Confederación Hidrográfica del Júcar

GOTA FRÍA Y DEPRESIÓN ATMOSFÉRICA

CLAVES DE LA LLUVIA FUERTE MEDITERRÁNEA

Agustí Jansà

Las intensas lluvias caídas en el valle del Júcar el 20 de octubre de 1982 provocaron la ruptura de la presa de Tous, uno de los episodios catastróficos recientes más graves en la Comunidad Valenciana. El Instituto Nacional de Meteorología de aquel tiempo entregó un informe (García Dana, Font Blasco y Rivera Pérez, 1982) donde se establecía que la causa principal del acontecimiento había sido la presencia de una gota fría. La gota fría, conocida de mucho antes, ya se había relacionado con episodios de grandes lluvias mediterráneas, pero es posible que los acontecimientos y el informe mencionados diesen lugar a una utilización abusiva y poco apropiada del término. Para mucha gente, *gota fría* se hizo equivalente a situación de grandes lluvias en el Mediterráneo, cuando no lo es.

En su libro *Gota fría* (1991), la profesora de meteorología de la Universidad de Barcelona María del Carmen Llasat explica los orígenes del término *gota fría* y señala inadecuaciones en su uso, en particular en relación a los grandes chaparrones mediterráneos. El término *kaltlufttropfen* ("gota de aire frío") se atribuye al meteorólogo alemán Richard Sherhag. Se puede definir *gota fría* como una depresión cerrada, situada a un nivel alto de la atmósfera (500 hPa, presión que suele existir a unos 5.500 m de altitud respecto del nivel del mar), con circulación ciclónica de los vientos (es decir, giro en el sentido contrario al de las agujas del reloj), desligada de la circulación general y constituida por aire frío.

No existe una correspondencia biunívoca entre presencia de gota fría y episodio de lluvia torrencial mediterránea, aunque no hay concordancia completa de cifras entre varios autores. Mientras que de una lista de diecisiete episodios de lluvia torrencial en el Mediterráneo –principalmente en Cataluña y Valencia, entre 1953 y 1988– solo en cinco de ellos suponía Llasat una clara influencia de una gota fría (un 29 %), el meteorólogo Rafael Armengot (2002) –en referencia únicamente a la Comunidad Valenciana y a precipitaciones de más de 100 mm/día– detectaba presencia de gota fría en 119 de 130 casos, con gota fría situada relativamente cerca de la zona de lluvia fuerte en 102 de los 130 casos (un 78 %).

