



AZARES DEL CLIMA

POR JOSÉ ANTONIO LÓPEZ DÍAZ

Algunas reflexiones tras la catástrofe de Valencia

Al hilo de las lluvias torrenciales extremas que afectaron de forma tan grave a la provincia de Valencia en octubre pasado quisiera aportar algunas reflexiones de carácter técnico, sin entrar en valoraciones sobre la gestión de las alarmas o de las medidas posteriores por parte de las administraciones

Las inundaciones en España son el principal riesgo extremo

Según datos del Consorcio de Compensación de Seguros (<https://www.conorseguros.es/la-entidad/publicaciones>) en el periodo 1987-2023 las indemnizaciones por inundación (en euros actualizados a 31/12/23) sumaron unos 8000 millones de euros, siendo este con diferencia el riesgo más importante de los 9 considerados. A continuación, con menos de un cuarto del importe anterior, vienen los vientos extremos, definidos como tempestad ciclónica atípica, con 1700 millones de euros, siguen terremoto y terrorismo con 600 millones de euros. Está claro que las precipitaciones extremas son un riesgo muy importante en nuestro país, en especial en determinadas áreas como la cuenca mediterránea.

El poder de las aguas

Las imágenes de los destrozos en vehículos, edificios, infraestructura en general, en este tipo de episodios no dejan de causar asombro. Quisiera en este apartado glosar algunos argumentos físicos para ayudar a comprender la sorprendente capacidad del agua para provocar tantos daños.

El agua en movimiento ejerce sobre un objeto sumergido una fuerza que resulta ser proporcional al término de presión $p v^2$ (siendo p la velocidad del agua y v su velocidad), el coeficiente de proporcionalidad depende de la forma del perfil que opone el objeto al agua. Este coeficiente hidrodinámico depende mucho de la forma del perfil, y varía entre 0 y 1. La considerable densidad del agua hace que incluso a velocidades moderadas el término $p v^2$ alcance valores realmente importantes, por ejemplo para agua que se desplaza a 6 km/h (como una persona

caminando rápido) este término equivale a unos 3000 N/m². Estamos mucho más habituados a la fuerza del viento, pero el aire tiene una densidad del orden de 1000 veces menor que el agua con lo que para que los términos de presión de agua y aire sean similares la velocidad del viento tiene que ser aproximadamente 30 veces superior a la del agua, o sea, para que el viento sea comparable en este sentido al agua a 6 km/h tendría que tener una velocidad huracanada de 180 km/h. Estos números ayudan a entender que nuestra intuición nos engaña y nos lleva a minusvalorar grandemente la fuerza del agua en movimiento. En el caso de precipitaciones torrenciales el agua gana velocidad por transformación de su energía potencial en cinética, mecanismo muy efectivo para desniveles del terreno incluso moderados. Baste pensar que si el agua salva un desnivel de 10 m, suponiendo unas pérdidas por rozamiento de un 50 %, el término $p v^2$ equivaldría a la acción de unas 5 tn de agua que impactaran sobre 1 m² con un coeficiente hidrodinámico de 0.2 por ejemplo arroja la enorme presión de una tonelada/m². Además el agua ejerce el consabido empuje arquimedianos sobre los objetos sumergidos que hace que personas o vehículos pierdan rápidamente ya con niveles de unos pocos decímetros su agarre al suelo.

Otro factor importante es que en un obstáculo sumergido como una pared o una persona, la sujeción se hace en el suelo mientras que la fuerza del agua ejerce no solo un empuje sino también un momento respecto del suelo, tanto mayor cuanto mayor es la altura de la fuerza que se aplica sobre el obstáculo. Este momento puede hacer que el obstáculo termine finalmente siendo derribado antes incluso de ser arrastrado por el agua y por tanto es fundamental a la hora de valorar la resistencia frente

al empuje del agua. Este momento crece linealmente con el nivel del agua más rápidamente que la propia velocidad, por ejemplo para un perfil de velocidades lineal con la distancia al suelo, la presión crecería cuadráticamente, mientras el momento crecería con el cubo de la profundidad del agua. Estas consideraciones ponen de relieve el papel fundamental que desempeña el nivel del agua en su capacidad de destrucción.

