

CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS SINÓPTICO DE LOS CICLONES SUBTROPICALES EN EL ATLÁNTICO NORDESTE

Juan J. GONZÁLEZ-ALEMÁN¹, Francisco VALERO¹, Francisco MARTÍN LEÓN²

¹ *Departamento Física de la Tierra II (Astrofísica y CC Atmósfera), Universidad Complutense de Madrid, Madrid*

² *Agencia Estatal de Meteorología, Madrid*

fmartinl@aemet.es

RESUMEN

Este trabajo analiza sinópticamente, con una base climatológica, los ciclones subtropicales (STCs) que se desarrollan en la cuenca este del Atlántico Norte, con el objetivo de complementar otros estudios sobre éstos en el Atlántico Norte, y además, mejorar su predicción. Mediante la aplicación de una serie de criterios procedentes de dos bases de datos se han identificado 15 casos de STC durante el periodo de 1979-2011. El análisis compuesto muestra que una depresión extratropical actúa como precursora al aislarse de la circulación del oeste para sufrir luego una profundización al obtener naturaleza subtropical, y no el típico proceso de decaimiento que ocurre en las borrascas al ocluirse una vez aisladas. La circulación atmosférica en el Atlántico Norte, cuando se forman los STCs, se caracteriza por presentar un patrón anómalo respecto de su climatología. Además, se derivan tres modelos conceptuales de patrones atmosféricos en los que tienden a formarse los ciclones identificados. Por último, la clasificación ambiental muestra que los STCs se desarrollaron predominantemente en un ambiente de alta cizalladura ($>10 \text{ ms}^{-1}$) y baja SST ($<25^\circ\text{C}$), lo que difiere de las características dominantes de los STCs en el Atlántico Norte, asemejándose más a los STCs en el Atlántico Sur.

Palabras clave: Ciclones Subtropicales, Ciclones Extratropicales, Análisis Compuesto, Climatología, SST, Cizalladura.

ABSTRACT

This survey analyzes subtropical cyclones (STCs) formed within the North Atlantic eastern basin from a synoptic point of view, on a climatological basis, with the main aims of complementing other studies of these storms in the North Atlantic, and aiding the forecasting community. 15 cases of STCs were identified during the period of 1979-2011 by applying a set of criteria from two databases. Composite analysis reveals that an extratropical depression acts as precursor when is isolated from the westerlies, and then suffers a deepening when becoming subtropical instead of decaying through occlusion. The atmospheric circulation within the North Atlantic during the subtropical cyclogenesis is characterized by the departures from the climatological pattern. Three conceptual models of synoptic pattern, in which subtropical cyclones tend to form, are derived. Moreover, the identified STCs predominantly formed in a highly sheared (10 ms^{-1}) environment with low sea surface temperature values ($<25^\circ\text{C}$), which differs from the dominant features of STCs within the North Atlantic. However, the identified STCs resemble their South Atlantic counterparts.

Key words: Subtropical Cyclones, Extratropical Cyclones, Composite Analysis, Climatology, SST, Wind Shear.

1. INTRODUCCIÓN

Los ciclones subtropicales (STCs) son sistemas de bajas presiones que muestran características tanto de ciclones extratropicales como tropicales. Tienen una estructura térmica híbrida consistente en una anomalía cálida en niveles bajos de la troposfera y fría en niveles altos. Recientemente, han ganado especial atención al considerárseles como fenómeno meteorológico adverso.

Este estudio está motivado por el comportamiento atípico que tuvo un sistema de bajas presiones que se desarrolló en la cuenca oriental del Atlántico Norte, y que resultó ser un ciclón subtropical (González-Alemán *et al.*, 2014). Ello indujo la búsqueda de más casos análogos en el pasado para tratar de analizarlos desde un punto de vista sinóptico, con una base climatológica, con el objetivo principal de complementar otros estudios realizados sobre éstos en el Atlántico Norte en general (Evans y Guishard, 2009; Guishard *et al.*, 2009), y por otra parte, mejorar su predicción. Los STCs nororientales han sido escasamente estudiados a pesar de que durante los últimos años se han dado varios casos bastante mediáticos. De hecho, en la cuenca opuesta existe un creciente interés tras su reconocimiento como sistemas asociados a fenómenos meteorológicos adversos, similares incluso a los debidos a huracanes (Steward, 2001; Guishard *et al.*, 2007). Precisamente otro de los motivos que evidencia la necesidad de prestarles atención es el potencial que se les atribuye para convertirse en ciclones tropicales mediante el proceso de transición tropical, descrito por Davis y Bosart (2003, 2004). Esto ocurrió con la Tormenta Tropical Delta (2005), que afectó a las Islas Canarias, y el Huracán Vince (2005), que afectó a la Península Ibérica.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Los datos utilizados para el estudio de los STC han sido los reanálisis ERA-Interim (Dee *et al.*, 2011) a una resolución de punto de rejilla de 0,75°.

