



El eolometeoro de Caracas (Venezuela) del 07/05/2012: ¿un mini tornado?

Eliana Peña T.^{1,2*}, Nelson Falcón², Iñaki Iza³

¹ Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Departamento de Física. Estudios Básicos

² Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Laboratorio de Física de la Atmósfera y del Espacio Ultraterrestre, Departamento de Física

³ Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inameh)

* **Autor de correspondencia:** Eliana.Pena@gmail.com

Resumen

Los torbellinos y trombas marinas son eolometeoros vórtices atmosféricos transitorios, desde la superficie hasta las nubes. Mediante las técnicas de fotometría y modelado dinámico (teledetección) se lleva a cabo el análisis exploratorio a las imágenes, para extraer los órdenes de magnitud de las características físicas del vórtice atmosférico (eolometeoro) más reciente ocurrido en Caracas (07/05/2012). Se pudo concluir que las inestabilidades atmosféricas causadas por vaguadas de altura incrementan el riesgo de vorticidad en la zona centro-costera caribeñas con niveles de F1 -F2 en la escala de Fujita-Pearson.

Palabras Claves

Vórtices atmosféricos. Tornados. Teledetección

Abstract

Tornadoes and waterspouts are transient atmospheric vortexes, from the to the clouds. Using techniques and dynamic modeling photometry (remote sensing) an exploratory analysis is performed to the images, for extracting the orders of magnitude of the atmospheric vortex physical characteristics (aeolusmeteor) occurred in Caracas in may 07, 2012. It is being concluded that the instabilities caused by atmospheric troughs increases the risk of high vorticity in the central-coastal Caribbean area with F1-F2 levels in the Fujita-Pearson scale.

Keywords

Atmospheric vortex. Tornadoes. Remote Sensing

Introducción

De los fenómenos transitorios o de corta duración, en comparación con el ciclo diurno, destacan los vórtices atmosféricos debido al movimiento ascensional y de rotación, con trayectorias de corrientes cerradas de las masas de aire. Los vórtices atmosféricos son eolometeoros asociados al movimiento turbulento y convectivo de las masas de aire y de una ocurrencia permanente en la troposfera. Ya sea a nivel de superficie, para aire seco que se visualiza como "diablillos de arena," remolinos de polvo, o bien para aire sin contacto con la superficie, conocidos como "térmicas," corrientes ascensionales. Los vórtices no siempre son evidentes, pues se requiere de la existencia de partículas que dibujen su trayectoria para su manifestación como meteoros. Evidencia de esto son las partículas de polvo en el aire seco (remolinos de arena de humo), y en el aire húmedo, es el agua condensada la que destaca el ducto vorticoso en relación al aire circundante (Gayà et al, 2001).

En ocasiones estos vórtices son de tal magnitud, en términos de las velocidades de rotación y de ascenso, que su manifestación se nos antoja más extrema e infrecuente; incluso en ausencia de superceldas de tormentas. Por lo tanto, se les conoce como Tornados no Supercelulares cuando el movimiento es sobre la superficie terrestre, y como Trombas Marinas cuando ocurren sobre la superficie del mar, lagos y lagunas. Sin embargo, para alcanzar las magnitudes extremas de vorticidad que dan lugar a los Tornados y las Trombas Marinas, deben existir condiciones meteorológicas de inestabilidad convectiva muy precisas, típicas de las tormentas con nubes cúmulus y cumulonimbos (Glickman, 2000).

Los Tornados y las Trombas Marinas ocurren también en Venezuela, aun cuando su intensidad y frecuencia es menor que en otras latitudes. Falcón y colaboradores han reportado dos decenas de tornados y trombas marinas en la última década, con intensidades de hasta F2 en la Escala de Fujita-Pearson (Sira et al, 2010; Falcón et al, 2012) y no parecen estar asociados a superceldas de tormentas, por lo que se consideran "mini tornados" o "trombas de Tierra"; "Lanspout" en el léxico anglosajón como lo menciona Torro (2012).

El más reciente meteoro asociado a la vorticidad en Venezuela, ocurrió en la Ciudad de Caracas el 07/05/2012. Este evento fue ampliamente reseñado en

la prensa local, con innumerables imágenes captadas por el público, lo cual acaparó la atención mediática a la par de una controversia sobre su naturaleza y si podía o no ser catalogado como tornado. El objetivo del presente trabajo es describir tal evento y sus condiciones de ocurrencia. Para ello se describe de manera general los eolometeoros no supercelulares en la sección 2. Luego se presenta la fotometría de los eventos, la teledetección a través del Radar de Jeremba, ubicado en el cerro Jeremba, Municipio Colonia Tovar, edo. Miranda (Venezuela), perteneciente a la Red Nacional de Radares Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH, Venezuela) y las imágenes del satélite GOES-13 (sección 3), para finalmente discutir un modelo descriptivo del evento particular fundado en la vorticidad de fluidos baroclinicos (sección 4), antes de presentar las conclusiones en la última sección.

