



# La Helicidad efectiva

## EN EL PRONÓSTICO DE SUPERCÉLULAS Y TORNADOS

CARLOS PEREA HITOS. AEMET, MÁLAGA

### 1.- INTRODUCCIÓN

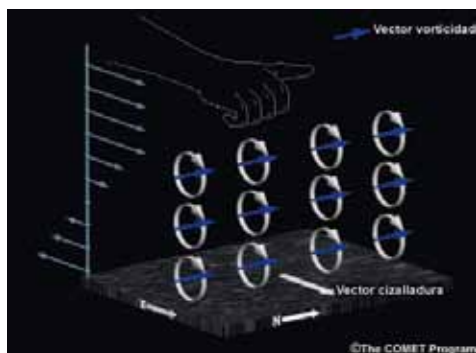
El estado de la atmósfera influye cada vez más en la actividad humana. De entre toda la fenomenología adversa a que puede dar lugar, destacan las supercélulas y los tornados (los cuales pueden estar asociados a supercélulas o no). Una supercélula se define como una estructura convectiva que se caracteriza por la presencia de un mesociclón persistente que afecta a una parte importante de la corriente ascendente. Hoy día se acepta que debe persistir al menos 20', que es el tiempo medio estimado que invierte una burbuja en recorrer la totalidad de corriente ascendente, y ocupar al menos 1/4 de la profundidad de la corriente ascendente (Markowski, 2010).

Aparte de la caracterización dinámica y térmica del entorno convectivo, hay una variable física, la helicidad, que nos permite identificar zonas en las que potencialmente se pueden desarrollar supercélulas y/o tornados. Disponer de mapas espaciales de este parámetro puede permitir la emisión de alertas tempranas a la población. A continuación veremos lo que representa la helicidad y los distintos tipos de cálculo, así como la revisión concreta de los valores de dicha magnitud en un caso concreto de tornado, donde se pone de manifiesto el importante valor añadido que presenta la helicidad efectiva relativa a la tormenta.

### 2.- LA HELICIDAD Y EL TÉRMINO DE INCLINACIÓN EN LA ECUACIÓN DE LA TENDENCIA DE VORTICIDAD

La helicidad es una magnitud física asociada a los fluidos en movimiento y mide en cada punto la proyección de la vorticidad en la dirección del movimiento del fluido. En meteorología, la helicidad se suele calcular respecto al movimiento horizontal ( $\vec{C}$ ) de la corriente ascendente denominándose 'Helicidad Relativa a la Tormenta' (con acrónimo SRH en inglés) y matemáticamente viene expresada por:

$$SRH = \int_{z_1}^{z_2} (\vec{V}_h - \vec{C}) (\nabla \times \vec{V}_h) dz$$



**Figura 1: Vorticidad horizontal anticiclónica fruto de la existencia de cizalladura vertical de viento. Se observa cómo el vector vorticidad horizontal es perpendicular al vector cizalladura. Fuente: The Comet Program**

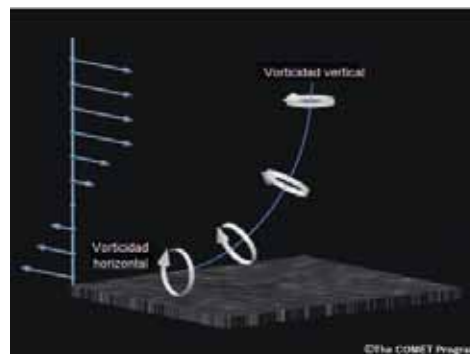
donde  $\vec{V}_h$  es el campo de velocidad horizontal del fluido y  $\vec{C}$  la velocidad horizontal de movimiento de la corriente ascendente. La helicidad la podemos visualizar como un 'sacacorchos' girando, cuyo eje estuviera alineado con el movimiento del fluido.