Para la identificación de los ciclones subtropicales se han utilizado dos bases de datos. Por un lado, se han escogido los ciclones subtropicales obtenidos en Guishard *et al.* (2009) a través de su climatología (1979-2002) de ciclones subtropicales en el Atlántico Norte, seleccionando los ciclones que se originaron en el dominio 30°W a 0° de longitud y de 20°N a 40°N de latitud. Por otro lado, a éstos se han añadido los clasificados por el NHC como ciclones subtropicales obtenidos de su base de datos HURDAT a través del proyecto IBTrACS (Knapp *et al.*, 2010). En este caso el recuadro de estudio incluye a los ciclones que se originaron entre 45°W y 0° de longitud y los 20°N y 45°N de latitud. El periodo de análisis para esta base de datos es 1979-2011 y únicamente se han tenido en cuenta los ciclones subtropicales que han alcanzado la intensidad de tormenta subtropical, esto es llegar o superar los 17,5 m/s de vientos máximos sostenidos (1 minuto de promedio), para ser más consistentes con la primera base de datos. Además, también

fue añadido al estudio el ciclón originado en 2010 (González-Alemán *et al.*, 2014) mencionado en la introducción.

La metodología consiste en el cálculo de mapas compuestos con los geopotenciales en 300 hPa y de la presión reducida a nivel del mar (MSLP) con los casos identificados, en toda la cuenca Atlántica. El objetivo de ello es describir de forma resumida las características sinópticas comunes de la circulación en el Atlántico Norte en situaciones en las que se desarrolla un ciclón subtropical en su cuenca oriental (apartado 4.1), así como de las que se van desarrollando en el entorno de los ciclones a lo largo de sus ciclos de vida (apartado 4.2). Además, se han construido una climatología (1979-2012) enfocada a la construcción de mapas compuestos anómalos. Por otro lado, se realiza el cálculo de la temperatura superficial del agua (SST) y cizalladura vertical del viento en una ventana centrada en el ciclón para poder realizar la clasificación ambiental y determinar así los ambientes en los que los ciclones se originaron (apartado 5.1). Por último, se aborda la clasificación sinóptica, que viene determinada por la inspección subjetiva de los mapas de la altura geopotencial en 300 hPa en el momento de formación de los ciclones para distinguir a los ciclones identificados en base al patrón atmosférico en el que se desarrollaron (apartado 5.2).

3. CICLONES IDENTIFICADOS

Se han obtenido un total 15 casos de ciclones subtropicales originados en la cuenca este del Atlántico Norte durante el periodo 1979-2011, cuyas trayectorias y localizaciones en el momento de la identificación (t_0) quedan representadas en la fig. 1. Debido a las características de las bases de datos, es posible que se hayan dado más casos de los aquí identificados.

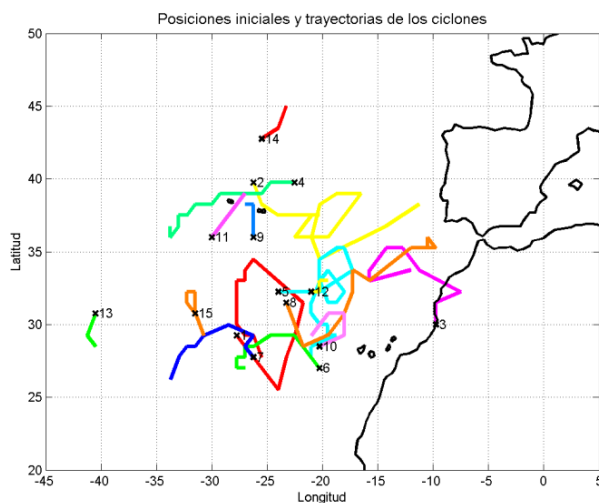


Fig. 1: Posiciones iniciales y trayectorias de los ciclones subtropicales identificados en la cuenca este del Atlántico Norte durante el periodo 1979-2011. Las cruces indican la posición del ciclón en el momento (t_0) en el que es identificado como ciclón subtropical.