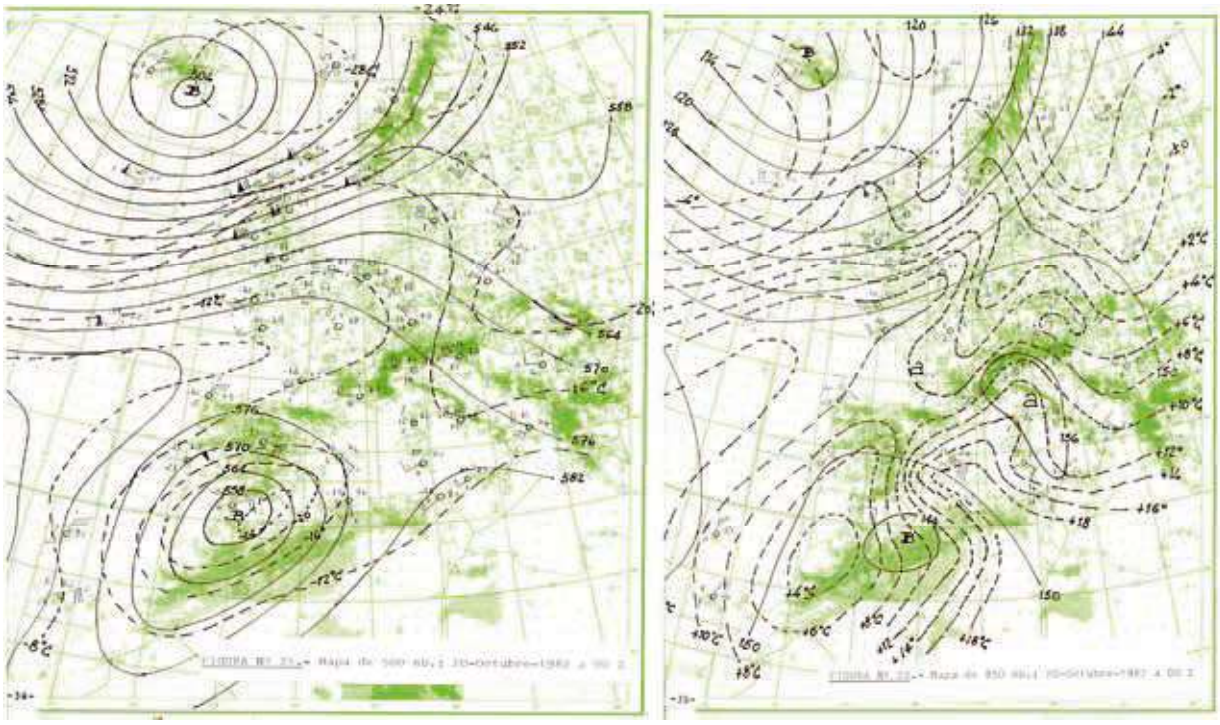
No siempre existe gota fría cuando se dan lluvias torrenciales mediterráneas y, sobre todo, en la mayoría de las gotas frías observadas sobre la península Ibérica y proximidades no se puede asociar ningún episodio de gran lluvia mediterránea. Armengot también observó que solo había lluvia fuerte en la Comunidad Valenciana (más de 100 mm/día) en un 18 % de 575 situaciones en las que se había detectado gota fría próxima (y/o viento fuerte de levante en superficie). Hay que añadir, para precisar, que cuando un chaparrón mediterráneo coincide con la presencia próxima de una gota fría, con la que se lo puede relacionar, la lluvia fuerte no está situada bajo el centro de esta estructura, sino que es marginal. Los estudios de Llasat y otros más modernos (como los de Nieto et al., 2005) muestran, de hecho, que, así como en la zona del sudoeste de la península Ibérica, golfo de Cádiz y Gibraltar, es relativamente frecuente que las gotas frías se formen y tengan su centro allí, en la vertical de la región mediterránea española se forman pocas y menos aún tienen la lluvia fuerte situada en el centro.

«NO EXISTE UNA CORRESPONDENCIA BIUNÍVOCA ENTRE PRESENCIA DE GOTA FRÍA Y EPISODIO DE LLUVIA TORRENCIAL MEDITERRÁNEA»

GOTA FRÍA O DANA

¿Y cómo diferenciar la gota fría de otras depresiones frías aisladas? Algunos autores han postulado que las gotas frías, para que puedan ser consideradas como tales, no deben tener ningún reflejo en superficie, una exigencia que es más utópica que realista, ya que en

Las intensas lluvias caídas en el valle del Júcar el 20 de octubre de 1982 provocaron la ruptura de la presa de Tous, uno de los episodios catastróficos recientes más graves en la Comunidad Valenciana. Se estableció como causa del acontecimiento la presencia de una gota fría. Para mucha gente, *gota fría* se hizo equivalente a situación de grandes lluvias en el Mediterráneo, cuando no lo es. A la izquierda, dos imágenes de la presa de Tous (Valencia) a punto de desbordarse.



García Dana, Font Blasco y Rivera Pérez (1982)

Dos mapas del informe del Instituto Nacional de Meteorología realizado después de la pantanada de Tous (Valencia). La imagen de la izquierda corresponde al 20 de octubre de 1982, a las 00:00 UTC, a 500 hPa (unos 5.500 m de altura), y muestra una profunda depresión aislada, cerrada, con centro hacia Gibraltar y con aire frío dentro: se trata de una gota fría. A la derecha, a 850 hPa (unos 1.500 m de altura) existe una depresión débil en la costa africana que mueve aire cálido desde el Mediterráneo hacia la región valenciana. Como se observa en la imagen, cuando un aguacero mediterráneo coincide con la presencia próxima de una gota fría, la lluvia fuerte no está situada bajo el centro de esta estructura, sino que es marginal.