Formación de Tornados no supercelulares

La ocurrencia de estos eolometeoros está asociada a la circulación cerrada de fluidos atmosféricos en regiones de inestabilidad local, caracterizados por el desplazamiento vertical de las masas de aire, en trayectorias helicoidales ascendentes o descendente. Por lo tanto si una superficie, suelo o agua, es calentada "violentamente" (en el sentido del surgimiento de gradientes de temperatura "superadiabáticos", vale decir mucho mayores que el gradiente adiabático seco, en lapsos de tiempo pequeños comparados con el tiempo de ajuste térmico de la superficie), el aire sobre la superficie asciende rápidamente sobre las capas de aires más frías de la atmósfera, produciendo una circulación vertical o corriente convectiva.

En condiciones normales el fluido se comporta barotrópicamente, es decir, las isobaras del fluido atmosférico coinciden con las isoesteras o superficies de igual densidad, obteniendo corrientes convectivas de aire en dirección vertical. Sin embargo, en ocasiones un flujo de viento cortante a nivel de la superficie, origina una inestabilidad trasladando porciones de aire paralelo a la superficie, en este caso el fluido adopta un régimen llamado baroclínico, donde las isobaras ya no son paralelas a las isoesteras, y los centros de presión no coinciden con los centros de gravedad del fluido en movimiento, por lo que las fuerzas de presión y de gravedad no son concurrentes

en el mismo punto, originando así un torque o torsión en el movimiento del fluido; y la corriente convectiva gira al propio tiempo que asciende, generando un movimiento en espiral y un torbellino sobre la superficie. Si además ocurre que un fuerte viento en las capas superiores traslada las capas de aire directamente por encima de la columna ascendente, se alarga la trayectoria del ducto o corriente convectiva (Doswell y Burgess, 1993).

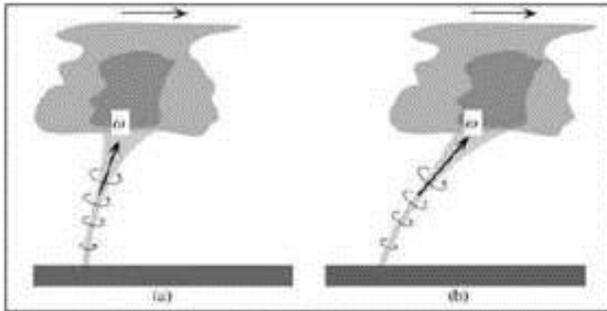


Figura 1. Mecanismos de aumento de la vorticidad en eolometeoros.

Este alargamiento incrementa el giro del torbellino, mejor conocido como vórtice, ese movimiento rotacional súbito es causado por los gradientes de presión y temperatura; y cesa cuando el aire frío descendente por el ducto disminuye el calor de la superficie que creaba la inestabilidad; en términos macroscópico vale decir que el vórtice desaparece cuando cesan las condiciones de convergencia de masa de aire de diferentes temperaturas. Al igualarse la temperatura disminuye el gradiente térmico y en consecuencia se equilibran las presiones, cesando el flujo convectivo ascendente, y desaparece el vórtice y sus manifestaciones visibles como tornados.

Teorema de Kelvin y Vorticidad

Para describir más precisamente la formación y evolución del vórtice troposférico que originan los tornados y trombas marinas, en términos de la mecánica de fluidos (Falcón, 2012), debemos considerar la circulación en términos de la velocidad del fluido \vec{V} , como:

$$\Gamma \equiv \oint_c \vec{V} \cdot d\vec{l} \quad (1)$$

De modo que la derivada convectiva, o derivada material, en el seno del fluido atmosférico, estratificado o no, puede escribirse como:

$$\frac{D\Gamma}{Dt} = \oint_c \frac{D\vec{V}}{Dt} \quad (2)$$

De la Ecuación de Navier-Stokes, en términos de la presión P , de las fuerzas de masa \vec{K} y la viscosidad η_0 es:

$$\frac{D\vec{V}}{Dt} = \frac{\vec{\nabla}P}{\rho} + \vec{K} + \eta \nabla^2 \vec{V} + \frac{\eta}{3} \vec{\nabla}(\nabla \cdot \vec{V}) \quad (3)$$