De la fig. 1 destaca el carácter errático de las trayectorias de los ciclones, lo que da muestra de que son depresiones que en la mayor parte de su ciclo de vida no están sujetos a la circulación atmosférica general de latitudes medias, donde predominan las trayectorias de oeste a este, y por tanto, se aíslan de la circulación general. Esta característica difiere de las trayectorias que describen los ciclones subtropicales formados en la cuenca oeste, con unos recorridos más rectilíneos y meridianos orientados de suroeste a noreste (Guishard *et al.*, 2007, 2009), probablemente como consecuencia de que están más expuestos a la circulación del oeste ya que por dicha zona es muy habitual la formación y/o paso de vaguadas que no llegan a aislarse sino que siguen su camino hacia el este.

El análisis temporal por meses en el origen de estos ciclones destaca el hecho de que entre octubre y marzo se dan casi la totalidad de casos (14 de 15), algo que concuerda con el origen baroclino de estas bajas presiones ya que es durante esta época cuando la circulación de latitudes medias llega a zonas más meridionales de las habituales. Sin embargo, contrasta con el hecho de que es en verano cuando se dan con mayor frecuencia los “descolgamientos” de la circulación general en forma de depresiones aisladas de la circulación general (cut-off lows) (Nieto *et al.*, 2005). Un motivo de este contraste podría residir en el hecho de que los descolgamientos que ocurren en otoño, invierno y primavera son los que producen una mayor inestabilización de la atmósfera, reflejada en el perfil térmico, al existir un mayor contraste de temperaturas entre las SST y el aire frío asociado a la depresión en niveles medios de la troposfera, y por tanto favorecer el desarrollo de mayor convección.

4. ANÁLISIS COMPUESTO

4. 1. Compuestos en el Atlántico Norte

En la fig. 2a se observa fundamentalmente un patrón que difiere totalmente del patrón climatológico. Muestra una vaguada situada justamente en la cuenca oriental del Atlántico Norte al suroeste de la Península Ibérica con una dorsal muy significativa hacia el norte con su eje al oeste de las Islas Británicas, que abarca una amplia zona. Este patrón en altura se refleja en superficie con un anticiclón centrado al suroeste de las Islas Británicas abarcando una amplia zona con bajas presiones al suroeste de la península Ibérica. Difiere totalmente de la circulación media puesto que lo normal es el posicionamiento de una dorsal no tan pronunciada reflejándose en superficie con el típico Anticiclón de las Azores y tiempo muy estable en la cuenca este del Atlántico Norte como se refleja en la climatología. Tal es así, que esta anomalía en la circulación se refleja notablemente en los mapas compuestos anómalos que se pueden contemplar en la fig. 2b, con una zona de anomalías negativas muy marcadas y concéntricas al oeste de Canarias y con una amplia zona anómala positiva con forma de banda abarcando desde Terranova hasta las Islas Británicas y Escandinavia. Un patrón de este tipo con anomalías positivas al norte ($\approx 60^\circ\text{N}$) y negativas al sur ($\approx 30^\circ\text{N}$) es probablemente la manifestación de un flujo bloqueado (Doblas-Reyes *et al.*, 2002), lo cual resumiría la característica fundamental de la circulación atmosférica en los casos en los que se dan los ciclones subtropicales en su cuenca este. Además, estas anomalías se reflejan en superficie de forma considerable, sobre todo el anticiclón anómalo. Es importante mencionar que el estudio estadístico de la significancia de las anomalías (no mostrado), mediante distribución Gaussiana, concluye que las anomalías son significativas al nivel de 95% en amplias

regiones centradas aproximadamente en los máximos de las anomalías. Esto ocurre especialmente en el caso del campo MSLP, siendo por tanto el campo que tiene mayor significancia estadística.