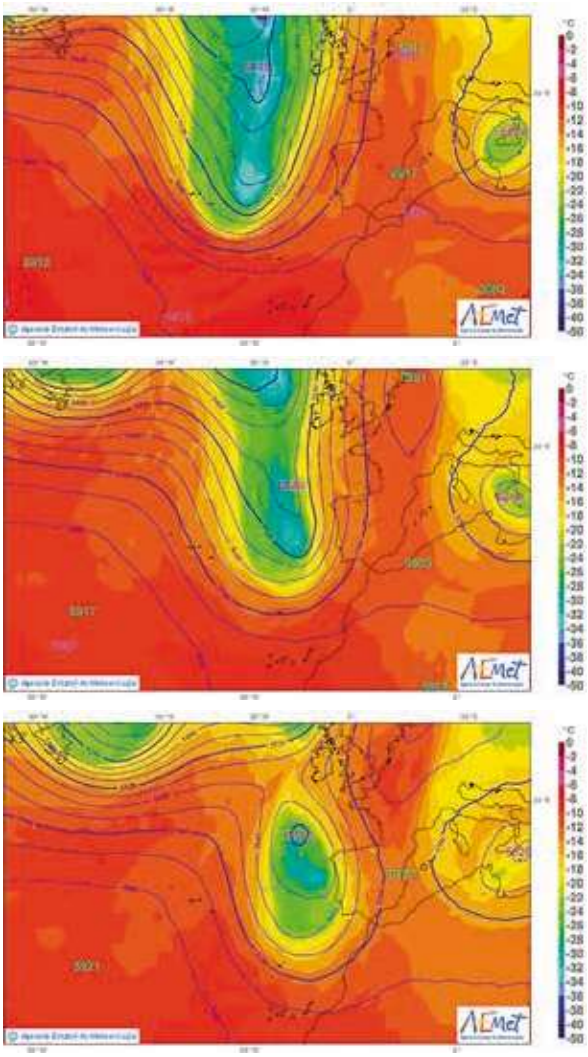
conexión con la gota fría suele haber una depresión en superficie, aunque sea débil y poco perceptible.

Para tratar de evitar la identificación entre gota fría y grandes aguaceros mediterráneos, la meteorología estatal trató de que el término gota fría fuera sustituido por *DANA*, acrónimo de *depresión aislada en niveles altos*. De paso se estaría rindiendo homenaje al meteorólogo Francisco García Dana, primer autor del informe del Instituto Nacional de Meteorología sobre la pantanada de Tous. A diferencia de la gota fría, a una DANA no se le exigiría que no tuviese reflejo en superficie. Sería, por tanto, un término que sustituiría el de *gota fría* y que valdría para todos los casos: tanto si esta tenía reflejo en superficie como si no. El término *DANA* ha tenido un éxito relativo, mientras que *gota fría* ha perdido nivel de uso.

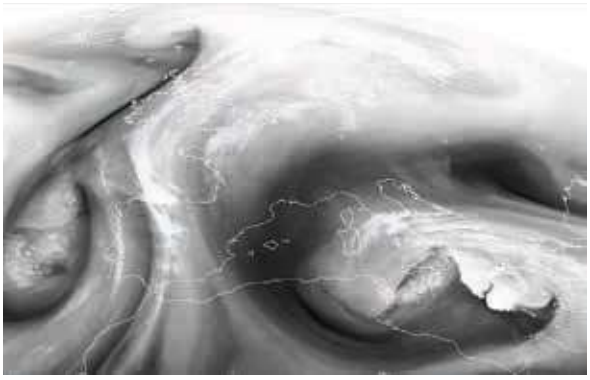
En cuanto a la formación de gotas frías, estas proceden de ondas de la corriente en chorro. La circulación general de la atmósfera, nacida para compensar el desequilibrio radiativo entre las regiones polares y tropicales, hace que los dos tipos básicos de aire que existen sobre la Tierra, el tropical y el polar, se enfrenten directamente en una estrecha banda, a latitud media, llamada «frente polar». Por encima existe un anillo de viento fuerte, de poniente, llamado «corriente en chorro polar». Tanto el frente como la corriente en chorro polares no son rectilíneos, sino que se ondulan y forman meandros. Así, el aire polar baja de latitud en algunas zonas, mientras que el aire tropical sube en otras. La lengua fría que se alarga hacia el sur es, también, una depresión abierta en altura (llamada «surco» o «vaguada»). Cuando la ondulación crece mucho, se alarga y se estrecha, hasta que se rompe su conexión con el chorro polar. Así se aísla el extremo de la onda y queda formada la gota fría o DANA.