Donde ρ representa la densidad del fluido. Obtenemos, luego de despreciar el último término del segundo miembro respecto a los anteriores, por ser muy pequeño.

$$\frac{D\Gamma}{Dt} = \int_c \frac{\vec{\nabla}P}{\rho} \cdot d\vec{l} + \int_c \vec{K} \cdot d\vec{l} + \eta \int_c \nabla^2 \vec{V} \cdot d\vec{l} \quad (4)$$

Usando aquí el teorema de Stokes y el algebra correspondiente, obtenemos:

$$\begin{aligned} \frac{D\Gamma}{Dt} = & \iint_A \left[\vec{\nabla} \left(\frac{1}{\rho} \right) \times \vec{\nabla} P \right] \cdot d\vec{A} \\ & + \iint_A \nabla \times \vec{K} \cdot d\vec{A} + 2\eta \iint_A \nabla^2 \vec{\omega} \cdot d\vec{A} \end{aligned} \quad (5)$$

Donde se ha empleado la definición de vorticidad en el último término del segundo miembro: $\vec{\omega} \equiv \vec{\nabla} \times \vec{V}$. En el caso de las trombas marinas y los tornados podemos despreciar la difusión viscosa frente a los otros términos, se sigue entonces:

$$\frac{D\Gamma}{Dt} \cong \iint_A \left[\vec{\nabla} \left(\frac{1}{\rho} \right) \times \vec{\nabla} P \right] \cdot d\vec{A} + \iint_A \nabla \times \vec{K} \cdot d\vec{A} \quad (6)$$

Obsérvese que en el caso de que la gravedad local sea uniforme (ausencia de relieves en la zona de ocurrencia de los vórtices), y como en el caso de Venezuela donde la aceleración de Coriolis es prácticamente nula, puede asegurarse que el campo de Fuerzas de masa \vec{K} es irrotacional, con lo cual se anula el segundo término del segundo miembro de (6), por lo tanto:

$$\frac{D\Gamma}{Dt} \approx \iint_A \left[\vec{\nabla} \left(\frac{1}{\rho} \right) \times \vec{\nabla} P \right] \cdot d\vec{A} \quad (7)$$

De donde se obtiene que la circulación será nula siempre que las isobaras (ortogonales al gradiente de presión) sean paralelas a las isocoras (ortogonales al gradiente de $1/\rho$). Esta condición se verifica en el régimen Barotrópico en el cual la densidad del fluido es sólo función de la presión; vale decir mientras (i) el fluido se pueda considerar incompresible, (ii) la velocidad del aire sea mucho menor que 0,3 Mach y (iii) las capas de aire sobre la superficie mantengan un régimen isotérmico. En esas condiciones se tiene el Teorema de Kelvin:

$$\frac{D\Gamma}{Dt} = 0 \quad (8)$$

El teorema de Kelvin afirma que, en un fluido con régimen barotrópico, la fuerza sobre un tubo o conducto de vórtice permanece constante. De resultar que la sección transversal de un tubo de vórtice es ΔS , entonces (8) demanda que:

$$\omega \Delta S \cong \text{constante} \quad (9)$$

También si consideramos un elemento de longitud Δl del tubo vorticoso, en virtud de la conservación de la masa y de (9) se obtiene que $\omega \sim \Delta l$, vale decir el estiramiento (alargamiento) del ducto del tornado (o de la tromba) conlleva a un incremento de su spin o velocidad angular de giro. Para el inicio de una determinada circulación Γ no nula, es decir del inicio de una tromba marina o de un tornado es necesario, de acuerdo con (7), que el aire sobre la superficie adquiera un régimen baroclínico. Bien por la presencia de un gradiente de temperatura entre aire circundante y superficie que sea superadiabático (completamente inestable en la jerga meteorológica) y el fluido deje de ser isotérmico, la humedad relativa sea tal que el fluido deje de considerarse incompresible y/o, como pudiera ocurrir en el caso de los tornados en Norteamérica, que la velocidad del viento sea orden de un tercio del número de Mach. Evaluar en cada caso particular cual de las tres condiciones mencionadas es la preponderante requiere de medidas in situ muy refinadas no siempre posible para eventos que ocurren de forma inesperada en una región particular.