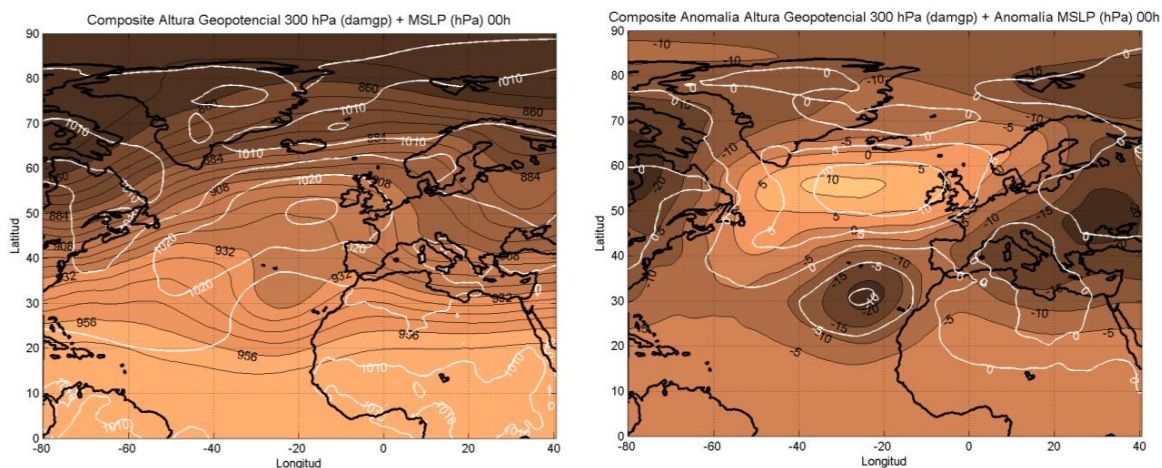


Fig. 2: a) Izquierda: Mapa compuesto de la altura geopotencial en 300 hPa (dam) (coloreado) y de la MSLP (hPa) (isolíneas blancas) en t_0 para los 15 STCs. b) Derecha: Ídem pero con mapa compuesto anómalo (respecto a la climatología).

4. 2. Compuestos centrados en el ciclón

En la fig. 3a se revela una estructura muy esclarecedora del entorno sinóptico que tienen en común los ciclones entorno al centro, y conforme avanza el tiempo. Se observa claramente como existe una vaguada en altura integrada en la circulación del oeste, que da lugar a la formación de una zona de bajas presiones en el campo MSLP, unas 24 h antes de la formación del ciclón subtropical. Esta depresión está asociada a la formación de un ciclón desarrollado por mecanismos QG, y por tanto, de características extratropicales. A medida que pasa el tiempo se va observando como la isolínea de 926 dam pasa de estar ondulada a ir cerrándose, hecho que es evidente transcurridas 24 h de su formación (fig. 3b). Simultáneamente la depresión experimenta una profundización en altura. Este resultado mostraría que la depresión se aísla de la circulación, cerrándose posteriormente y cuando comienza a ser ciclón subtropical, profundizándose. En el campo de MSLP también se evidencia la profundización del ciclón promedio, en unos 5 hPa en 48 h. En el caso de los mapas compuestos de anomalías (fig. 3 (c-d)) se tiene que la zona de bajas presiones presenta anomalías negativas de 10 hPa en el campo MSLP y de 25 dam en el campo de altura geopotencial de 300 hPa con anomalías positivas justamente al norte. Ambas anomalías evolucionan de tal forma que pasan a tener anomalías negativas de 15 hPa y de 30 dam, lo que es consistente con la profundización en los mapas compuestos no anómalos. Sin embargo, lo más interesante y llamativo de esta evolución es la intensificación de la anomalía positiva y el posicionamiento justamente al norte de la anomalía negativa, abarcando una amplia zona de +10 hPa a t_0+24 h, representando el fortalecimiento de una dorsal al norte, e incluso una mayor característica de flujo bloqueado, lo que es consistente con lo deducido de la fig. 2. Esta evolución refuerza la idea del aislamiento que sufre el ciclón conforme evoluciona a subtropical, lo cual

parece que tiende a ser indispensable para que puedan desarrollarse favorablemente. El análisis de la significancia estadística muestra, en este caso también, que las zonas de máximos en las anomalías quedan ampliamente cubiertas por regiones con un nivel de significancia mayor del 95%, sobre todo y nuevamente, en el caso del campo MSLP.