«SE DAN CASOS DE GRANDES AGUACEROS MEDITERRÁNEOS EN LOS QUE NO SE VE GOTA FRÍA (DANA)»

Cuando el centro de una gota fría, que no deja de ser una masa de aire polar fuera de lugar, se mueve sobre tierras o mares cálidos, el aire tiende a inestabilizarse verticalmente y se pueden formar aguaceros convectivos (tempestuosos), en principio aislados y no demasiado importantes. Si la gota fría es muy circular, muy simétrica, no habrá más efectos, pero si se dan



Agencia Estatal de Meteorología



Universidad de Dundee

Izquierda, de arriba abajo: evolución atmosférica a 500 hPa (5.500 m de altura), que muestra la formación de una gota fría en el oeste de la península Ibérica, por ruptura de un meandro del chorro polar. Los mapas corresponden a las 12:00 UTC del día 30 de octubre de 2015 y 00:00 UTC y 12:00 UTC del día 31. De acuerdo con la imagen de satélite (arriba, en blanco y negro), la nubosidad asociada a la gota fría atlántica, después de formada, no es convectiva (tempestuosa), excepto pequeños núcleos en el centro. En el Mediterráneo, en cambio, otra gota fría, antigua, envejecida y débil, aparece relacionada con activos sistemas convectivos, al sudeste de Sicilia.

«LA GOTA FRÍA PUEDE SER UN FACTOR FAVORABLE, PERO NO GARANTIZA LOS TÍPICOS GRANDES AGUACEROS MEDITERRÁNEOS»

asimetrías, es fácil que haya una zona periférica de la gota fría donde los vientos en altura sean divergentes, con pérdida neta de aire, de forma que el aire de nivel inferior se verá forzado a ascender, para compensar la pérdida, y se formarán nubes y lluvias. En una gota fría se da esta situación en la dirección hacia la que avanza, que suele ser hacia levante. Ante una gota fría hay que esperar, pues, formación de nubes y lluvias. Pero no basta para poder hablar de situación de grandes lluvias. Solo lo podremos hacer si se añaden más ingredientes. La gota fría puede ser un factor favorable, pero no garantiza los grandes aguaceros típicos mediterráneos.

OTRAS CONTRIBUCIONES A LOS GRANDES AGUACEROS MEDITERRÁNEOS

Una contribución favorable, desde arriba, a las lluvias fuertes mediterráneas no necesita venir de una gota fría o DANA. También los meandros (surcos o vaguadas) abiertos, que no han llegado al aislamiento, pueden proporcionar ascenso generalizado hacia delante, con nubes y lluvias (que, igualmente, solo pueden convertirse en grandes aguaceros si se añaden más ingredientes).

Se dan casos de grandes aguaceros mediterráneos en los que no se ve gota fría (DANA), ni tampoco surco o vaguada abierto, cerca de la zona de lluvia, pero lo que sí que se suele ver casi siempre es una pequeña depresión a nivel bajo, en superficie. En el episodio del 3 y el 4 de noviembre de 1987 (récord de lluvia en España: Oliva, 817 mm/24 h) había gota fría, pero estaba poco definida y bastante hacia fuera de la zona de lluvia. En cambio, muy cerca, había una modesta depresión en superficie.

De acuerdo con un estudio sistemático sobre cientos de casos mediterráneos (Jansà et al., 2001), cuando hay lluvias de 60 mm/día o más en Valencia, Murcia, Cataluña o Baleares existe una depresión próxima y simultánea en más del 95 % de los casos, pero una buena parte de estas depresiones son tan débiles que resultan

Museo Municipal de Alzira - MUMA

Museo Municipal de Alzira - MUMA

En la imagen superior, se puede ver la plaza del Reino con la avenida de los Santos Patronos de Alzira (Valencia) totalmente inundada tras la pantanada de Tous de octubre de 1982. En las imágenes de abajo, la de la izquierda muestra otra perspectiva de la plaza con los casalicios dedicados a San Bernardo inundados en su base. Tras la bajada de las aguas, la fotografía del centro muestra restos de plantas y un automóvil arrastrados por la corriente hasta el mismo monumento. Finalmente, a la derecha, se ve una imagen reciente de la plaza. Las dos últimas fotografías permiten hacerse una idea del nivel que alcanzó el agua.

