

# Identificación objetiva de frentes meteorológicos en América del Norte

Rosa Beatriz Luna Niño<sup>1</sup> y Juan Matías Méndez Pérez<sup>2</sup>

Universidad Veracruzana, Veracruz, México, rbeatrizln@gmail.com<sup>1</sup>, jumendez@uv.mx<sup>2</sup>

## 1. Introducción

El concepto “frente meteorológico” fue introducido por físicos y meteorólogos noruegos a principios del siglo XX y se define como la zona de transición o cambio de las propiedades de temperatura y humedad entre dos o más masas de aire homogéneas (Bidegain, 2010).

La importancia de estos sistemas es el transporte de calor, masa y energía además de la influencia en actividades humanas; agricultura, pesca, transporte, etc. Sin embargo, a pesar del conocimiento que se ha logrado, en la meteorología operacional no se aplica un criterio uniforme y objetivo para la identificación o “ploteo” de la posición real de un frente meteorológico, se hace uso de la experiencia y de posibles indicadores como el cambio en la dirección del viento, tipo de nubosidad o precipitación.

## 2. Objetivo

Aplicar una metodología para la localizar y clasificar objetivamente sistemas frontales en Norteamérica, considerando el proceso físico implícito en el fenómeno y que sea de fácil aplicación.

## 3. Metodología

Se tomará como base la propuesta de Renard y Clark (1965) y las modificaciones hechas por Hewson (1998), McCann y Whistler (2001) y Jenkner et al (2010). La metodología propuesta se divide en cinco pasos que se describen a continuación.

1. Elección del campo meteorológico  $\tau$  (ver apartado 4) implícito en el proceso físico del sistema frontal (temperatura, temperatura potencial equivalente, humedad, etc.).

En este estudio se empleó la temperatura potencial equivalente a partir de variables conocidas tomadas del Reanálisis Europeo ERA Interim (Simmons et al, 2006).

2. Aplicación de un operador a la variable seleccionada, este parámetro debe estar directamente relacionado con la posición del frente.

Se utilizó el operador bidimensional llamado Parámetro Térmico Frontal propuesto por Renard y Clark (1965)

$$TFP(\tau) = -\nabla|\nabla\tau| \cdot \frac{\nabla\tau}{|\nabla\tau|} = 0 \text{ donde}$$

$TFP(\tau)$  : *Parámetro Térmico Frontal*

$|\nabla\tau|$ : *Magnitud del gradiente de  $\tau$*

$\nabla|\nabla\tau|$ : *Gradiente de la magnitud de  $|\nabla\tau|$*

$\frac{\nabla\tau}{|\nabla\tau|}$ : *Vector unitario en la dirección de  $|\nabla\tau|$*

El término  $\nabla|\nabla\tau| \cdot \frac{\nabla\tau}{|\nabla\tau|}$  es un escalar que matemáticamente representa la magnitud del gradiente de la magnitud del gradiente de  $\tau$  en la dirección del gradiente de  $\tau$  (Hewson, 1998).

En la figura 1 se observa que los máximos y mínimos de  $TFP(\tau)$  corresponden a los bordes cálido y frío de la zona baroclínica, respectivamente y  $TFP(\tau) = 0$  al centro.