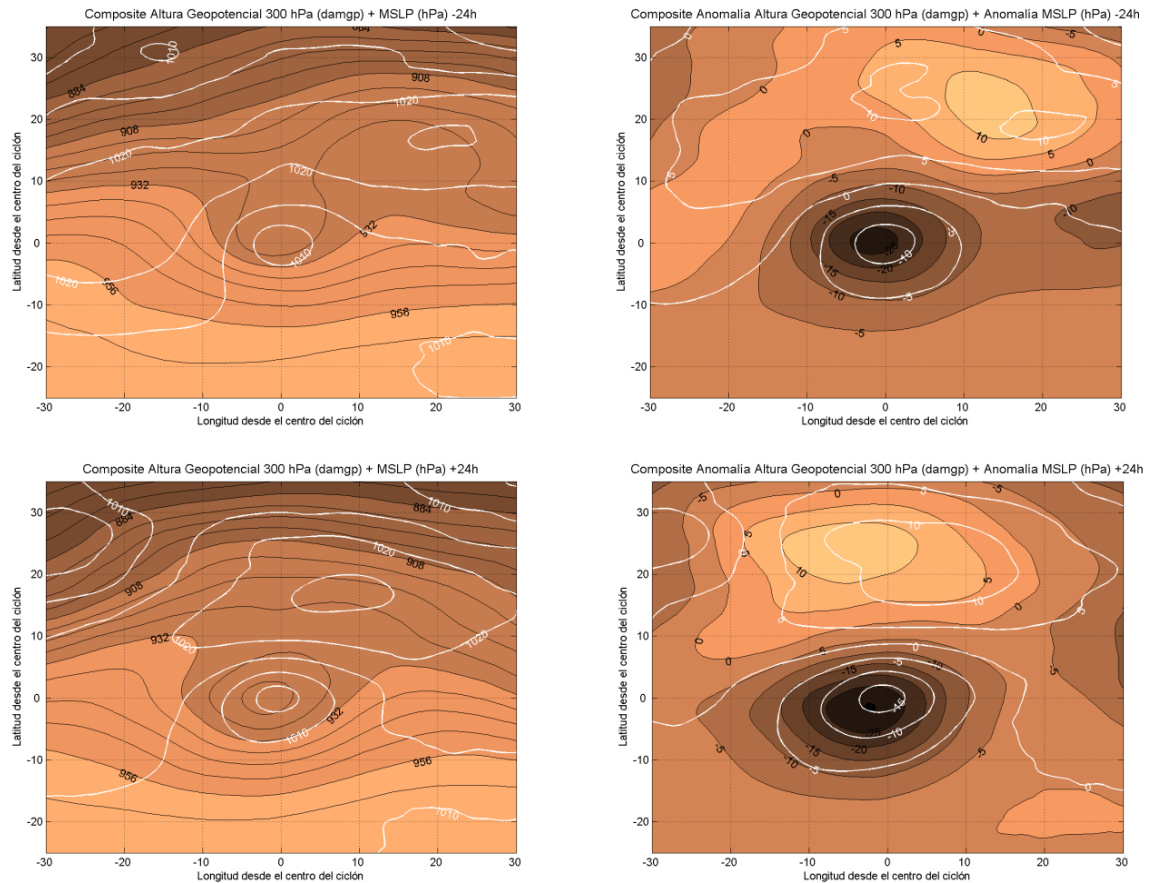


Fig. 3: Izquierda (a-b): Mapas compuestos centrados en el ciclón de la altura geopotencial en 300 hPa (dam) (coloreado) y de la MSLP (hPa) (isolíneas blancas) para los 15 STCs. Derecha (c-d): Ídem pero con mapas compuestos anómalos (respecto a la climatología). De arriba a abajo: t_0-24h y t_0+24h .

Además, se observa que los centros depresionarios a ambos niveles tienden a alinearse. Esto podría indicar que la zona de bajas presiones pasa de estar originada por mecanismos cuasi-geostróficos (QG) a estar sostenida por la anomalía positiva de PV que se crea en niveles bajos asociada a fuerte condensación producida por convección justo debajo del núcleo de aire frío en la alta troposfera y, por tanto, de la depresión en altura. Si atendemos a los alrededores de la zona depresionaria, observamos que la dorsal inmediatamente a la derecha de la vaguada se debilita. Un hecho notable que se observa en la animación temporal (no mostrada aquí) que abarca desde t_0-24h a t_0+24h es que los cambios mencionados anteriormente suceden principalmente a partir del instante t_0 , lo que da muestra de la diferencia en el entorno sinóptico del ciclón tras el paso de

ciclón extratropical a subtropical. Hay que destacar, por tanto, el comportamiento diferencial del ciclo de vida de estos ciclones respecto al de una borrasca extratropical (que experimenta un decaimiento, asociado a la oclusión del ciclón, al aislarse de la circulación del oeste). Además, concuerdan perfectamente con los resultados obtenidos por Evans y Guishard (2009) en su estudio de ciclones subtropicales en la cuenca oeste del Atlántico Norte.

5. CLASIFICACIÓN DE LOS CICLONES

5.1. Clasificación ambiental

Siguiendo a Evans y Guishard (2009), los ambientes en los que se pueden desarrollar los ciclones subtropicales, según la cizalladura vertical del viento (WS) y la SST en el entorno del ciclón, corresponden a cuatro clases. Éstos son: ambiente tropical ($SST \geq 25^{\circ}\text{C}$, $WS \leq 10$ m/s), ambiente subtropical ($SST \geq 25^{\circ}\text{C}$, $WS > 10$ m/s), el ambiente extratropical tipo 1 o clásico ($SST \leq 25^{\circ}\text{C}$, $WS > 10$ m/s) y el ambiente extratropical tipo 2 o de baja cizalladura ($SST \leq 25^{\circ}\text{C}$, $WS \leq 10$ m/s). En el diagrama de la fig. 4 quedan clasificados los ciclones identificados en este estudio en base a las cuatro clases anteriores, con los cálculos realizados en una ventada de $3^{\circ}\times 3^{\circ}$ para SST y $6^{\circ}\times 6^{\circ}$ para WS. Hay que hacer notar que el ciclón STC3 no se originó completamente sobre el océano según ERA-Interim, por lo que queda fuera de la clasificación ambiental.

