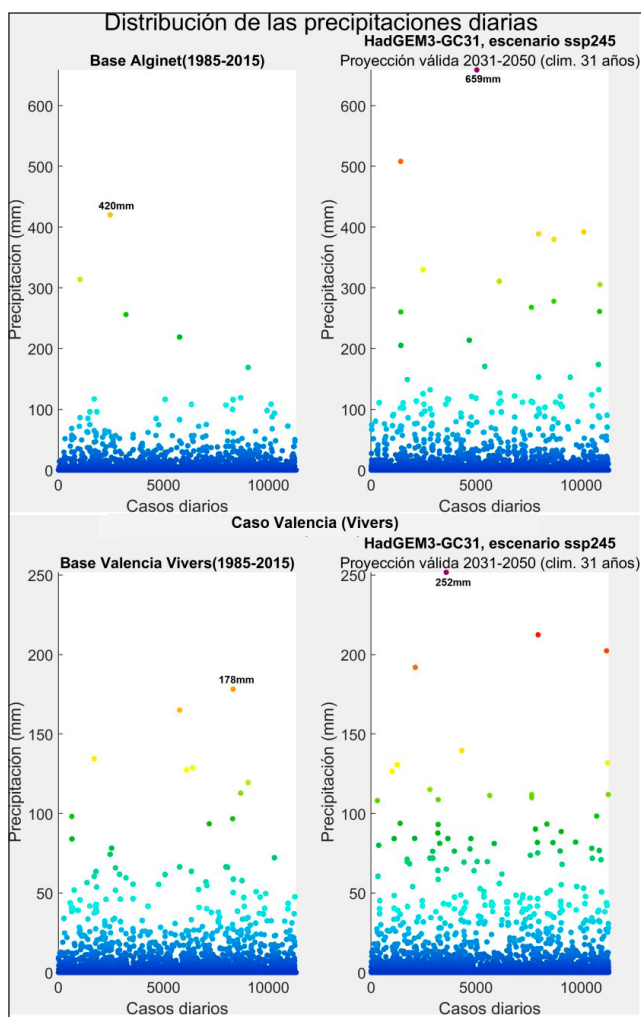
Fuente: elaboración propia.

Vemos en la figura 14 que, mientras que en el periodo de referencia la estación registró una precipitación diaria máxima de hasta 420 mm para todo el periodo 1985-2015, en la proyección climática que ya sería bastante representativa del tiempo actual (o futuro de más corto plazo), el máximo estimado se va a 731 mm, lo que queda cerca de los máximos observados en el episodio de estudio, y a pesar de la elevada incertidumbre que representan los extremos de precipitación en la fachada mediterránea peninsular.

Al aplicar el mismo gráfico anterior para el periodo 2031-2050 (medio plazo), añadiendo ahora también la proyección para València ciudad a partir de la serie València (Vivers), se dibuja la figura 15. Se aprecia que para este periodo la torrencialidad se mantendrá en niveles más o menos similares. Y si bien, para el caso de València, se parte de una precipitación extrema más baja (178 mm) en el periodo histórico concreto de referencia (1985-2015), también asciende hasta 252 mm para la proyección a

2031-2050. Y aunque para un histórico más prolongado fuera del periodo base València registró valores mayores (como es de esperar), el cambio proyectado es indicativo de la expansión de probabilidades hacia rangos más elevados. O sea, esto significa que tanto Alginet como València tendrían aumentos de alrededor del 50 % en la precipitación diaria más extrema esperable en un periodo de 31 años. Y no solo eso, sino que Alginet registraría dos episodios por encima del máximo del periodo histórico de referencia, y València hasta cuatro.