Museo Municipal de Alzira - MUMA

Pablo Enzo

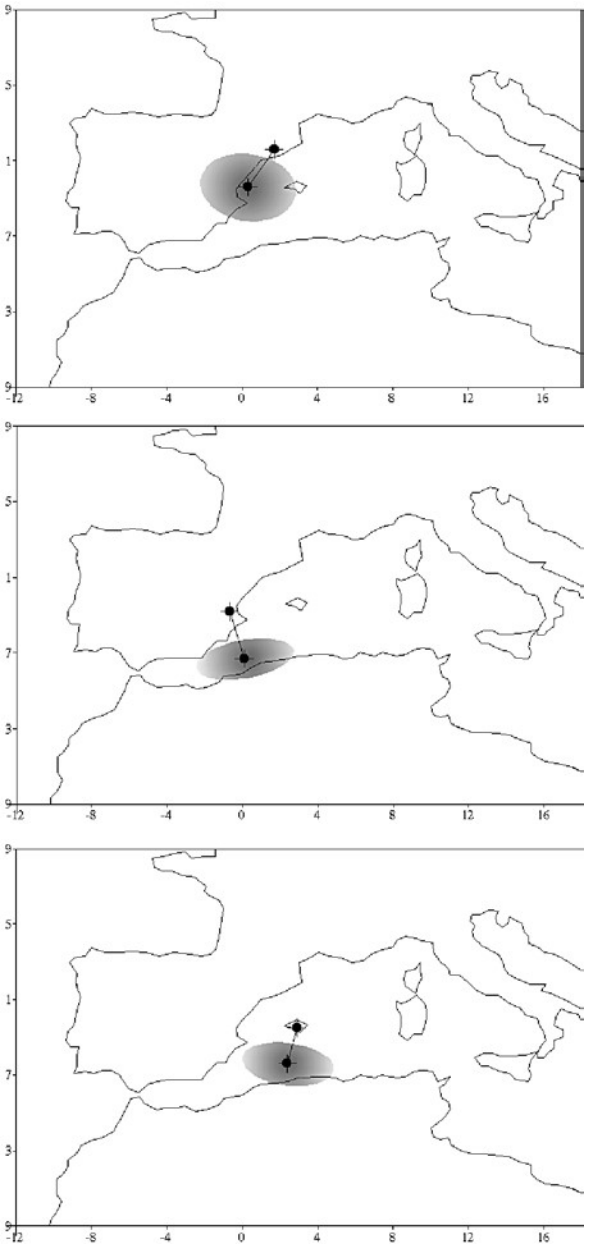
casi indetectables si se emplean mapas suavizados, de poca resolución. Llasat (1991) lo decía así: «[en casos de lluvia fuerte mediterránea] es probable (e incluso necesaria) la formación de pequeñas depresiones en superficie que pasarían inadvertidas».

Las depresiones en superficie atraen aire, que entra (haciendo un giro en espiral) y que se acumularía si no pudiese salir hacia arriba (ascender). Así, pues, las depresiones fuerzan el ascenso (y, por tanto, formación de nubes y lluvias), más eficazmente cuanto más intensa sea la depresión. Sin embargo, aparte del efecto directo, es fácil que las depresiones próximas –aunque sean débiles– tengan un importante efecto indirecto, probablemente más importante: pueden organizar un flujo de aire mediterráneo, cálido y húmedo, limitado, como un pequeño «río atmosférico», que inestabiliza la atmósfera desde bajo y que sitúa y pone en marcha la posible convección, allí donde acaba. Allí donde la corriente mediterránea debe frenar (al encontrar costa, montañas u otra corriente de aire) se fuerza un ascenso, por convergencia y acumulación de aire. La corriente húmeda mediterránea, además, es capaz de restituir el agua que se va perdiendo por la intensa lluvia, lo cual

«ES INDIFERENTE QUE A LA GOTA FRÍA, EN SU CASO, LA LLAMEMOS ASÍ O DIGAMOS 'DEPRESIÓN AISLADA EN NIVELES ALTOS' O 'DANA'»