Se observa un claro predominio de los ciclones en el dominio de ambiente extratropical clásico (E1) caracterizado por una fuerte cizalladura vertical del viento conjuntamente con valores de SST bajos. Un 71,4% (10/14) pertenece a esta categoría, aunque el ciclón STC11 está muy cerca de la frontera con el resto de ambientes. Este ciclón se caracteriza por originarse en aguas más cálidas que en el resto de casos, llegando a casi los 25°C , motivado por la época del año en el que se originó (principios de octubre) cuando las temperaturas cálidas de SST llegan más al norte por efecto de la inercia térmica del océano. El otro ambiente en el que se originan los ciclones subtropicales en la cuenca este es el extratropical de baja cizalladura (E2) con un 28,6% (4/14) aunque quedan todos muy cerca de la frontera con el ambiente extratropical clásico.

En teoría, los ambientes extratropicales ($SST < 25^{\circ}\text{C}$) son poco (muy) favorables para el desarrollo tropical (extratropical) a partir de la aproximación de una vaguada en altura, siendo el ambiente extratropical clásico (E1) el más perjudicial para el desarrollo subtropical debido, además, a sus valores de alta cizalladura que reducen las posibilidades del mantenimiento del núcleo cálido por liberación de calor latente, aunque es indicativo de un forzamiento dinámico QG, favoreciendo una zona de ascensos. En el caso de ambiente E2, sucede lo mismo que en el caso anterior aunque en éste tenemos bajos valores de cizalladura asociados a inexistencia de forzamiento termodinámico y dinámico en el ciclón. Sin embargo, es más favorable al mantenimiento de la convección por baja cizalladura, lo que favorecería el desarrollo del núcleo cálido en niveles bajos. Los resultados muestran que predomina el ambiente E1, el cual no corresponde plenamente a lo establecido en la literatura. Una de las posibles hipótesis de la discrepancia reside en la existencia de fuertes gradientes de SST, en cuyo caso, la advección de aire cálido en niveles bajos fomentaría el desarrollo y/o intensificación de convección y el sostenimiento de un núcleo cálido en la baja troposfera durante unos días con el resultado final de STC desde un punto de vista clasificatorio. Respecto a la cizalladura, la hipótesis dinámica más plausible es que la convección no sea tan profunda (nivel de equilibrio bajo) como en el caso de los trópicos y, por ello, no lo

suficientemente fuerte como para ser afectada por la cizalladura en toda la troposfera (Mauk y Hobgood, 2012). Sin embargo, no está del todo clara esta hipótesis. De los 15 ciclones subtropicales estudiados, 3 fueron “oficialmente” ciclones tropicales a posteriori. Dos de ellos (Vince y Delta) surgieron en un ambiente extratropical de baja cizalladura y el restante (Eduard) lo hizo en un ambiente extratropical típico, demostrando el potencial de estos ciclones en convertirse en tropicales a pesar de hacerlo en un ambiente no favorable con bajos valores de SST.