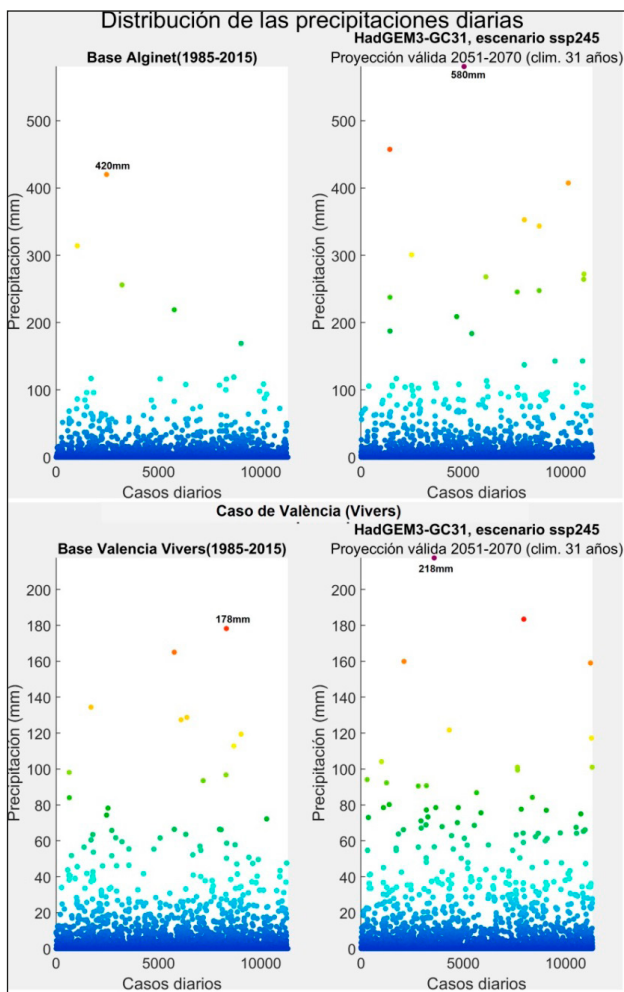
Figura 15. Distribuciones de la precipitación diaria para Alginet (arriba) y València-Vivers (abajo), dispuesta en sucesión temporal y colores de intensidad. Periodo base (izquierda) y proyección con horizonte 2031-2050 (ssp245) mediante HadGEM2-GC31 (derecha)



Fuente: elaboración propia.

No obstante, puede decirse que esta es una tendencia futura a un corto y medio plazo, mientras que para ventanas temporales a más largo las proyecciones climáticas, dentro de una tendencia general a mayor aridez y quizás menos caos por el reacomode de la circulación general a la nueva realidad, esta tendencia al aumento de los extremos pluviométricos parece frenarse e incluso moderarse un poco, como se ve en la figura 16. Aunque probablemente aquí el grado de incertidumbre en la proyección de precipitaciones es demasiado grande.

Figura 16. Distribuciones de la precipitación diaria para Alginet (arriba) y València-Vivers (abajo), dispuesta en sucesión temporal y colores de intensidad. Periodo base (izquierda) y proyección con horizonte 2051-2070 (ssp245) mediante HadGEM2-GC31 (derecha)



Fuente: elaboración propia.

En cualquier caso, es importante considerar la utilidad y contexto de uso de la herramienta de *downscaling* a escenarios futuros empleada, especialmente en el caso de precipitaciones extremas. De modo que su lectura no debe leerse tanto en términos absolutos como de proyección de probabilidades estadísticas, para unos extremos tan irregulares. Así, precipitaciones mayores a 700 u 800 mm/día se han registrado históricamente en el este y sureste peninsular de forma muy puntual y temporalidad muy irregular. Del mismo modo, si tomamos un periodo mayor a 31 años (caso de la serie histórica de València-Vivers), los extremos diarios de la serie se incrementan, como cabe esperar con un periodo mayor. Sin embargo, las proyecciones a escenarios futuros trabajan con un periodo de referencia base, relativamente reciente, que sirve de referencia para obtener las propiedades estadísticas objeto de proyección a un escenario también acotado en tiempo. Por tanto, la lectura correcta es el cambio relativo que se proyecta entre el periodo base de referencia y el proyectado, bajo una misma duración temporal representativa. De modo que, si en el caso de las series locales sometidas a *downscaling* observamos para el periodo de proyección a corto plazo un incremento proyectado del 50 % en los extremos pluviométricos, o bien podría significar que, a un nivel regional o subregional espacialmente más grande, un máximo espacial histórico de 700 mm/día tendría ahora probabilidades de ascender hasta 1.000 mm/día, o bien que con bastante probabilidad va a ser relativamente más recurrente la aparición de episodios de torrencialidad extrema. Y, aunque en el presente estudio se ha utilizado el caso representativo de dos series, nuestras pruebas con otras muchas series locales a lo largo del litoral central y sur de la Comunitat Valenciana tiende a arrojar un comportamiento proyectado similar. Algo que ya se comenzó a ver en la propia región, en este caso todavía con modelos del CMIP-5, en Miró et al. (2021). Por tanto, la lectura que se traslada es la de un bastante probable aumento en la potencialidad de los extremos, que se apoya también en el reciente aumento del contenido de vapor de agua troposférico disponible.