La vorticidad se define matemáticamente como el rotacional del campo de velocidades ( $\vec{\omega} = \nabla \times \vec{V}$ ), y es una medida del giro o rotación en cada punto del campo de velocidades. Al ser un campo vectorial consta de tres componentes. Aquí nos interesa ver cómo las componentes horizontales de la vorticidad y su giro asociado se puede transformar en rotación vertical, generadora del mesociclón característico de las supercélulas. La respuesta nos la proporciona la ecuación de la tendencia de la vorticidad vertical, que se presenta a continuación, y en la que se han despreciado el término vorticidad planetaria y la generación baroclina de vorticidad vertical.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\vec{v} \cdot \nabla \zeta + \vec{\omega} \cdot \nabla w = -u \frac{\partial \zeta}{\partial x} - v \frac{\partial \zeta}{\partial y} - w \frac{\partial \zeta}{\partial z} + \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) \frac{\partial w}{\partial x} + \left( \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) \frac{\partial w}{\partial y} + \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \frac{\partial w}{\partial z} \quad (1)$$

El cambio de la vorticidad vertical con el tiempo ( $\partial \zeta / \partial t$ ) consta de tres términos: el primero se denomina 'de advección' (1) y está relacionado con la existencia de un campo previo de vorticidad vertical, el segundo se denomina 'de inclinación' (2), y el último es el 'de estiramiento' (3). Estos últimos son mecanismos de generación de vorticidad vertical, al no necesitar de la existencia de un campo de vorticidad previo. El término 'de inclinación' depende de gradientes verticales de la velocidad horizontal (que es lo que denominamos cizalladura vertical del viento), y de gradientes horizontales de la velocidad vertical (que es lo que sucede en las proximidades de una corriente ascendente).

Pues bien, en ambientes con cizalladura vertical del viento y en la proximidad de corrientes ascendentes se puede producir una transferencia de vorticidad horizontal a vorticidad vertical y por tanto es probable la generación de supercélulas (figura 2). La dificultad estriba en el cálculo del valor de la helicidad. De su de-



**Figura 2: Transferencia de vorticidad horizontal a vorticidad vertical en un ambiente con cizalladura vertical del viento y en la proximidad de una corriente ascendente convectiva. Fuente: The Comet Program**

finición vemos que depende de la velocidad de movimiento horizontal de la corriente ascendente ( $\vec{c}$ ), y del espesor de la atmosfera que se use para su cálculo. Pequeñas variaciones en estos valores pueden dar lugar a grandes cambios del valor de la helicidad. Bunkers (1998) y Thompson (2006) en sendos experimentos intentaron delimitar el valor de la velocidad de movimiento de la tormenta, y del espesor idóneo para el cálculo de la helicidad.

### 3.- EL EXPERIMENTO DE M. J. BUNKERS SOBRE LAS CÉLULAS DIVIDIDAS

Tradicionalmente se ha tomado como vector movimiento de las células convectivas el viento en 700 hPa, o el viento medio de un cierto espesor de la atmosfera ajustado de manera que intente reproducir el movimiento real. En concreto se tomaba el 75% del viento medio de los 6 primeros km girado  $30^\circ$  a la derecha. Estos métodos no eran útiles en ciertas situaciones en que las células observadas se movían hacia la izquierda del viento medio.

Es un hecho observado que en un determinado ambiente convectivo con importante cizalladura vertical del viento, las tormentas con cierto desarrollo pueden dividirse (storm-splitting) en dos que se mueven, respectivamente, a la derecha e izquierda del viento medio como se observa en la figura 3. La helicidad calculada para cada una de ellas puede ser muy diferente pues tienen movimientos distintos. En el experimento se trató de correlacionar el movimiento real de un conjunto de supercélulas (moviéndose a derecha e izquierda del viento medio) con valores del perfil del viento observado. La conclusión fue que el error en el movimiento de las células divididas se minimizaba tomando su posición

en la hodógrafa  $7.5 \text{ m/s}$  a la derecha ( $V_{RM}$ ) y  $7.5 \text{ m/s}$  a la izquierda ( $V_{LM}$ ) del viento medio de los 6 km inferiores como se muestra en la imagen de la derecha de la figura 3.