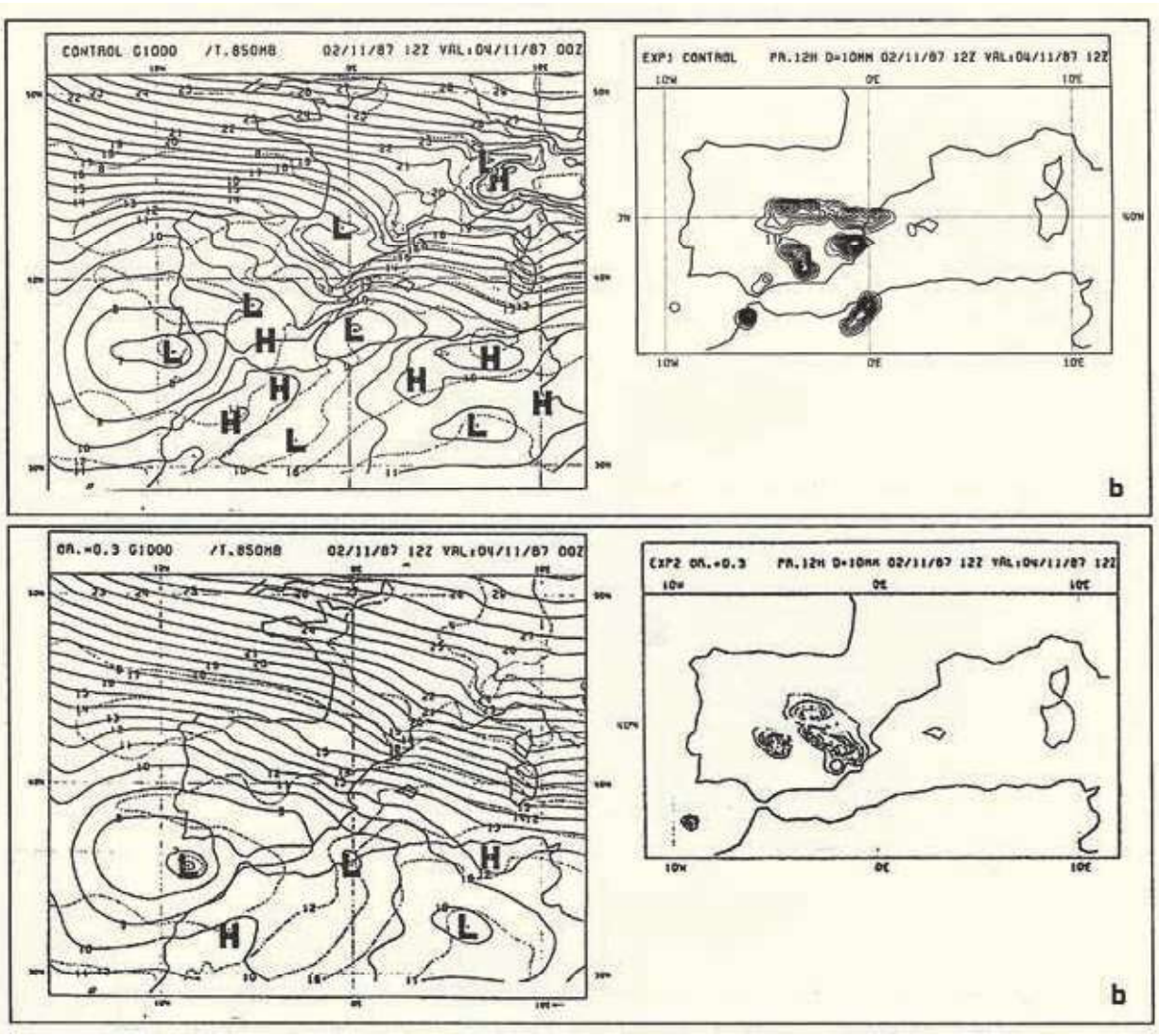
permite aumentar la acumulación. Hay que advertir que el aire mediterráneo suele ser cálido y húmedo, sobre todo en otoño, porque el mar es un gran almacén de energía, en particular tras el largo verano. Por eso muchos de los episodios de grandes lluvias mediterráneas suceden en otoño.

Capel Molina (1989) lo resumía así: «En el área mediterránea, las lluvias intensas van ligadas a circulación de Levante [...] en la capa baja y flujo del SW difluente en altura, correspondiente al borde oriental de un embolsamiento o gota fría.» Básicamente coincide con lo que hemos planteado: para las grandes lluvias mediterráneas es casi necesario un flujo limitado de aire mediterráneo, cálido y húmedo, normalmente de levante si nos referimos a Cataluña, Valencia, Murcia o Baleares. Una depresión dentro del Mediterráneo, en niveles atmosféricos bajos, es el mecanismo más apropiado para organizar este flujo. Esta depresión se forma por efecto orográfico, a sotavento de las montañas africanas, o por ascenso de aire, ligado a la divergencia en altura, al flujo difluente, normalmente del sudoeste, asociado al margen oriental de una gota fría



Las elipses sombreadas en los mapas representan la localización preferente de las depresiones que son simultáneas a lluvia fuerte en Cataluña, Valencia, Murcia y Baleares (Jansà et al., 2001). De hecho, la presencia de una depresión o baja entre la península y la costa africana es casi una constante cuando existen lluvias fuertes hacia Murcia o la Comunidad Valenciana. Cuando los aguaceros afectan a las Baleares, la depresión suele situarse relativamente cerca de las islas, hacia el sur. Si las lluvias fuertes se dan en Cataluña, la depresión se centra más hacia el mar Balear.