Eolometeoro en Caracas del 07/05/2012

El 7 de Mayo del 2012 entre las 12:00 y 12:40 HLV ocurrió un eolometeoro, en la base de las nubes cumulonimbus, entre los sectores de La Castellana y Altamira, Municipio Chacao, de la ciudad de Caracas, Venezuela.

Fenomenología y Fotometría de los vórtices

Varios videos amateurs mostraron el vórtice desde diversos ángulos (Video-Hned.com 2012), cuyas escenas más conspicuas se resumen en la figura 2.



Figura 2. . Mosaico de imágenes del Vórtice atmosférico del 07/05/2012.

Obsérvese el ducto en la parte superior, en el centro dos acercamientos del Nódulo extractor y en la parte inferior dos detalles de la corona descendente y la triangulación del epicentro con google-map. Así como, los elementos morfológicos de los tornados: una corona descendente desde la base de una nube tipo cúmulus, un ducto definido; cuya corriente ascendencial es notable en los videos (Video-Hned.com. 2012); y un nódulo extractor con amplia zona de spray.

A diferencia de los tornados, este vórtice presenta el nódulo extractor por encima de los 400 m respecto a la superficie, y el ducto o columna ascendente, es muy estacionario y con poca inclinación vertical (Fig. 3).

Teledetección

Los fenómenos de vorticidad de escala sinóptica, como los tornados y trombas marinas, pueden ser detectados en las imágenes satelitales, tanto en el espectro visible como en el infrarrojo, y la vorticidad

suelen ser detectados, mediante Radares Doppler de uso meteorológico, como flujos convergentes de vientos alrededor de centros baja presión. Se analizó la data de la Red Nacional de Radares meteorológicos (INAMEH) y las imágenes del satélite GOES-12 para analizar los vórtices atmosféricos previamente citados.

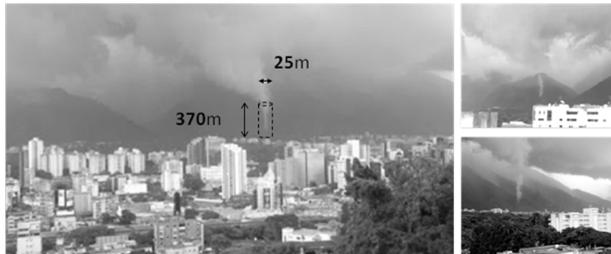


Figura 3. Vista panorámica (Izq) y detalles del ducto vorticoso del Eolometeoro.

Evento en Caracas 2012. Entre las 1300 y 1500 HLV del 07/05/2012 se presentó una inestabilidad atmosférica, con nubes de gran desarrollo vertical (Fig. 4) y gran movilidad a nivel de mesoescala, convergencias de vientos y formación de rápidas tormentas (Fig. 5).

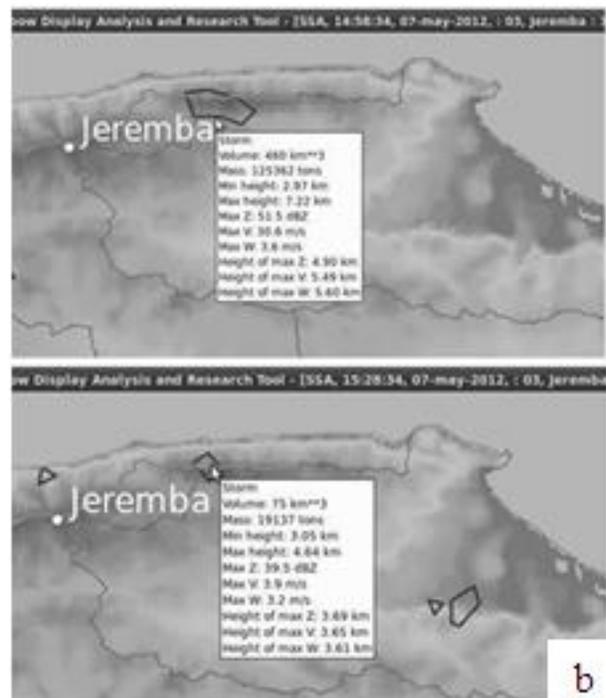
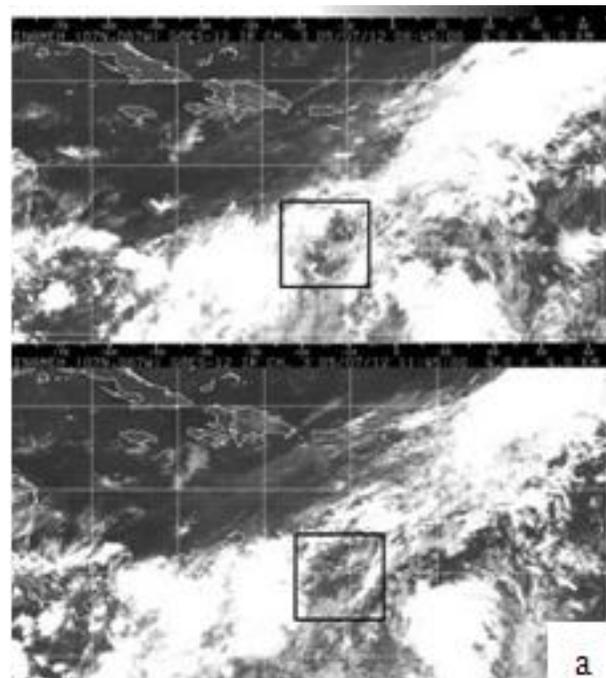