### 4.- EL EXPERIMENTO DE RICHARD L. THOMPSON SOBRE LA CAPA EFECTIVA

El segundo factor de incertidumbre en el cálculo de la helicidad es la determinación de los niveles de integración. Tradicionalmente se ha tomado como estrato de integración el que comprende 1 km o 3 km hacia arriba desde el suelo. Aunque puede tener algún fundamento físico, no deja de ser una elección un tanto arbitraria. El objetivo es encontrar un estrato, definido por su base y tope, que sea representativo del flujo horizontal que puede estar alimentando la corriente ascendente de la supercélula, pues es la helicidad de ese flujo la que estamos interesados en calcular. Flujos alimentadores compuestos por ‘burbujas’ con mucho CIN (*Convective Inhibition*), o que teniendo poco CIN desarrollen en su ascenso poco CAPE (*Convective Available Potential Energy*), difícilmente van a contribuir al desarrollo de la corriente ascendente.

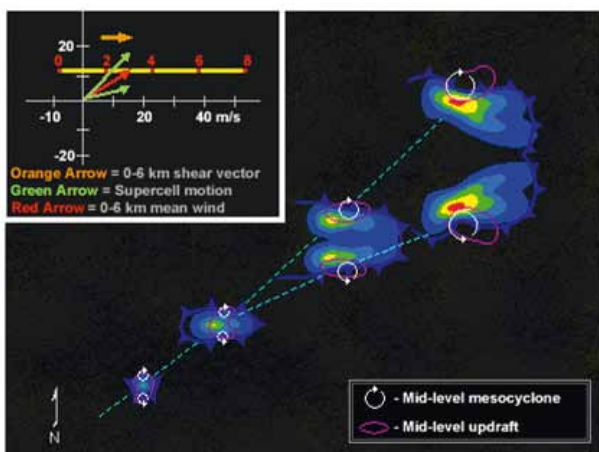
El experimento de Richard L. Thompson trata de delimitar el estrato de integración a burbujas que cumplan unos valores adecuados conjuntos de CIN y CAPE. Para ello ejecutó un modelo de alta resolución temporal y vertical, en el entorno de un conjunto de supercélulas observadas. Se calculó las pareja de valores (CIN-CAPE) para burbujas representativas de cada uno de los niveles en la vertical del modelo de alta resolución utilizado, y se encontró que la pareja de valores (CAPE=100 J/kg, CIN=250 J/kg) permitía definir un estrato en el 95% de las supercélulas observadas sin aumentar mucho los casos de falsas alarmas. Así, este estrato de integración llamado ‘capa efectiva’, estaría limitado por la base efectiva, primer nivel en el que se cumple el criterio de (CIN, CAPE) y el tope efectivo, primer nivel en el que deja de verificarse la condición.

Así pues, la helicidad calculada para las células divididas, por el método de Bunkers y en la capa definida por el espesor efectivo nos proporciona la helicidad efectiva

### 5.- EJEMPLO. HELICIDAD EFECTIVA EN UN CASO REAL DE UN TORNADO

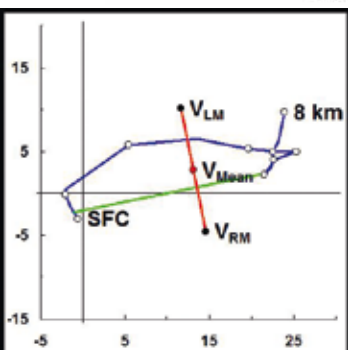
Para finalizar, en las figuras 4 y 5 se representan las helicidadas relativas a la tormenta calculadas según distintos métodos a partir del modelo IFS actualmente operativo en el ECMWF, para el día 16 de septiembre de 2014 a 12 UTC en el que se produjo un tornado en Valdelamusa (Huelva). Estuvo acompañado de tormenta y lluvias fuertes y fue clasificado como EF1 en la escala de Fujita. Hay que tener en cuenta que la aplicabilidad operativa de la helicidad no sólo vale para supercélulas sino también para determinados tipos de tornados de cierta entidad.