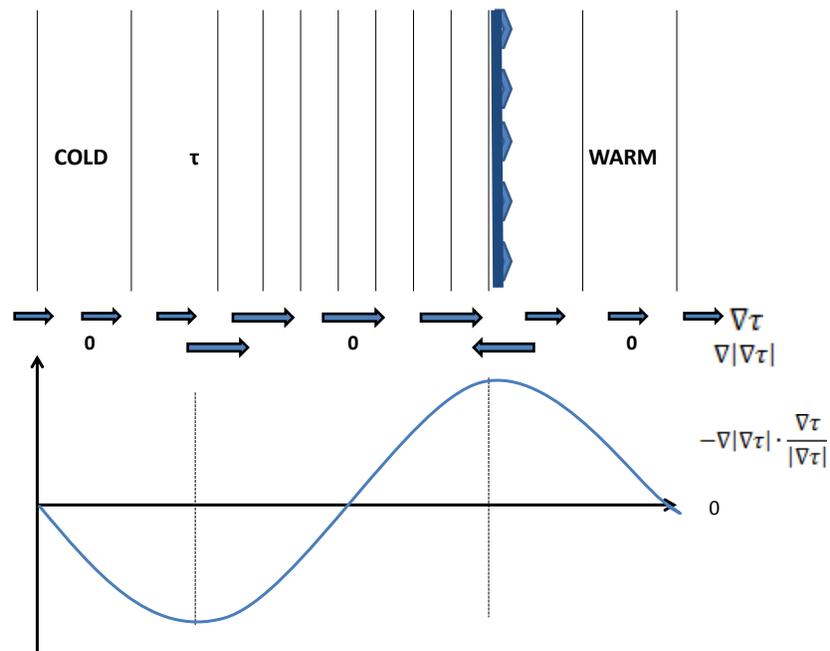


Fig.1 Esquema del significado físico del parámetro  $TFP(\tau)$  en un frente frío

3. El parámetro  $TFP(\tau) = 0$  no es suficiente para el trazo del frente, hasta este paso se identifican zonas baroclínicas que pudieran no estar asociadas a frentes fríos o cálidos. Para la eliminación de los “falsos frentes” se utiliza uno o más filtros, por ejemplo la magnitud del gradiente de la variable  $\tau$  superior a un valor  $K$ , es decir  $|\nabla\tau| > K$ .

El manual de análisis meteorológico superficial elaborado por el centro de predicción meteorológico (Weather Prediction Center) entre otras instituciones indican que para definir una zona frontal sobre el continente el valor mínimo necesario del gradiente de temperatura es  $\frac{6 K}{500 Km}$ . Sin embargo, en este trabajo el campo meteorológico  $\tau$  no es la temperatura ambiente sino la temperatura potencial equivalente por lo que el valor K utilizado es  $\frac{4.5 K}{100 Km}$  propuesto por Jenkner et al (2010).

4.  $|\nabla\tau| > K$  y  $TFP(\tau) = 0$  muestran el centro y la extensión de la zona baroclínica que coincide con el frente meteorológico. Sin embargo en los mapas sinópticos la representación es en el borde cálido de la zona baroclinica.
5. Una vez identificados los frentes el siguiente paso es su clasificación; frío o cálido de acuerdo con la advección de  $\tau$ .

$$A_{\tau} = -V \cdot \nabla\tau$$

$A_{\tau} > 0$  Frentes cálidos  $A_{\tau} < 0$  Frentes fríos.

#### 4. Campo meteorológico $\tau$

Distintos campos meteorológicos han sido utilizados para la identificación objetiva de sistemas frontales: temperatura  $T$  (Renard y Clark, 1966), temperatura potencial  $\theta$  (Renard y Clark, 1965 y 1966) (Kirk, 1965), temperatura potencial equivalente  $\theta_e$  (Steinacker, 1992), temperatura potencial de bulbo húmedo  $\theta_w$  (Hewson, 1997), temperatura potencial media de una capa  $\bar{\theta}$  (Clark y Renard, 1966), espesor  $Z_T$  (Agencia Meteorológica Japonesa, 1988), espesor equivalente  $Z_T^*$  (Huber-Pock y Kress, 1989).

Cada una de estas variables tiene ventajas y limitaciones en la localización de la posición real del frente:

El espesor considera la temperatura promedio de la capa, por lo tanto si esta es muy amplia y el frente poco profundo es probable que no sea detectado. Se han hecho pruebas y los resultados muestran que el espesor es relativamente bueno con frentes fríos profundos, no así con frentes cálidos y frentes fríos débiles (Baldwin, 2011).

La definición de frente sugiere el uso de la temperatura, sin embargo el hecho de que esta variable sea función de la altitud hace más complejo el análisis de su gradiente.

La temperatura potencial está definida para un proceso adiabático seco, sin embargo en la realidad los frentes implican liberación de calor latente por el cambio de fase (condensación) para la precipitación asociada, al usar esta variable no se está considerando la naturaleza húmeda del fenómeno.

La temperatura potencial equivalente toma en cuenta el calor latente y sensible involucrado en el cambio de fase del vapor de agua presente en las parcelas de aire además de ser una propiedad conservativa de las masas de aire (sus valores se alteran el límite entre masas de aire pero no al interior de estas).

Si se considera sólo una variable de humedad probablemente el análisis caracterice (y no filtre) líneas secas y procesos como el efecto Foehn.