Figura 4. Situación meteorológica del vórtice. (a) Imágenes satelitales. (b) Tormentas detectadas por el radar de Jeremba.

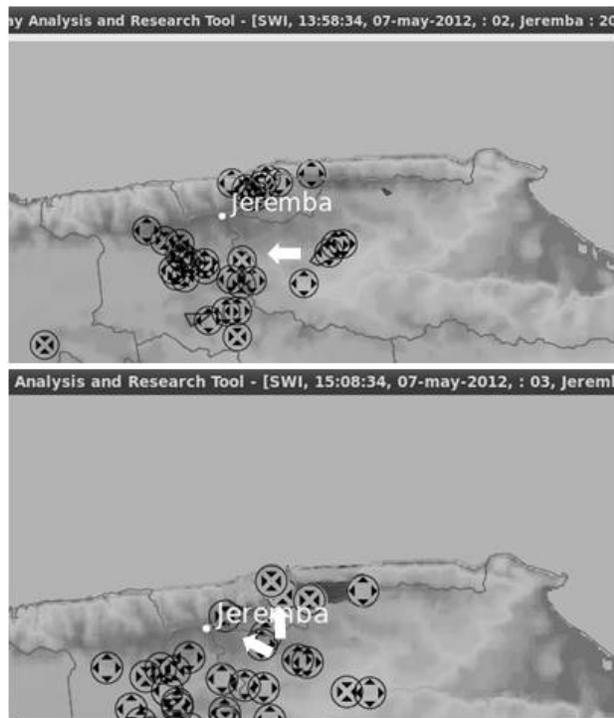


Figura 5. Movimiento de vórtices (círculos con flechas entrantes) según el radar de Jeremba, a 3,15km de altitud sobre el nivel del mar.

En la figura 5 se aprecia la existencia de varios vórtices sobre la región capital desplazándose rápidamente.

Análisis de resultados y discusión

Si una superficie fluida (agua o capa de aire), es calentada violentamente, de modo el aire directamente sobre la superficie asciende rápidamente sobre las capas de fluido directamente encima de ellas (más frías), se produce corriente convectiva. En condiciones normales el fluido atmosférico se comporta barotrópicamente, es decir, las isobaras del fluido atmosférico coinciden con las isoesteras (superficies de igual densidad), y en ese caso las corrientes convectivas de aire se mueven en dirección vertical. Pero en ocasiones, un gran flujo de viento cortante, a nivel de la superficie, ocasiona una inestabilidad, trasladando porciones de aire paralelamente a la superficie. En ese caso el fluido atmosférico adopta el régimen llamado baroclínico, en el cual las isobaras ya no son paralelas a las isoesteras, y los centros de presión no coinciden con el centro de gravedad de la porción de fluido en movimiento, de modo que las fuerzas de presión y de gravedad al no ser concurrentes en el mismo punto, ocasionan un torque o torsión en el movimiento del

fluido; y la corriente convectiva gira al propio tiempo que asciende, generando un movimiento en espiral, y un vórtice por arriba de la superficie. Si además ocurre que un fuerte viento en las capas superiores traslada las capas de aire directamente por encima de la columna ascendente, se alarga la trayectoria del ducto, y este alargamiento incrementa el vórtice en virtud del Teorema de Kelvin (Falcón et al, 2012).