En la figura 4, en la primera fila se muestra la helicidad calculada por el método ‘clásico’ en el que se toma como movimiento de la corriente ascendente el 75% del viento medio de los 6 km junto al suelo girado  $30^\circ$  hacia la derecha, en las capas con espesores de 1 km y 3 km desde el suelo. En la segunda fila aparece la helicidad calculada por el método de Bunkers de las células divididas (con movimientos a izquierda y derecha del viento



Weisman and Klemp, Ray, Ed., 1986 / The COMET Program

**Figura 3:** Storm-splitting como se observaría en una imagen radar (figura de arriba) y valores del vector movimiento de las células divididas (a derecha e izquierda del viento medio) representados sobre una hodógrafa (figura de la izquierda). La línea verde indica el vector cizalladura. Los vectores movimiento de cada célula se sitúan  $7.5 \text{ m/s}$  a izquierda y derecha del viento medio de los 6 km junto al suelo, sobre una perpendicular al vector cizalladura. Fuente: The Comet Program y elaboración propia.



# La Helicidad efectiva

EN EL PRONÓSTICO DE SUPERCÉLULAS Y TORNADOS

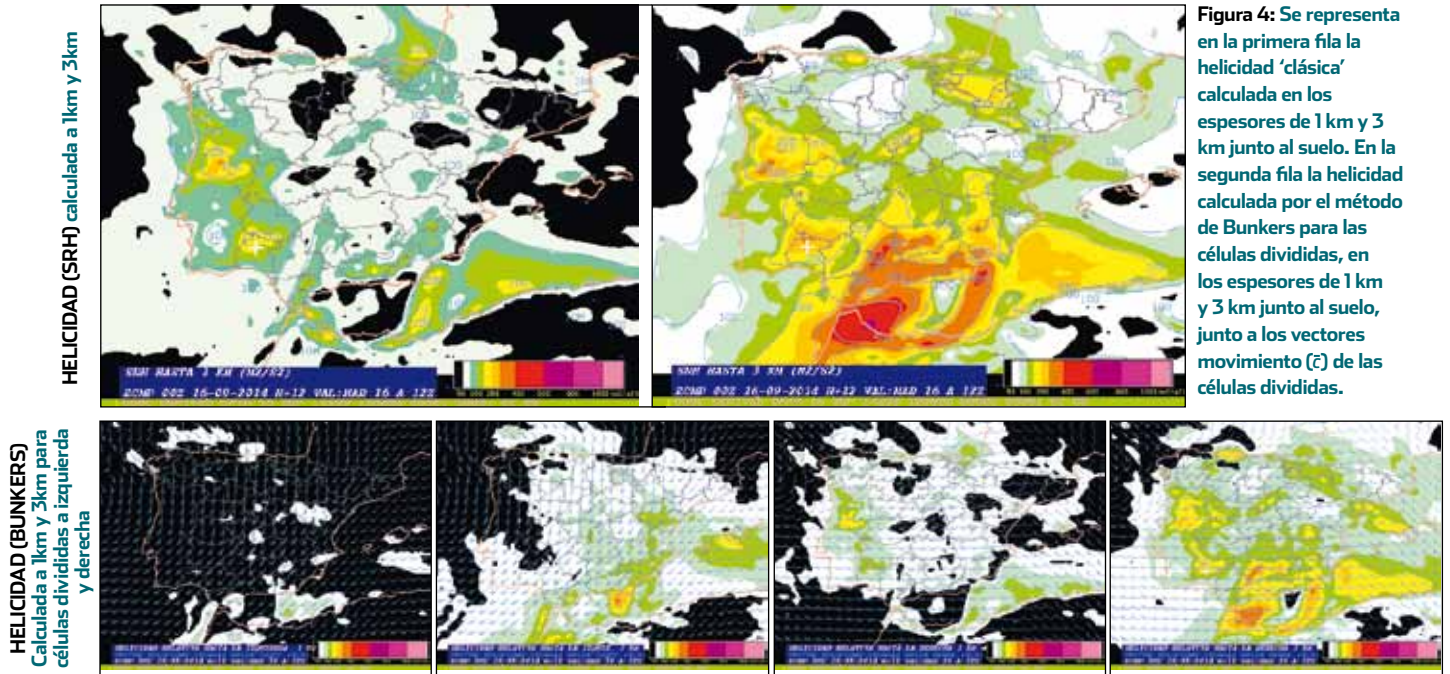


Figura 4: Se representa en la primera fila la helicidad 'clásica' calculada en los espesores de 1 km y 3 km junto al suelo. En la segunda fila la helicidad calculada por el método de Bunkers para las células divididas, en los espesores de 1 km y 3 km junto al suelo, junto a los vectores movimiento ( $\vec{c}$ ) de las células divididas.

medio) con espesores de 1 km y 3 km junto al suelo. Por último, en la figura 5, se muestra la helicidad efectiva, que es la helicidad calculada por el método de Bunkers de las células divididas en la capa efectiva.