Por último, puede también ser interesante comentar que el cambio en la base física que implica el aumento del agua precipitable, y la propia TSM sobre el mar Mediterráneo, tiene otras implicaciones en cuanto a riesgos asociados a fenómenos hidrometeorológicos. Es el caso todavía muy poco claro de la formación de *medicanes* mediterráneos (Cavicchia et al., 2014), que también han sido objeto de *downscaling* y proyecciones climáticas, que manifiestan que, mientras su frecuencia puede descender, de aparecer, las probabilidades de ser más intensos se incrementan (Romera et al., 2017). Es un asunto relacionado en el que, una vez más, se demuestra la importancia de tener un buen modelo de océanos acoplado al modelo atmosférico (Batibeniz et al., 2025).

CONCLUSIONES

El episodio torrencial y catastrófico de finales de octubre de 2024 constituye, sobre la base de datos históricos y sus características sinóptico-meteorológicas, un episodio excepcional, con acumulados totales por encima de 600 mm (puntualmente, >700 mm) y, en especial, con acumulados horarios de precipitación extraordinariamente elevados (puntualmente, >180 mm/hora). Todo ello concentrado en apenas 24 h, y en su mayor parte 12 h, incluso 6 h, en la zona cero de mayor afección.

El episodio, además de asociarse a la típica DANA situada cerca del estrecho de Gibraltar, con su ramal ascendente y fuerte divergencia en altitud sobre el área afectada, contó en superficie con un largo recorrido marítimo sobre el Mediterráneo procedente de zonas del Mediterráneo central aún con temperaturas sobrepasando los 24 °C a finales de octubre.

La relación con efectos del cambio climático se ve bastante probable, tanto por una tendencia clara a aumentar los valores de TSM sobre el Mediterráneo, como por la detección de un aumento del contenido en vapor de agua y agua precipitable en la columna troposférica a partir de productos de reanálisis (NCEP y ERA5).

Es notable la tendencia a darse valores máximos anuales de agua precipitable en la columna troposférica mucho más elevados desde el segundo decenio del siglo XXI. En otoño, así como en general en los máximos anuales, el aumento en el contenido medio troposférico de vapor de agua es claro y estadísticamente significativo.

Si tomamos en conjunto, por su relativa cercanía temporal, los episodios de septiembre de 2019 (Vega Baja del Segura) y octubre de 2024 (València), ambos parecen enmarcarse en esta tendencia al aumento de potencialidad a extremos pluviométricos proporcionada por el agua disponible troposférica y una tendencia a la “subtropicalización” de condiciones climáticas. Lo cual está en línea con algunas proyecciones climáticas a escenarios futuros de cambio climático a medio plazo, que indican la posibilidad de un aumento de los extremos pluviométricos que, por otro lado, ya se ha detectado para el sureste peninsular con datos anteriores a 2022. Mientras que, a través de las pruebas realizadas en el presente estudio de proyección de extremos pluviométricos, emerge la estimación de un probable incremento del 50 % en la magnitud de las precipitaciones más extremas para los próximos treinta años (hasta 2050) con respecto al periodo de referencia de 1985-2015.