Ese movimiento rotacional súbito puede ser causado por los gradientes de presión y temperatura; y se agota cuando el aire frío descendente, disminuye el calor de la superficie que crea la inestabilidad. Al igualarse la temperatura disminuye el gradiente térmico y en consecuencia se equilibran las presiones, cesando el flujo convectivo ascendente, y desaparece el vórtice y sus manifestaciones visibles (eolometeoros). Mientras permanezca el vórtice sobre la superficie del fluido, el incremento de giro genera una zona de baja presión al interior del ducto, por el cual es impulsada el agua o el aire húmedo, en dirección contraria a la gravedad, produciendo una corriente ascendente de gotitas que se condensan a medida que ascienden en altitud.

La variación temporal de la circulación (Γ) del aire, queda prescrita por la Ec. 6 (véase). Obsérvese que en Venezuela la aceleración de Coriolis es prácticamente nula. Pero ello no es suficiente para asegurar que el campo de Fuerzas de masa K sea irrotacional, para que sea anula el segundo término del segundo miembro de la Ec. (6) hay que imponer la condición de que la gravedad local sea uniforme (ausencia de relieves en la zona de ocurrencia de los vórtices), situación que se verifica en el caso de las trombas marinas, pero que no se cumple en el evento de Caracas, que ocurrió a las faldas del cerro Guaraira Repano (Ávila).

Por otro lado, el primer término del segundo miembro de la Ec. (6) muestra que la circulación será nula siempre que las isobaras (ortogonales al gradiente de presión) sean paralelas a las isoesteras (ortogonales al gradiente de $1/\rho$) este es el régimen Barotrópico, en el cual la densidad del fluido es solo función de la presión; vale decir mientras el fluido se pueda considerar incompresible, la velocidad del aire sea mucho menor que 0,3 Mach y las capas de aire sobre la superficie mantengan un régimen isotérmico.

Para el inicio de una determinada circulación Γ no nula, es decir del inicio de una tromba marina o de un tornado es necesario que el aire sobre la su-

perficie adquiriera un régimen baroclínico (ecuación 6). Es decir que ocurran una o varias de las siguientes condiciones: (a) la presencia de un gradiente de temperatura entre aire circundante y superficie que sea completamente inestable y el fluido deje de ser isotérmico, (b) que la humedad relativa sea tal que el fluido deje de considerarse incompresible, (c) que la velocidad del viento sea orden de un tercio del número de Mach (como los tornados en Norteamérica), (d) que la gravedad local no sea uniforme (adversión por relieve).

Usando los perfiles de radio sondeo meteorológico del evento de Caracas, aportados por el INAMEH, podemos reconstruir las condiciones atmosféricas para el eolometeoro del 07/05/2012. En la figura 6a, se representa la variación de la temperatura respecto a la presión para 4 series temporales: las 6, 9, 12 y 15 horas, recordando que el fenómeno se observó entre 12:00 y 12:40 HLV. Obsérvese que se verifica la iso-

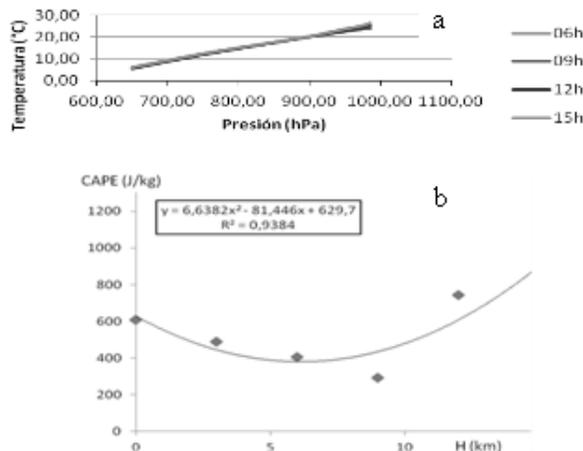


Figura 6. *Atmosfera potencialmente inestable el 07/05/2012 en Caracas. (a) Perfil isotermal. (b) Variación de la Energía potencial convectiva disponible con la altitud.*

termalidad en todo el rango temporal estudiado, sin embargo, la energía potencial convectiva disponible (CAPE) presentó valores significativos para altitudes por debajo de los 5 km (figura 6b). Indicando la inestabilidad atmosférica, al menos condicional. Así resulta que la velocidad máxima potencial de la corriente ascendente (W) puede estimarse a partir del CAPE, como indica la figura 7.