## 5. Casos de estudio

De acuerdo con la secretaría de protección civil la temporada invernal 2011-2012 fue muy fría y seca en el Norte de México, al punto de acentuar la sequía hasta el centro y sureste del país. Se escogieron dos fechas durante este invierno; 28 de noviembre y 28 de diciembre. Los sistemas frontales activos en ese momento fueron catalogados (según el descenso de temperatura y precipitación aportadas en nuestro país) como intenso y débil, respectivamente.

Las figuras 2 y 3 se muestran el análisis sinóptico elaborado por el Centro de Predicción Meteorológica de la NOAA, estos servirán como referencia en la evaluación de la metodología aplicada.

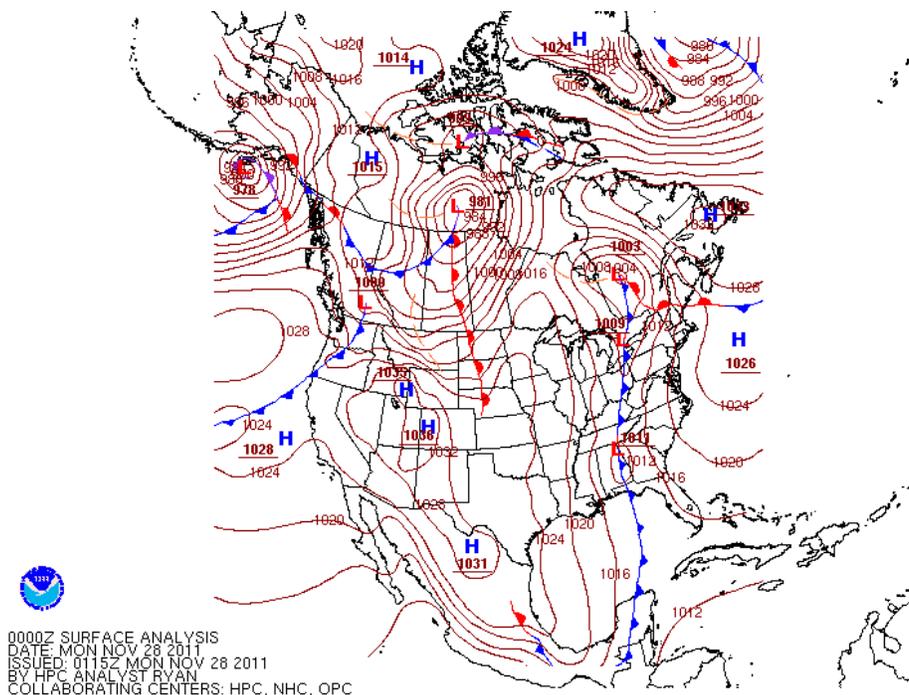


Fig.2 Sistemas frontales activos para el 28 de noviembre del 2011 a las 0Z (Fuente: Análisis sinóptico del Centro de Predicción Hidro meteorológico de la NOAA)