«EL TÉRMINO 'DANA' HA TENIDO UN ÉXITO RELATIVO, MIENTRAS QUE 'GOTA FRÍA' HA PERDIDO NIVEL DE USO»



Jansà, García-Moya y Rodríguez (1991)

Episodio de lluvia récord del 3 y el 4 de noviembre de 1987. En un estudio del episodio, una simulación numérica detallada reproducía bastante fielmente la realidad: una depresión poco importante (letra L de *Low*, "baja" en inglés), con centro en el sur de Alicante (mapa de arriba, izquierda) organizaba una potente entrada de aire mediterráneo hacia la Safor y la Marina Alta, donde se situaba y concentraba un marcado máximo de precipitación (mapa de arriba, derecha). Si en una simulación numérica de la atmósfera se rebajaba el relieve a un 30 % del real, la depresión (L) resultaba debilitada y el flujo mediterráneo, desorganizado (mapa de abajo, izquierda), con merma de la lluvia (imagen de bajo, derecha). Conclusiones: 1) La depresión superficial había sido un elemento clave de la concentración de lluvia. 2) La depresión, en este caso, había tenido causa orográfica, por lo menos parcialmente, ya que se debilitaba al rebajar artificialmente la orografía real (Jansà et al., 1991).

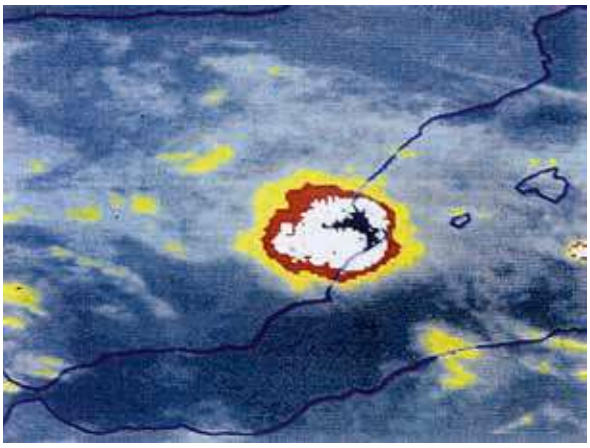
o vaguada. La presencia, aunque no sea muy próxima, de una gota fría o vaguada en altura favorece no solo la formación de una depresión mediterránea superficial, sino que, por el ascenso que representa, favorece la formación de nubes y lluvias y, si las condiciones son próximas a la inestabilidad, contribuye al inicio de la convección. En muchos casos la convección puede convertirse en profunda y organizada, con posibles sistemas convectivos, grandes, a veces estacionados y de larga duración.

En resumen, en los episodios de grandes lluvias mediterráneas una gota fría es un factor favorable, cierto, pero no necesario; a veces basta con un vaguada

«PODEMOS HABLAR DE 'GOTA FRÍA', SIEMPRE QUE QUEDE CLARO QUE NO ES SINÓNIMO DE LLUVIA FUERTE MEDITERRÁNEA»

abierta o, simplemente, con una dinámica en niveles altos no opuesta al ascenso de aire. La presencia de una depresión superficial, capaz de organizar un flujo limitado de aire mediterráneo cálido y húmedo, es un factor casi necesario, pero no suficiente. Condiciones cercanas a la inestabilidad son otro ingrediente favorable. Se tienen que sumar dos o más ingredientes favorables para llegar a episodios de grandes lluvias mediterráneas.

De paso, y para acabar, es indiferente que a la gota fría, en su caso, la llamemos así o digamos «depresión aislada en niveles altos» o «DANA». Particularmente, no encuentro ningún problema en hablar de «gota fría», siempre que quede claro que no es sinónimo de lluvia fuerte mediterránea.