Con ello, es importante trasladar a la sociedad y a los actores públicos la idea de que este tipo de extremos pluviométricos y sus consecuencias pueden volverse relativamente más frecuentes e intensos en los próximos años.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrews, M. B., Ridley, J. K., Wood, R. A., Andrews, T., Blockley, E. W. & Booth, B. (2020). Historical simulations with hadgem3-gc3.1 for cmip6. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 12, e2019MS001995.
- Batibeniz, F., Öñol, B., Turuncoglu, U. U. & Raible, C. C. (2025). Air–sea interaction in medicanes with atmosphere–ocean–wave coupled regional climate simulations. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* <https://doi.org/10.1002/qj.5040>
- Beguiría, S., Azorín, C. & Vicente-Serrano, S. M. (2024). Ground records and spatial fields of the 2024/10/29 extreme precipitation event in Valencia, Spain [Dataset]. DIGITAL.CSIC. <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/16716>
- Cavicchia, L., von Storch, H. & Gualdi, S. (2014). Mediterranean Tropical-Like Cyclones in Present and Future Climate. *J. Climate*, 27, 7-493-7-501. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00339.1>

- Camarasa-Belmonte, A. M., Soriano-García, J. & López-García, M. J. (2010). The effect of observation timescales on the characterisation of extreme Mediterranean precipitation, *Adv. Geosci.*, 26, 61-64, <https://doi.org/10.5194/adgeo-26-61-2010>
- Cresswell-Clay, N., Ummenhofer, C. C., Thatcher, D. L., Wanamaker, A. D., Denniston, R. F., Asmerom, Y. & Polyak, V. (2022). Twentieth-century Azores High expansion unprecedented in the past 1,200 years. *Nat. Geosci.*, 15, 548-553. <https://doi.org/10.1038/s41561-022-00971-w>
- Jézéquel A., Faranda, D., Drobinski, P. & Lionello P. (2025). Extreme event attribution in the mediterranean. *Int. J. Climatol.*, 45, e8799. doi: 10.1002/joc.8799
- Ester, M., Kriegel, H. P., Sander, J. & Xiaowei, X. (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. En *Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery in Databases and Data Mining* (pp. 226-231). Portland, OR: AAAI Press.
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J. & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization, *Geosci. Model Dev.*, 9, 1937-1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>
- Gutjahr, O., Putrasahan, D., Lohmann, K., Jungclaus, J. H., von Storch, J. S., Brüggemann, N., Haak, H. & Stössel, A. (2019). Max Planck Institute Earth System Model (MPI-ESM1.2) for the High-Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP). *Geosci. Model Dev.*, 12, 3-241-3-281. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-3241-2019>
- IPCC (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Khodayar, S., Pastor, F., Valiente, J. A., Benetó, P. & Ehmele, F. (2022) What causes a heavy precipitation period to become extreme? The exceptional October of 2018 in the Western Mediterranean. *Weather Clim. Extrem.*, 38, 100.493. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100493>
- Kotamarthi, R., Hayhoe, K., Wuebbles, D., Mearns, L. O, Jacobs, J. & Jurado, J. (2012). Downscaling Techniques for High-Resolution Climate Projections: From Global Change to Local Impacts. *Cambridge University Press*. Cambridge.
- Lopez-Bustins, J. A., Arbiol-Roca, L., Martin-Vide, J., Barrera-Escoda, A. & Prohom, M. (2020). Intra-annual variability of the Western Mediterranean Oscillation (WeMO) and occurrence of extreme torrential precipitation in Catalonia (NE Iberia). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 20, 2.483-2.501. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-2483-2020>
- Martín-Vide, J. (2004). Spatial Distribution of Daily Precipitation Concentration Index in Peninsular Spain. *Int. J. Climatol.*, 24, 959-971. <https://doi.org/10.1002/joc.1030>
- Mearns O. L. (2009). Methods of Downscaling Future Climate Information and Applications. National Center for Atmospheric Research. NARCCAP Users' Meeting, Boulder, CO. September 10-11. https://www.narccap.ucar.edu/users/user-meeting09/talks/Downscaling_summary_for_NARCCAP_Users_Meet09.pdf