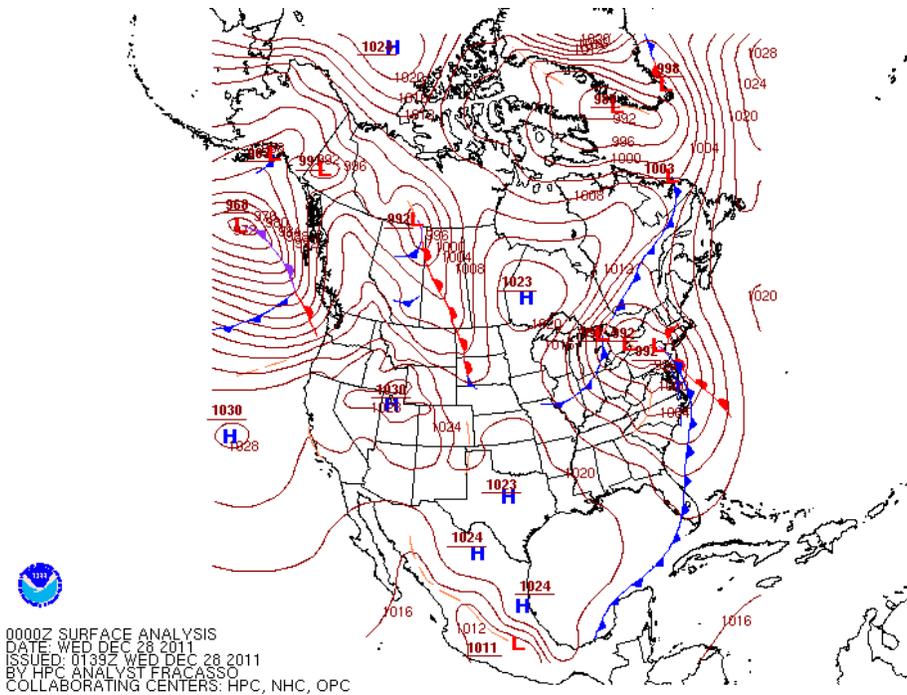


Fig.3 Como en la figura 2 pero para el 28 de diciembre del 2011 a las 0Z

## 6. Resultados

En las figuras 4 y 5 se observan las zonas baroclinicas frontales y no frontales, en diferentes niveles de presión, obtenidas de aplicar los criterios  $TFP(\tau) = 0$  y  $|\nabla\tau| > K$ . La advección en las figuras 6 y 7 ayuda a definir cuales zonas baroclinicas están asociadas a sistemas frontales y de qué tipo se trata.

Para el 28 de noviembre, entre los 850 mb y 775 mb, la metodología identifica dos frentes fríos localizados en el noroeste de Estados Unidos y sobre el Golfo de México. Con una señal más débil también reconoce dos frentes cálidos en el centro y este de la frontera Estados Unidos-Canadá.

Para el 28 de diciembre, se observa un frente frío que se extiende desde el norte del Golfo de México hasta el estado de Virginia (EUA) y dos frentes cálidos; uno cerca de la costa oeste de Estados Unidos y otro al este del frente frío antes mencionado. En esta fecha los sistemas cálidos se aprecian mejor entre los 825 mb y 775 mb, mientras que el frente frío se aprecia con mayor detalle a 850 mb.

En ambos casos los resultados coinciden con el análisis sinóptico en las figuras 2 y 3.