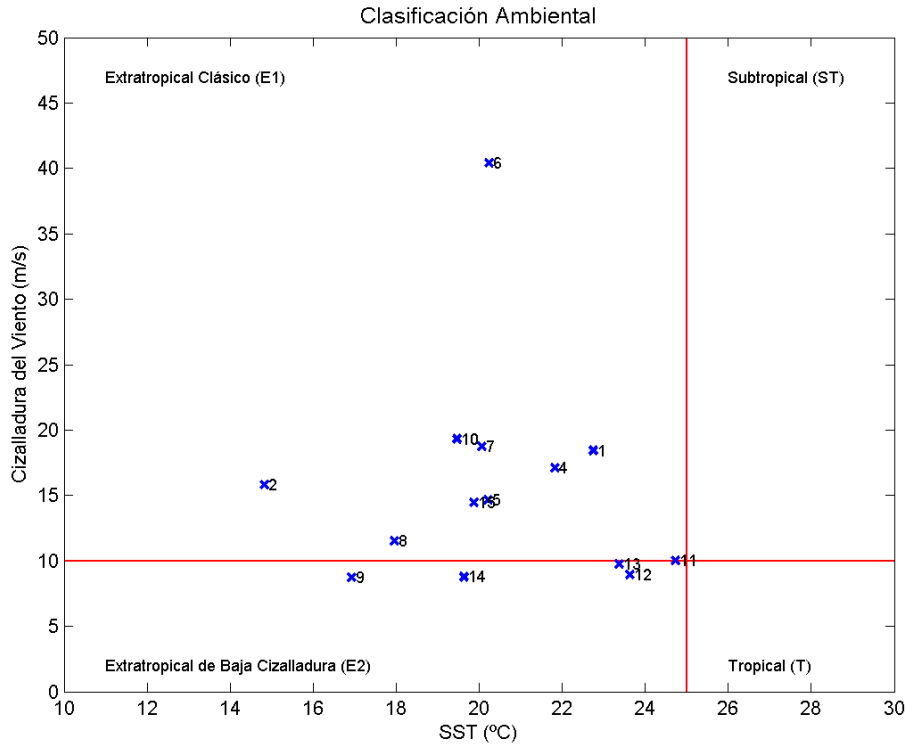


Fig. 4: Clasificación ambiental, en base a la cizalladura y SST en el origen (t_0), de los ciclones subtropicales identificados en la cuenca este del Atlántico Norte durante el periodo 1979-2010.

En la cuenca oeste del Atlántico Norte, Evans y Guishard (2009) informaron de un claro predominio de los ambientes tropicales y subtropicales en los que se originaron los ciclones subtropicales, aunque hay que resaltar que su estudio estaba centrado en la temporada de huracanes, con el consiguiente sesgo que se añade a las diferencias térmicas oceánicas. En la climatología total del Atlántico Norte (Guishard *et al.*, 2009) se destaca el predominio de los ambientes tropicales y subtropicales, aunque no tanto como en el caso anterior. Nuevamente los ambientes de menor frecuencia fueron los E1 y E2 con un 23,4% y un 19,3% del total, respectivamente, dando cuenta de que es la cuenca occidental la que lidera las características climatológicas del entorno ambiental en el que se originan los ciclones subtropicales del Atlántico Norte. Por tanto, se puede deducir que los ciclones subtropicales de la cuenca oriental difieren notablemente de los ciclones subtropicales de la cuenca oeste, y que sus características son un caso especial dentro de la norma en el Atlántico Norte.

5.2. Clasificación sinóptica

Tras el análisis detallado de los distintos casos, y basándonos en los campos de la altura geopotencial en 300 hPa en el momento (t_0) de la formación del ciclón subtropical, se ha observado una tendencia de este tipo de ciclones a presentarse de acuerdo a tres modelos idealizados, cuyos patrones quedan esquematizados en la fig. 5: “Descolgamiento/aislamiento”, que idealiza la situación de un descolgamiento típico de una depresión embebida en el flujo zonal y que se aísla posteriormente. “Bifurcación”, cuya principal característica es un flujo bloqueado con el centro de la dorsal o anticiclón de bloqueo que se sitúa en el entorno de las Islas Británicas y fomenta la aparición de chorro extratropical notablemente ondulado. Y por último “Prolongación”, que estaría asociado a una circulación con una marcada componente meridional nuevamente pero que en este caso se debe a una elongación muy acentuada hacia el norte de la dorsal subtropical con orientación SW-NE en medio del Atlántico Norte y con una depresión (ciclón subtropical) en su flanco sureste que sería una especie de prolongación de una vaguada principal asociada a la circulación del oeste que quedaría sobre Centroeuropa. Esto resulta de especial interés para la predicción operativa ya que facilitaría la identificación y seguimiento de situaciones que son potencialmente generadoras de ciclones subtropicales con potencial amenaza a la España peninsular e insular.