Considerando el flujo de agua por un canal inclinado un ángulo α respecto de la horizontal, en flujo estacionario, el equilibrio de un volumen de fluido desde la base del canal hasta la superficie libre, exige que la fuerza debida a la tensión viscosa en la base del canal, equilibre la fuerza de la gravedad sobre el volumen de fluido. Si consideramos ahora el equilibrio de una lámina de fluido entre dos espesores determinados, la diferencia de las tensiones entre la superficie inferior y la superficie superior de la lámina, debe equilibrar a la fuerza de la gravedad sobre la lámina, de donde teniendo en cuenta que en régimen laminar la tensión de la viscosidad es proporcional a du/dh , siendo u la velocidad del agua, la derivada de la velocidad u debe variar linealmente con h , lo cual implica que la velocidad debe variar cuadráticamente con h . Por tanto obtenemos un perfil parabólico para la velocidad del fluido, el agua en este caso.

En el caso turbulento, el análisis hecho anteriormente respecto de las tensiones sigue siendo válido, pero en cambio ya no podemos deducir las tensiones derivando la velocidad respecto de la profundidad, sino que hay que tener en cuenta que el coeficiente de intercambio turbulento varía a su vez con la propia velocidad, con lo cual el problema teórico se complica mucho. Lo que se observa es que la velocidad u varía rápidamente en los primeros centímetros respecto de la base, para alcanzar

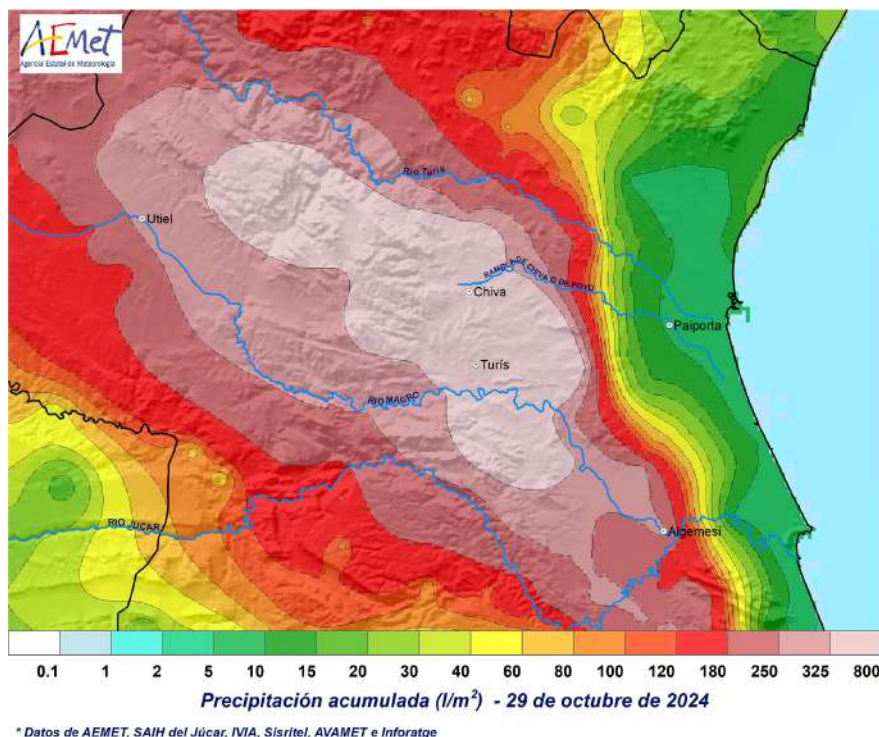


Gráfico cedido por AEMET de la publicación “Situación de lluvias intensas en la Península y Baleares entre el 28 de octubre y 4 de noviembre de 2024”

de observar un evento con un periodo de retorno de 500 años en una serie de 80 años significativo al 5 %, que es el nivel estándar de los test de hipótesis. En consecuencia los eventos con periodos de retorno de centenares de años pueden tener probabilidad no despreciable de ocurrir en periodos del orden de decenas de años en series perfectamente estacionarias, y en este caso su ocurrencia no invalida de por sí la hipótesis de estacionariedad (constancia de sus características estocásticas en el tiempo) de la serie al nivel de significación habitual en la ciencia.