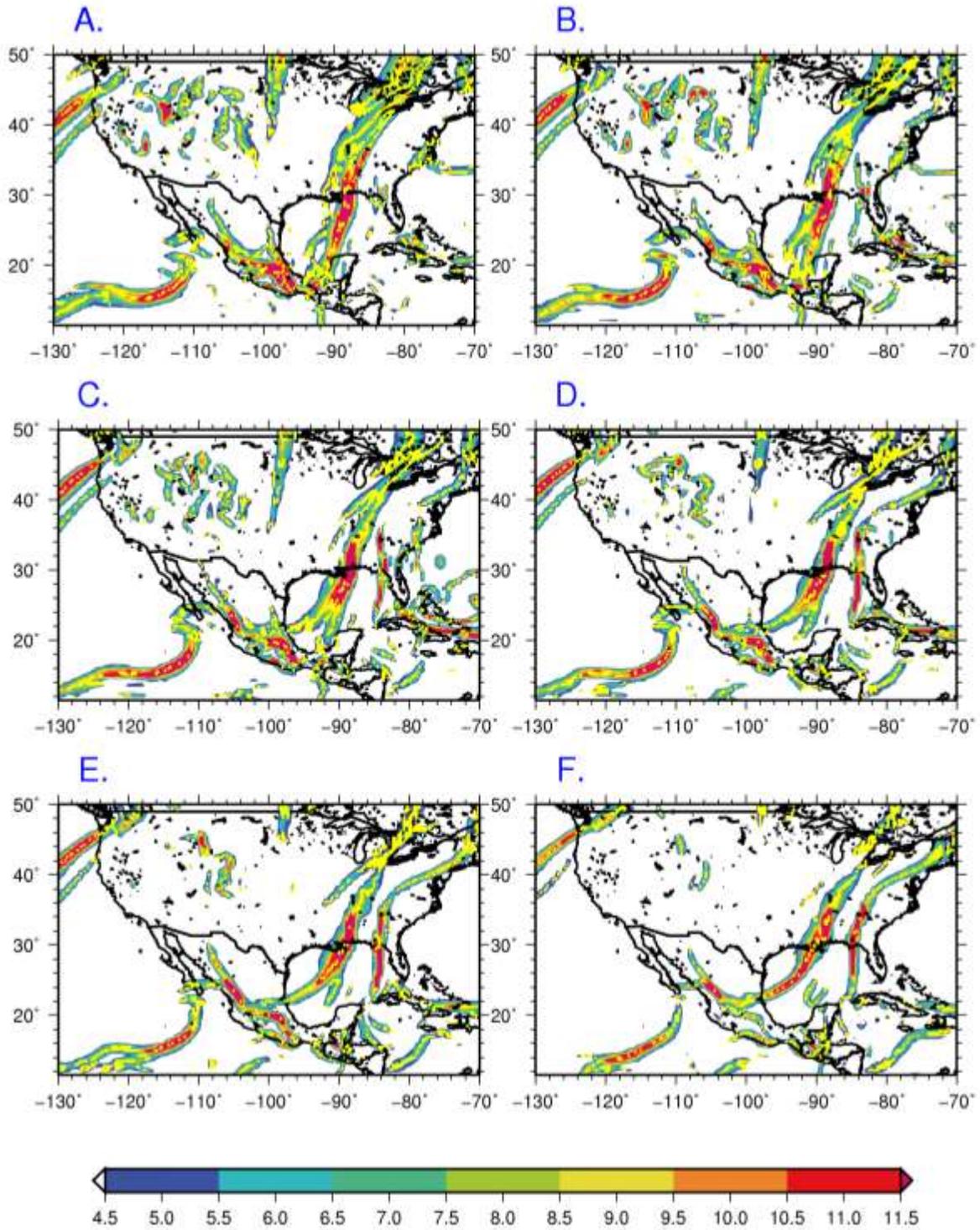


Fig.4  $TFP(\tau) = 0$  y  $K > 4.5^{\circ}K/100km$  (Puntos amarillos) y magnitud del gradiente de  $\tau^{\circ}K/100km$ (colores) el 28 de noviembre del 2011 a las 0Z A) 850 mb, B) 825 mb, C) 800 mb, D) 775 mb, E) 750 mb y F) 700 mb