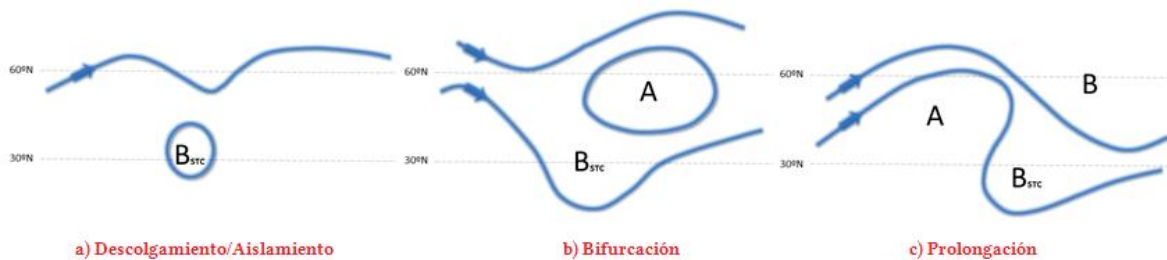


Fig. 5: Clasificación sinóptica de los STCs identificados. Las flechas indican aproximadamente el sentido del flujo en 300 hPa. “A” se refiere a una zona de altos valores relativos de altura geopotencial y “B” a una zona de bajos valores relativos. El subíndice “STC” indica que es la depresión asociada al ciclón subtropical.

6. CONCLUSIONES

El estudio de los ciclones subtropicales desarrollados en la cuenca oriental del Atlántico Norte durante el periodo 1979-2011 concluye que se identifican un total de 15 ciclones para dicho periodo, los cuales tienen una clara preferencia por la época invernal, la cual abarca los meses de octubre a marzo, con 14 de los 15 casos. Por otro lado, el análisis compuesto ha mostrado que el patrón sinóptico característico de los casos en los que se desarrolla un ciclón subtropical difiere totalmente del patrón climatológico con una gran zona de anomalías positivas al norte a unos 60°N y anomalías negativas al sur en torno a los 30°N del Atlántico Norte. Estas anomalías son el resultado de una desviación hacia el norte de la circulación del oeste y/o de una característica de flujo notablemente meridional con posible aparición de un patrón de flujo bloqueado, como resulta

de la clasificación sinóptica donde se establecieron tres modelos conceptuales de patrones del campo del geopotencial en 300 hPa (descolgamiento, bifurcación y prolongación). Además, el análisis de las características ambientales que afectan al ciclón evaluadas a través de la SST y la cizalladura vertical del viento muestran que los ciclones subtropicales se formaron predominantemente en un ambiente “E1” (71,4%), siguiéndole el ambiente “E2” (28,6%), lo cual contrasta con los ciclones subtropicales de la cuenca occidental del Atlántico Norte.

7. AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la Dra. Jenni L. Evans y el Dr. Mark P. Guishard de la Pennsylvania State University (EEUU) por facilitarnos su base de datos de la climatología de ciclones subtropicales. Este trabajo ha sido realizado gracias a una beca de colaboración del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, así como al proyecto CGL2011-25327 (MINECO).

8. REFERENCIAS

Davis, C. A., y Bosart, L. F. (2003). “Baroclinically induced tropical cyclogenesis”. *Monthly Weather Review*, 131(11), 2730-2747.

Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S. y Vitart, F. (2011). “The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system”. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656), 553-597.

Doblas-Reyes, F. J., Casado, M. J. y Pastor, M. A. (2002). “Sensitivity of the Northern Hemisphere blocking frequency to the detection index”. *J. Geophys. Res.*, 107, 1-22.

Evans, J. L., y Guishard, M. P. (2009). “Atlantic subtropical storms. Part I: Diagnostic criteria and composite analysis”. *Monthly Weather Review*, 137(7), 2065-2080.

Guishard, M. P., Evans, J. L., y Hart, R. E. (2009). Atlantic subtropical storms. Part II: Climatology. *Journal of Climate*, 22(13), 3574-3594.

Guishard, M. P., Nelson, E. A., Evans, J. L., Hart, R. E., y O’Connell, D. G. (2007). “Bermuda subtropical storms”. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 97(1-4), 239-253.

González-Alemán, J.J., Valero, F., Martín, F. (2014). ¿Cómo detectar un ciclón subtropical?. *XXXIII Jornadas Científicas de la AME “Tiempo Clima y Sociedad”*. ISBN: 978-84-697-0685-5.

http://www.ame-web.org/images/stories/Congresos/33Oviedo/TabajosCompletosJornadas/4.analisis_y_prediccion_del_tiempo/Oral_GonzalezAleman.pdf

Knapp, K. R., M. C. Kruk, D. H. Levinson, H. J. Diamond, and C. J. Neumann, (2010). “The International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS): Unifying tropical cyclone best track data”. *Bulletin of the American Meteor. Society*, 91, 363-376.

Mauk, R. G., y Hobgood, J. S. (2012). “Tropical Cyclone Formation in Environments with Cool SST and High Wind Shear over the Northeastern Atlantic Ocean”. *Weather and Forecasting*, 27(6), 1433-1448.

Stewart, S. R. (2001): National Hurricane Center Tropical Cyclone Report: Hurricane Karen.