Riosalido, Rivera y Martín (1988)

Imagen de satélite infrarroja, el 4 de noviembre de 1987, de madrugada, realzada en falso color: un sistema convectivo de mesoescala, semiestacionado, se ha formado y situado hacia la Safor. Este sistema convectivo, activado por la entrada de un «pequeño río» de aire mediterráneo, fue la causa inmediata de la acumulación récord de lluvia en Oliva (Valencia).

REFERENCIAS

Armengot Serrano, R. (2002). *Las lluvias intensas en la Comunidad Valenciana*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.

Capel Molina, J. J. (1989). Las lluvias torrenciales de noviembre de 1987 en Levante y Murcia. *Estudios Románicos, 6*, 1551–1562.

García Dana, F., Font Blasco, R., & Rivera Pérez, A. (1982). *Situación atmosférica causante de lluvias torrenciales durante los días 19 al 21 de octubre de 1982 en el Levante español*. Madrid: Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones.

Jansà, A., García-Moya, J. A., & Rodríguez, E. (1991). Numerical experiments on heavy rain and Mediterranean cyclones. The 3-4 Nov 1987 and 4-6 Sep 1989 cases. Report of the Fourth Session of the Steering Group on Mediterranean Cyclones Study Project. *World Meteorological Organization/TD, 420*, 37–47.

Jansà, A., Genovés, A., Picornell, M. A., Campins, J., Riosalido, R., & Carretero, O. (2001). Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part 2: Statistical approach. *Meteorological Applications, 8*, 43–56. doi: 10.1017/S1350482701001049

Llasat Botija, M. C. (1991). *Gota fría*. Barcelona: Editorial Boixareu Universitaria.

Nieto, R., Gimeno, L., De la Torre, L., Ribera, P., Gallego, D., García-Herrera, R., … Lorente, J. (2005). Climatological features of cutoff low systems in the Northern hemisphere. *Journal of Climatology, 18*, 3085-3103. doi: 10.1175/JCLI3386.1

Riosalido, R., Rivera, A., & Martín, F. (1988). Development of a mesoscale convective system in the Spanish mediterranean area. En *7th Meteosat Scientific Users' Meeting* (pp. 375–378). Madrid: EUMETSAT.

Agustí Jansà. Doctor en Ciencias Físicas. Meteorólogo. Colaborador honorífico en la Universidad de las Islas Baleares.

ASCENDENCIA, LLUVIA Y CONVECCIÓN

El aire tiene una capacidad limitada para contener vapor de agua, mayor cuanto más alta sea la temperatura. Cuando enfriamos aire húmedo, por ejemplo por expansión, y eso hace que suba, se puede llegar fácilmente al límite de capacidad de este aire (entonces se dice que existe «saturación») y, si sigue el enfriamiento por ascenso, entonces sobra agua, que es expulsada para formar nubes y lluvias. Así, la ascendencia de aire húmedo es la vía normal de formación de nubes y lluvias en la atmósfera. La intensidad de la lluvia depende de la cantidad de vapor de agua que inicia el ascenso y de la velocidad del mismo.

Mientras que el aire que está subiendo y enfriándose encuentre un ambiente menos frío, habrá estabilidad vertical y el ascenso no será espontáneo, sino forzado. El ascenso forzado por mecanismos de la dinámica meteorológica no es rápido (1-10 cm/s), aunque puede crecer (hasta 1-10 m/s) si se suma un ascenso orográfico.

El ascenso más rápido y la lluvia más intensa se alcanzan cuando el aire ascendente, a pesar de enfriarse, resulta más cálido que el ambiente. Entonces se dice que la atmósfera es «inestable verticalmente» y la ascendencia se hace espontánea y acelerada, con velocidades verticales altas (de 10-50 m/s). Es cuando se dice que existe «convección». La convección es favorecida, lógicamente, por la presencia de aire frío en altura o por la presencia o inyección de aire cálido y húmedo en las capas bajas.

Las nubes convectivas tienen gran desarrollo vertical y límites bien definidos, de forma que en las imágenes de satélite se ven como manchas brillantes y recortadas.

Cada ascenso convectivo dura poco, pero la convección se puede organizar, formándose agrupamientos o sistemas convectivos, de larga duración. Los llamados «sistemas convectivos de mesoescala» (SCM), pueden superar dimensiones del orden de los 100 km y duraciones de unas cuantas horas. Obviamente, un SCM estacionado en un territorio puede producir las mayores acumulaciones de precipitación.

A. JANSÀ