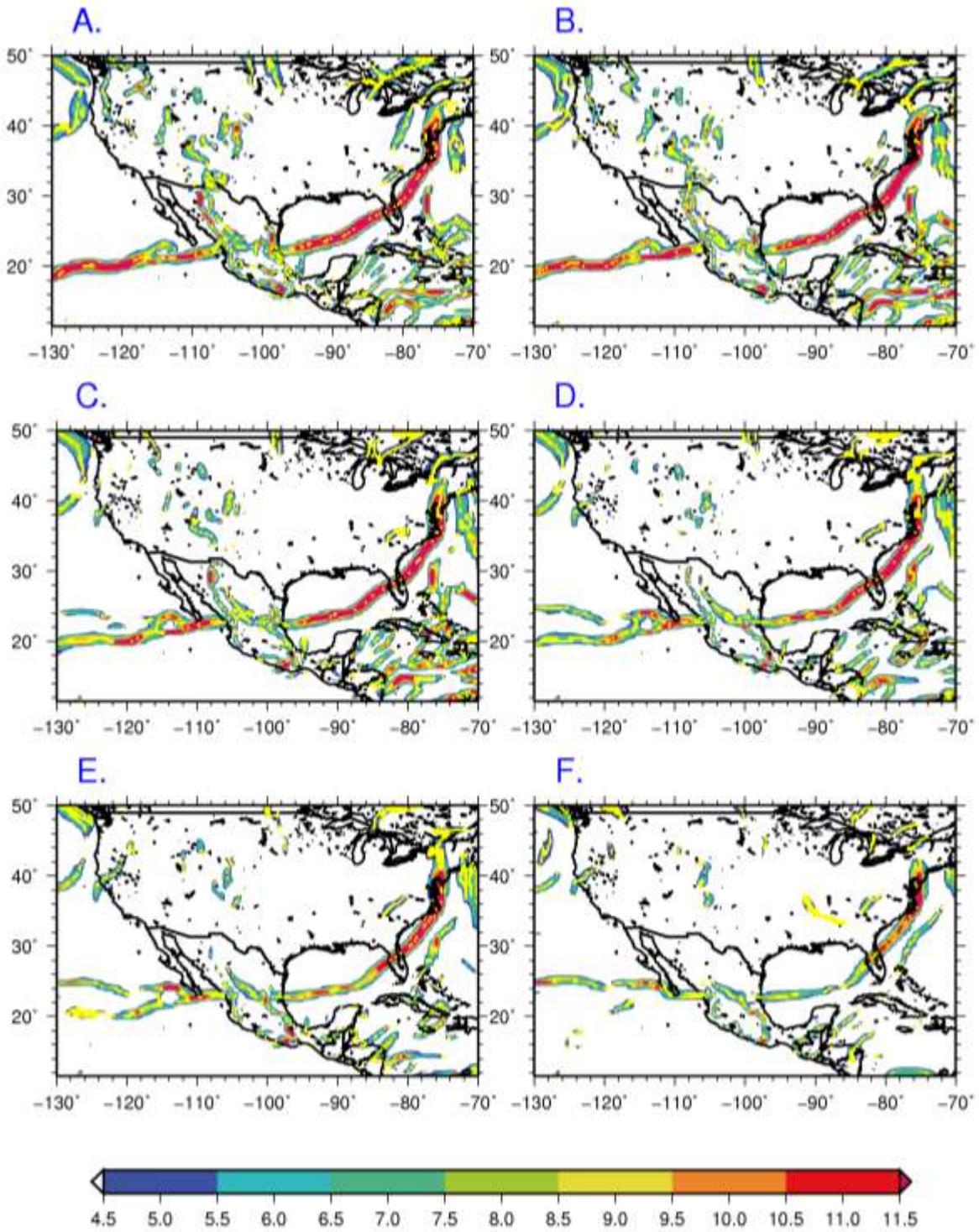


Fig.5 Como en la figura 3 pero para el 28 de diciembre del 2011 a las 0Z

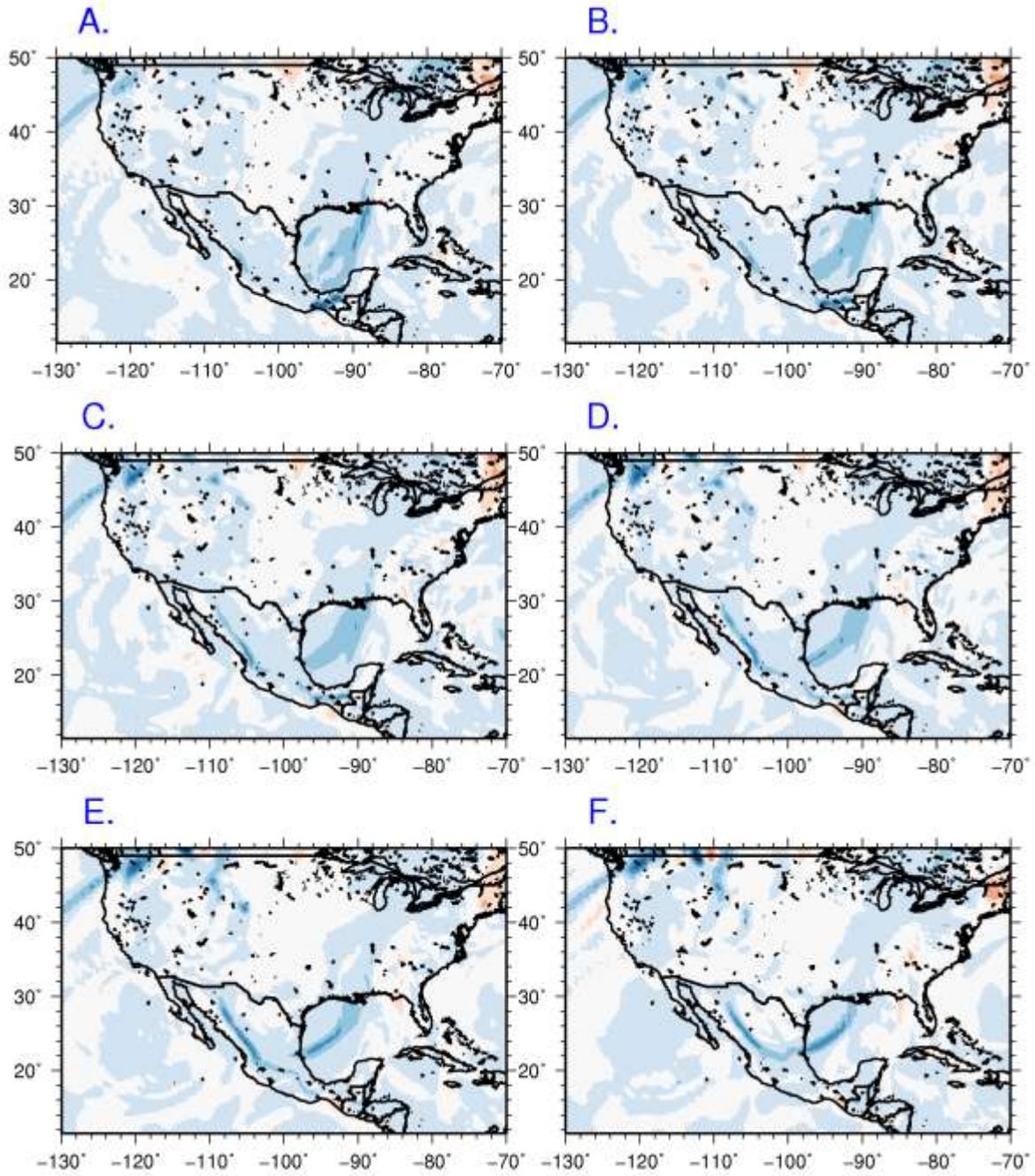


Fig.6 Tipo de advección  $A_\tau > 0$  frentes cálidos (tonos rojos)  $A_\tau < 0$  frentes fríos (tonos azules) para el 28 de noviembre del 2011 a las OZ A) 850 mb, B) 825 mb, C) 800 mb, D) 775 mb, E) 750 mb y F) 700 mb