- Miró, J. J., Estrela, M. J., Caselles, V. & Gómez, I. (2018). Spatial and temporal rainfall changes in the Júcar and Segura basins (1955-2016): Finescale trends. *Int. J. Climatol.*, 1-24. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5689>
- Miró, J. J., Estrela, M. J., Olcina-Cantos, J. & Martin-Vide, J. (2021). Future Projection of Precipitation Changes in the Júcar and Segura River Basins (Iberian Peninsula) by CMIP5 GCMs Local Downscaling. *Atmosphere*, 12, 879. <https://doi.org/10.3390/atmos12070879>
- Miró, J. J., Lemus-Canovas, M., Serrano-Notivol, R., Olcina Cantos, J., Estrela, M. J., Martin-Vide, J., Sarricolea, P. & Meseguer-Ruiz, O. (2022). A component-based approximation for trend detection of intense rainfall in the Spanish Mediterranean coast. *Weather Clim. Extrem.*, 38, 100.513. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100513>
- Molinié, G., Déqué, M., Coppola, E., Blanchet, J. & Neppel, L. (2016). "Heavy precipitation in the Mediterranean basin". *The Mediterranean region under climate change*. IRD Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.23121>
- Pastor, F., Valiente, J. A. & Estrela, M. J. (2015). Sea surface temperature and torrential rains in the Valencia region: modelling the role of recharge areas. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 1677-1693-<https://doi.org/10.5194/nhess-15-1677-2015>
- Pastor, F., Valiente, J. A. & Khodayar, S. (2020). A Warming Mediterranean: 38 Years of Increasing Sea Surface Temperature. *Remote Sens.*, 12(17), 2687. <https://doi.org/10.3390/rs12172687>
- Peñarrocha, D., Estrela, M. J. & Millán, M. (2002). Classification of daily rainfall patterns in a Mediterranean area with extreme intensity levels: The Valencia region. *Int. J. Climatol.*, 22, 677-695. <https://doi.org/10.1002/joc.747>
- Pérez Cueva, A. J., Armengot Serrano, R., Fansa Saleh, G., Núñez Mora, J. A. & Revert Ferrero, A. (2025). Estudio cronológico de los volúmenes de precipitación en las subcuencas de la rambla de Poyo en el episodio del 29 octubre de 2024. *Investig. Geogr.*, (84), 9-29. <https://doi.org/10.14198/INGEO.30056>
- Poncet, N., Trambly, Y., Lucas-Picher, P., Thirel, G. & Caillaud, C. (2025). Projections of extreme rainfall and floods in Mediterranean basins from an ensemble of convection-permitting models. *Clim. Change*, 178, 141. <https://doi.org/10.1007/s10584-025-03983-8>
- Puertes, C. & Francés, F. (2016). La riada de Valencia de 1957: reconstrucción hidrológica y sedimentológica y análisis comparativo con la situación actual. *Ingeniería del Agua*, 20(4), 181-199. <https://doi.org/10.4995/ia.2016.4772>
- Quesada-Chacón, D., Barfus, K. & Bernhofer, C. (2022). Repeatable high-resolution statistical downscaling through deep learning, *Geosci. Model. Dev.*, 15, 7.353-7.370. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-7353-2022>.
- Rivera, A. (2025). *Danas*. Ed. Letrame.
- Romera, R., Gaertner, M. Á., Sánchez, E., Domínguez, M., González-Alemán, J. J. & Miglietta, M. (2017). Climate change projections of medicanes with a large multi-model ensemble of regional climate models. *Glob. Planet. Change*, 151, 134-143. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.10.008>