Obsérvese que la velocidad de la corriente ascendente varía monótonamente con la altura, con aceleración negativa (velocidad positiva descendente)

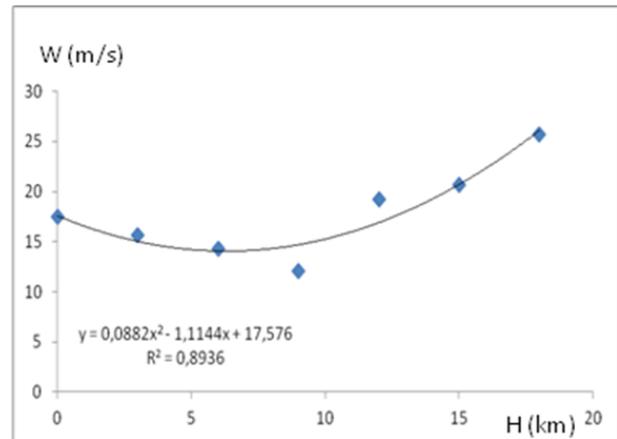


Figura 7. *Variación vertical de la velocidad de la corriente ascendente.*

por debajo de los 5 km, y positiva (velocidad positiva ascendente) para alturas superiores.

La velocidad y dirección del viento se muestran en la figura 8, para las series temporales alrededor del mediodía. Nótese que los valores son muy inferiores a 0,3 Mach (fluido incompresible). La dirección del viento presenta una variación monótona con la altitud, salvo para la serie temporal de las 12h, cambió hacia el WSW por debajo de los 4 km, luego más al este a los 5,1 km, y a retomar su dirección WSW por encima de los 6,6 km, confirmando la vorticidad. Para que existan movimientos ascendentes debe exis-

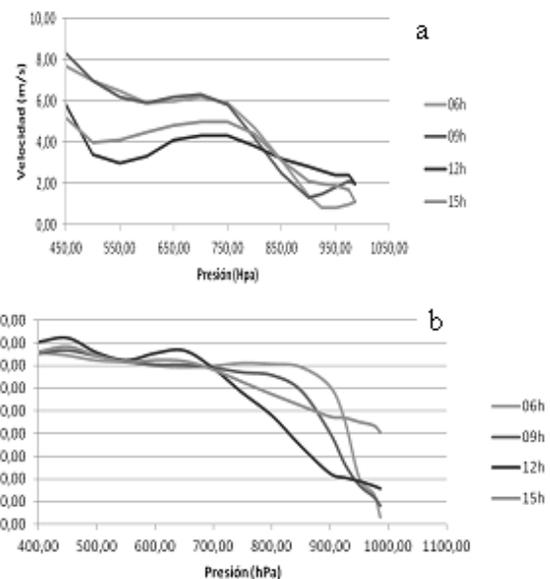


Figura 8. *(a) Velocidad y (b) dirección del viento a diferentes horas del 07/05/2012.*

tir una capa donde la advección de vorticidad crezca

con la altura, típico de una vaguada en altura. Todo parece indicar que la vorticidad suele crecer a medida que aumenta la altura y de la misma forma la advección de vorticidad se intensifica. Los máximos de vorticidad en niveles bajos-medios, asociados a la vaguada, generan zonas de advección de vorticidad en su parte delantera, que a su vez producen movimientos ascendentes acoplados. Los ascensos pueden generar caídas de presión en superficie o reforzar a una baja preexistente, donde convergen los vientos. En niveles altos y cercanos a la tropopausa el aire ascendente no puede seguir ascendiendo y diverge. Este modelo se resumen ideográficamente en la figura 9.

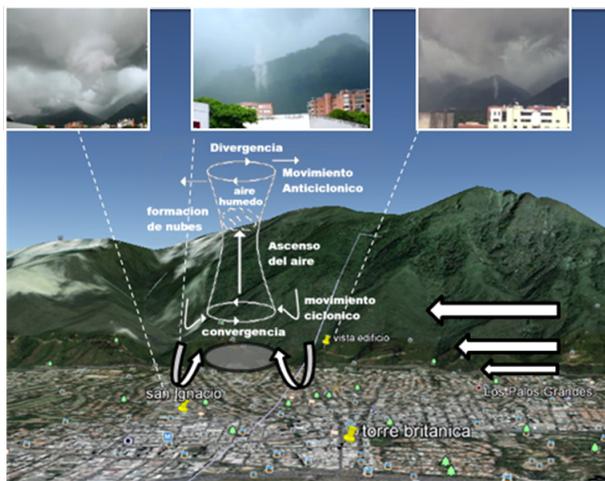


Figura 9. . Modelo descriptivo del vórtice tornádico del eolometeoro del 07/05/2012.