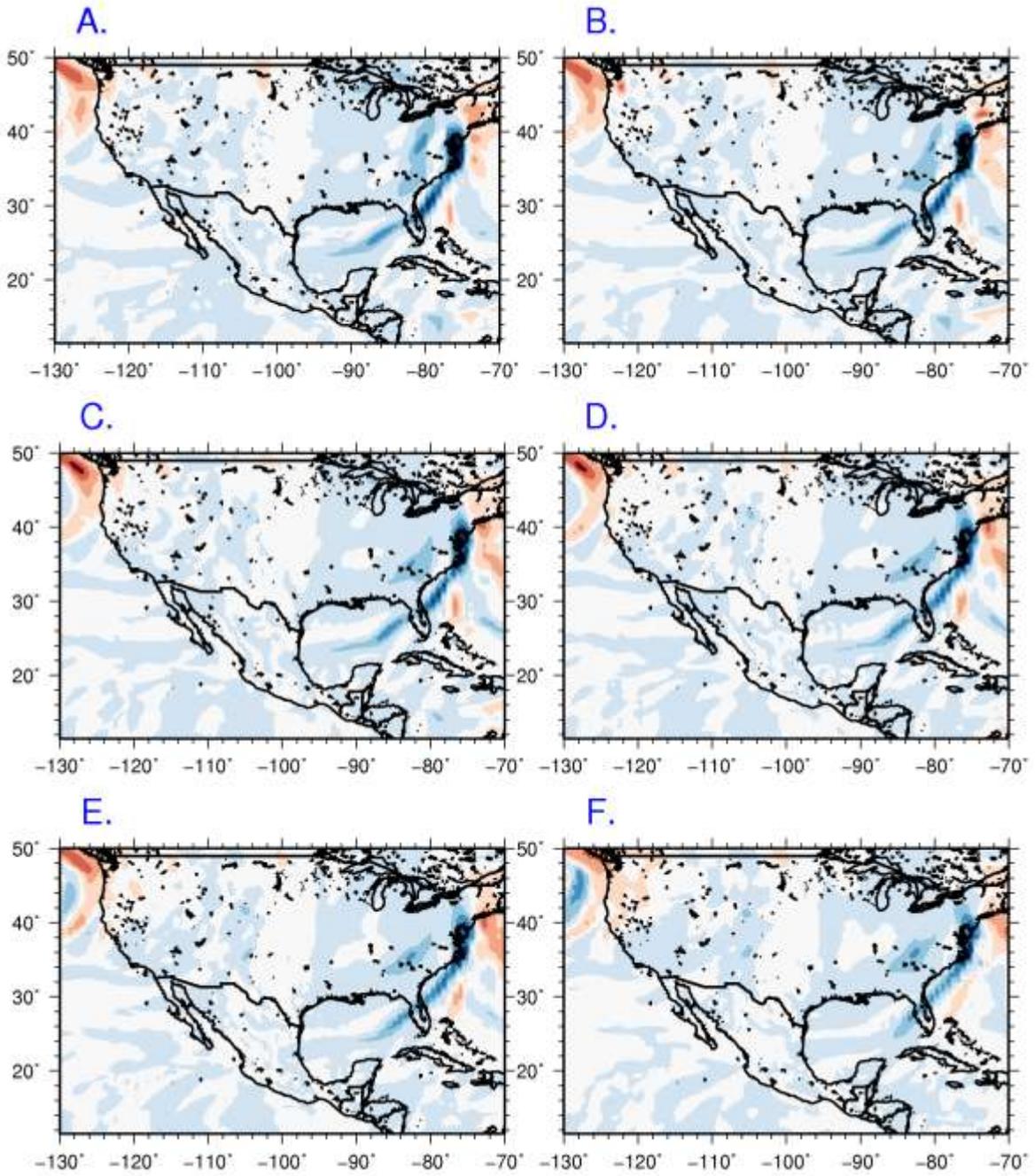


Fig.7 Como en la figura 5 pero para el 28 de diciembre del 2011 a las 0Z

## 7. Conclusiones

Al comparar los resultados con los mapas sinópticos se concluye que para los casos estudiados la metodología identifica y clasifica correctamente los sistemas frontales activos.

Aunque en los mapas sinópticos los frentes se representan como líneas en color azul y rojo, según sean frentes fríos o cálidos, respectivamente, físicamente consisten en una zona de transición entre dos masas de aire con diferentes características de temperatura, humedad y densidad. De ahí la importancia en conocer la extensión del frente y no limitarse a pintarlos como líneas finitas en los bordes cálidos de la zona baroclínica.

El parámetro  $TFP(\tau)$  y la condición  $|\nabla\tau| > K$  identifican zonas baroclinicas asociadas a sistemas frontales pero también otras que no corresponden a estos fenómenos (visibles principalmente entre los 850 mb y 775 mb) localizadas hacia latitudes bajas. Sin embargo al analizar el tipo de advección las zonas baroclinas “no frontales” desaparecen.

Es importante considerar que la metodología aplicada fue diseñada para la identificación de sistemas frontales en latitudes medias; como trabajo futuro debe aplicarse un criterio más para descartar los procesos propios de regiones tropicales y extender el análisis a un mayor número de casos.

## 8. Referencias

Baldwin, M., (2011). Incorporation of forcing characteristics into a prediction system for high-impact convective precipitation events. *COMET Partners Project Final Report*. Perdue University.

Bidegain, M., (2010). Masas de aire y frentes. Taller de introducción a la meteorología. Licenciatura en ciencias de la atmósfera .Uruguay

Bolton, D., (1980). The computation of equivalent potential temperature. *Monthly weather review*, **108**(7), 1046-1053.

Hewson, T. D., (1998). Objective fronts. *Meteorological Applications*, **5**(1), 37-65.

Huber-Pock, F.,y Kress, C.(1989).An operational model of objective frontal analysis base on ECMWF products. *Meteorology and Atmospheric Physics* **40**(4):170-180

Huber-Pock, F.,y Kress, C.(1981,Junio).Contributions to the problem of numerical frontal analysis.Proceeding of the Symposium on Current Problems of Weather-Prediction,Viena.(p.253)

Jenkner, J., Sprenger, M., Schwenk, I., Schwierz, C., Dierer, S., y Leuenberger, D. (2010). Detection and climatology of fronts in a high-resolution model reanalysis over the Alps. *Meteorological Applications*, **17**(1), 1-18.

Kirk, T. H. (1965). A parameter for the objective location of frontal zones. *Meteorol. Mag.*, **94**: 351–353.

McCann, D., y Whistler, J. (2001). Problems and solutions for drawing fronts objectively. *Meteorological Applications*, **8**(2), 195-203.

Simmons, A., Uppala, S., Dess, D y Kobayashi D.(2006). ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. *ECMWF Newsletter* **110**,26-35

Reyes, S. (2002). Fenómenos meteorológicos de escala sinóptica. Universidad Autónoma de Baja California. *Introducción a la meteorología* (pp261-293).