- Sánchez-Almodóvar, E., Olcina-Cantos, J., Martín-Vide, J. & Martí-Talavera, J. (2025). Daily Concentration of Precipitation in the Province of Alicante (1981-2020). *Climate*, 13(2), 21. <https://doi.org/10.3390/cli13020021>
- Santos-Burguete, C., Jansà, A., Armengot, R., Simarro, J. P., Callado, A. & Compte, M. (2019). El episodio de Oliva-Gandía de 3-4 de noviembre de 1987: récord nacional de precipitación en 24 horas. En VI Simposio Nacional de Predicción, Memorial Antonio Mestre (AEMET) (pp. 435-450). <https://doi.org/10.31978/639-19-010-0.435>
- Semenov, M.A. (2008). Simulation of weather extreme events by a stochastic weather generator. *Clim. Res.*, 35, 203-212. <https://doi.org/10.3354/cr00731>
- Semenov, M. A. & Stratonovitch, P. (2015). Adapting wheat ideotypes for climate change: accounting for uncertainties in CMIP5 climate projections. *Clim. Res.*, 65, 123-139. <https://doi.org/10.3354/cr01297>
- Sen Gupta, A. & Tarboton, D.G. (2016). A tool for downscaling weather data from large-grid reanalysis products to finer spatial scales for distributed hydrological applications. *Environ. Model. Softw.*, 84, 50-69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.06.014>
- Serra-Llobet, A., Tàbara, J. D. & Saurí, D. (2013). The Tous dam disaster of 1982 and the origins of integrated flood risk management in Spain. *Nat. Hazards*, 65, 1.981-1.998. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0458-0>
- Serrano-Notivoli, R., Martín-Vide, J. Saz, M. A., Longares, L. A., Beguería, S., Sarricolea, P., Meseguer-Ruiz, O. & de Luis, M. (2018). Spatio-temporal variability of daily precipitation concentration in Spain based on a high-resolution gridded data set. *Int. J. Climatol.* <https://doi.org/10.1002/joc.5387>
- Serrano-Notivoli, R. (2024). Variabilidad de la precipitación y proyecciones futuras. En: *Cambio climático en España*. Ed. Tirant Lo Blanch.
- Soares, P. M. M., Johannsen, F., Lima, D. C. A., Lemos, G., Bento, V. A. & Bushenkova, A. (2024). High-resolution downscaling of CMIP6 Earth system and global climate models using deep learning for Iberia. *Geosci. Model Dev.*, 17, 229-259. <https://doi.org/10.5194/gmd-17-229-2024>
- Storkey, D., Blaker, A. T., Mathiot, P. et al. (2018). UK global ocean GO6 and GO7: A traceable hierarchy of model resolutions. *Geosci. Model Dev.*, 11(8), 3.187-3.213. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-3187-2018>
- Wilks, D. S. (2019). Statistical methods in the atmospheric sciences (4.^a ed.). Ed. Elsevier Science Publishing.
- Williams, K. D., Copsey, D., Blockley, E. W. et al. (2017). The Met office global coupled model 3.0 and 3.1 (GC3.0 and GC3.1) configurations. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 10, 357-380. <https://doi.org/10.1002/2017MS001115>
- Zhou, S., Huang, P., Wang, L., Hu, K., Huang, G. & Hu, P. (2024). Robust changes in global subtropical circulation under greenhouse warming. *Nat. Commun.*, 15, 96. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-44244-5>

Zittis, G., Bruggeman, A. & Lelieveld, J. (2021). Revisiting Future Extreme Precipitation Trends in the Mediterranean. *Weather Clim. Extrem.*, 34: 100380. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100380>

Cómo citar este artículo:

Miró, J. J., Estrela, M.^a J., Agosta Scarel, E. & Corell, D. (2025). Cambio climático y potencialidad pluviométrica en el contexto de las lluvias torrenciales de octubre de 2024 en València. *Cuadernos de Geografía*, 114-115, 191-220.

<https://doi.org/10.7203/CGUV.114-15.31909>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.