La helicidad calculada por el método clásico se caracteriza por dar señales muy extensas y valores altos. La helicidad calculada por el método de Bunkers sigue dando señales extensas aunque el valor lo reduce ligeramente. Por último la helicidad efectiva reduce considerablemente el área con señal significativa ( $>150 m^2 s^{-2}$ ) ajustándola bastante bien al área en donde se produjo el tornado como se aprecia en la imagen de la derecha de la figura 5.

En conclusión podemos decir que el uso de la helicidad efectiva proporciona un alto valor añadido al pronóstico de tornados y supercélulas. Hay que subrayar que no es suficiente con que haya valores altos de la helicidad efectiva ( $150 m^2 s^{-2}$ ), sino que es necesario que ésta se de en zonas donde se estén produciendo corrientes ascendentes.

Por otra parte, en el área de la Península Ibérica y Mar Mediterráneo, existen indicios de que el mero hecho de que exista una capa efectiva, aunque la helicidad efectiva calculada en sea capa sea pequeña (menores de  $100-150 m^2 s^{-2}$ ), también puede ser útil para el pronóstico de algún tipo de fenómeno extremo como lluvias fuertes, granizo o trombas marinas.

## REFERENCIAS PRINCIPALES

- Bunkers, M. J., B. A. Klimowski, J. W. Zeitler, R. L. Thompson, and M. L. Weisman, 2000: Predicting supercell motion using a new hodograph technique. *Wea Forecasting*, 15, 61-79.
- R. L. Thompson, C. M. Mead and R. Edwards, 2006: Effective storm-relative helicity and bulk shear in supercell thunderstorm Environments.
- P. Markowski, Y. Richardson, 2010: *Meso-scale Meteorology in Mid-latitudes*. Wiley-Blackwell.

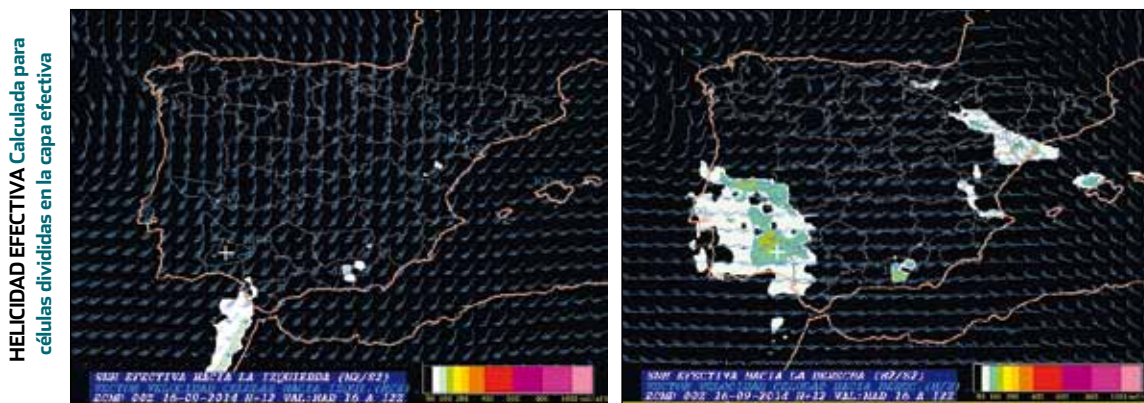


Figura 4: Helicidad efectiva para las células que se mueven a izquierda y derecha y vectores movimiento ( $\vec{c}$ ) de las células divididas. En la zona de ocurrencia del tornado (marcada con una cruz), la helicidad efectiva de las células con movimiento a derecha muestra valores altos en torno a  $150 m^2 s^{-2}$ .