Percepción del riesgo

La percepción del riesgo por la sociedad en general es, en mi opinión, bastante defectuosa. La mayoría de la población parece esperar que cuando se da una alarma por algún evento adverso, necesariamente este evento tiene que producirse, y en caso contrario entienden que ha fallado el sistema de alarma. Esto es un error, pues las alarmas emitidas por los organismos oficiales se basan en estimaciones de la probabilidad del suceso que en general no implican certeza respecto a su ocurrencia, por tanto una alarma elaborada con la mejor ciencia disponible es perfectamente compatible con que el suceso extremo finalmente no ocurra o no tenga consecuencias tan adversas. Esta percepción deficiente de la sociedad, por su parte, actúa en mi opinión sobre los organismos que emiten las alarmas, que son sensibles a las críticas, y los hace ser a menudo demasiado conservadores con las alarmas, es decir, las alarmas más intensas, como la roja, se emiten sólo en el caso de que sea prácticamente seguro que se va a dar el suceso extremo. Este sesgo sistemático no es deseable, y solo con una mayor cultura sobre los riesgos en la sociedad se podrá aliviar este problema.

Consideraciones similares a las anteriores se aplican en lo relativo a las medi-

luego un valor que se mantiene aproximadamente constante a lo largo del resto del espesor del fluido. Esto tiene sentido puesto que el intercambio turbulento en los espesores no demasiado próximos de la base es efectivo. Mientras que cerca de la base del fluido el intercambio turbulento está seriamente impedido por la propia base. Con lo cual el perfil de velocidades cerca de la base tiene una variación de la velocidad con la altura mucho más acentuada que en el resto del fluido.

De todo lo anterior resulta que no solo la intensidad de la precipitación y cantidad de agua que cae sobre un territorio son claves para valorar el riesgo de daños catastróficos, sino que hay que considerar la forma del relieve, las posibles represas, la forma de los cauces y otros factores que determinan el nivel del agua y su velocidad.

El periodo de retorno como indicador de extremosidad

El período de retorno de un suceso (extremo) definido por un umbral de una

variable aleatoria dada se define como el inverso de la probabilidad de excedencia de ese umbral extremo. En una serie de realizaciones estacionaria de una variable aleatoria, el periodo de retorno determina el valor esperado del número de excedencias de un umbral a lo largo de un número de realizaciones (años comúnmente) determinado N, de tal forma que el número de excedencias promedio es igual a N/T.

Es interesante tener en cuenta que para eventos muy extremos, con periodos de retorno de centenares de años, hay una relación simple para la probabilidad de que el evento se dé al menos una vez a lo largo de un número de años pequeño en relación al periodo de retorno. Por ejemplo supongamos un evento con un periodo de retorno de 500 años, entonces la probabilidad de al menos una excedencia en una serie climatológica relativamente larga de 80 años (pero pequeña con relación al periodo de retorno) es aproximadamente 80/500, es decir un 16 %¹.

Esta probabilidad del 16 %, aunque baja, no es sin embargo tan baja como para que podamos considerar el hecho

¹ Esto se deduce de aproximar la variable binomial que da el número de excedencias del umbral extremo por una variable de Poisson Y con $\lambda = N/T$, lo cual es adecuado en casos como este; la probabilidad del suceso $Y \geq 0$ es $1 - \text{pr}(Y=0) = 1 - \exp(-\lambda) \sim \lambda$, para λ pequeño. En nuestro ejemplo $N=80$, $T=500$.