Conclusiones

Cuando el entorno sinóptico es inestable la efectividad de los términos de forzamiento aumenta. Si además existe cizalladura, la circulación forzada originará un vórtice de carácter tornádico. La causa de la cizalladura, puede ser diversa: la orografía y/o una contracorriente de vientos como en el evento de Caracas (07/05/2012); o bien por la presencia de un gradiente de temperatura, que sea completamente inestable y el fluido deje de ser isotérmico como en el caso del evento de las trombas marinas (Sira et al., 2010).

La evolución temporal del vórtice puede favorecer, o no, al aumento de la vorticidad. Si la corriente de vientos a nivel de la base de la nube cumulonimbus es tal que desplaza horizontalmente la corona descendente (ver fig.1) se alargara el ducto vorticoso,

aumentando la vorticidad como lo prescribe el Teorema de Kelvin. De resultar que el vórtice evoluciona y ocasiona un tornado sobre la superficie del mar, como en las tromba marinas (Sira et al., 2010).

Pero si la corriente de vientos en altura no es suficiente para alargar el ducto vorticoso, entonces la vorticidad permanecerá constante y desaparecerá rápidamente al equilibrarse la cizalladura, vale decir el ducto vorticoso permanecerá vertical (fig. 3) y el vórtice no culmina en un tornado, como ocurrió en el evento de Caracas (07/05/2012).

La vorticidad de los tornados no supercelulares y de las trombas marinas podría estar relacionada con una vaguada en altura, la formación del tornado sobre la ciudad Capital fue impedida porque la corriente de vientos que origina la cizalladura, ocasionó un vórtice por encima de la cota de 1400 metros en la ciudad de Caracas (ver figura 9). Si la misma situación meteorológica tuviera lugar a nivel de la superficie, vale decir si la contracorriente de vientos no fuera detenida por el cerro Guaraira Repano (Avila), la zona de spray del vórtice hubiera alcanzado la superficie, si además el viento en la base de la nube hubiera sido al menos dos veces mayor, se habría formando un tornado.

Cabe esperar que eventos de vorticidad de carácter tornádico puedan afectar las zonas urbanas en las proximidades de vaguadas de altura de Venezuela, cuando la cizalladura de vientos cortantes no esté impedida por la orografía, por ejemplo en la región más al este de la Gran Caracas: Guarenas-Guatire, o sobre las regiones de planicies o estepas, siempre que se verifiquen las condiciones de transición entre los regímenes de fluidos barotrópico y baroclínicos como se mostró en la Ec. (5).

Aun cuando el evento de Caracas parece no ser un tornado en el estricto sentido del término, debe tenerse en cuenta “que los procesos físicos que dan nacimiento a todos los tornados no son iguales” (Doswell, 2001), así en algunos tornados el embudo o remolino a nivel de superficie no siempre esta visible.

Agradecimientos

Se agradece los datos del radar suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto Estratégico FONACIT N° 2011-000326 “Caracterización de Fenómenos Transitorios en la

Troposfera baja: Electrometeoros, Litometeoros, Microtornados y Trombas Marinas”.

Bibliografía

Aumont, J.; Marie, M. (1990). Análisis del film. Barcelona, Paidós.

Doswell, C.A. III; Burgess, D.W. (1993). Tornadoes and tornadic storms: A review of conceptual models. Monogr. 79, Amer. Geophys. Union, 161-172.

Falcón, N (2012). “Dinámica de Fluidos y Fenómenos de Transporte” Edit Académica Española, ISBN 978-3-8473-6618-8, Madrid.

Falcón, N; Sira, O; Medina, A. (2012). Estudio descriptivo de los vórtices atmosféricos causantes de Tornados en Venezuela. Revista de Climatología 12, 49-60.

Gayà, M. et al (2001). Tornadoes and waterspouts in the Balearic Islands: phenomena and environment characterization. Atmospheric Research, 56, 1-4, 253-267

Glickman, T.S.(2000). Glossary of Meteorology, 2nd Ed., Amer. Meteor. Soc. Rorvig, Mark E.(1993). A Method for Automatically Abstracting Visual Documents. Journal of the ASIS 44, 1, 40-56.

Sira, O.; Falcón, N.; Vega, C. (2010). Micro-tornados Y Trombas Marinas en Venezuela Revista Ingeniería UC, 17, 1, 73 – 82.

Torro (2012). Tornado and Storm Reserach Organization, Disponible desde Internet en: www.torro.org.uk/site/clasi fy;info.php,01/07/2012

Video-Hned.com. (2012). Mini tornado en Caracas. Disponible desde Internet en: <http://video-hned.com/mini+tornado+en +Caracas 20/06/2012>