das que se deben de adoptar en caso de una alarma. Por ejemplo, ante una alarma por precipitaciones extremas como el caso de Valencia, se puede teóricamente tanto paralizar casi todas las actividades de la sociedad en una zona amplia para cubrirse completamente respecto de eventuales pérdidas, tanto en vidas humanas como en bienes, como adoptar una actitud menos conservadora respecto del riesgo y tomar medidas puntuales de mucho menos impacto sobre la sociedad. No hay una forma única objetiva de decidir las medidas adecuadas en función del riesgo. Cada sociedad debe decidir, en forma análoga a lo que hacemos en nuestra vida las personas, el nivel de riesgo que decide asumir. Hay personas que asumen un nivel de riesgo alto, que practican quizá deportes de alto riesgo porque estiman que el riesgo posible de lesiones o de muerte es inferior a la satisfacción que les produce la actividad, mientras que en otras personas el cálculo es muy distinto. Creo que sería importante explicar bien esto a la sociedad.

Los récords

Es importante recordar que la importancia climatológica de un récord viene muy condicionada por la longitud de la serie correspondiente. No es lo mismo que un fenómeno extremo produzca un récord en una serie de 20 años que en

una de 80 años. Aparte factores como la presencia de tendencia u otras formas de variabilidad en la serie, en una serie puramente aleatoria y estacionaria, es decir, con propiedades estadísticas constantes en el tiempo, la probabilidad de que el año n -ésimo sea récord vale $1/n$ ². Si apostamos en una serie de este tipo de longitud n que este año va a ser un récord, en un juego equilibrado deberíamos recibir n unidades monetarias por cada unidad apostada, así que tiene sentido como punto de partida decir que un récord en serie de 80 años tiene 4 veces mayor relevancia que un récord en una serie de 20 años. Otro aspecto importante es la cobertura espacial de observaciones de la variable en cuestión, si esta varía con el tiempo lógicamente también varía acordeamente la probabilidad de que se den récords y de forma pareja disminuye obviamente su significación estadístico-climática.

Según el exhaustivo informe de AEMET sobre esta situación (https://www.aemet.es/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/estudios/detalles/episodio_dana_oct_nov24) el día 29, el de mayor intensidad, en la estación de Turís se rozó el récord nacional absoluto anterior de precipitación en 24 horas registrado en La Oliva en 1987 en total de 8 a 8 horas. En Turís se totalizaron 772 mm en el día civil, de

las cuales 720 mm cayeron en 12 horas, 621 mm en 6 horas y 185 mm en 1 hora. Estas acumulaciones subdiarias son récord absoluto destacado, pero hay que tener en cuenta que la longitud de series con registro horario es muy inferior a la de las series con total acumulado diario, y muy pocas de ellas superan unos 20 años. Por otra parte no tenemos medidas horarias de La Oliva que nos permitan comparar con Turís. En la tabla 4.5 del citado informe de AEMET se recogen los datos de las estaciones del banco de datos climatológico de AEMET de la provincia de Valencia del día 29, 16 con total diario, de las que tan solo 2 estaciones tienen dato horario. También hay que recordar que estas medidas son puntuales, y a la hora de valorar el impacto serían muy deseables totales areales, pero dada la gran variabilidad espacial de la precipitación en este tipo de episodios extremos las inertidumbres en este sentido son muy altas. Baste mencionar que en la citada tabla una estación acumuló en 24 h entre 700-800 mm, otras dos en 600-700 y 400-500 mm respectivamente, y las 13 restantes en el intervalo 200-300 mm. Hechas estas consideraciones está claro que el episodio de Valencia que comentamos ha sido sin duda uno de los más extremos de los que tenemos observaciones.



Inundaciones en Málaga del 13 de noviembre de 2024; calle Hílera. Foto cedida por Diario Sur

² Todas las posibles ordenaciones de los n datos tienen la misma probabilidad, por tanto todos los n datos tienen la misma probabilidad de estar en la posición n -ésima, el récord en esa posición implica que el dato es el máximo de la serie, por tanto su probabilidad es $1/n$.