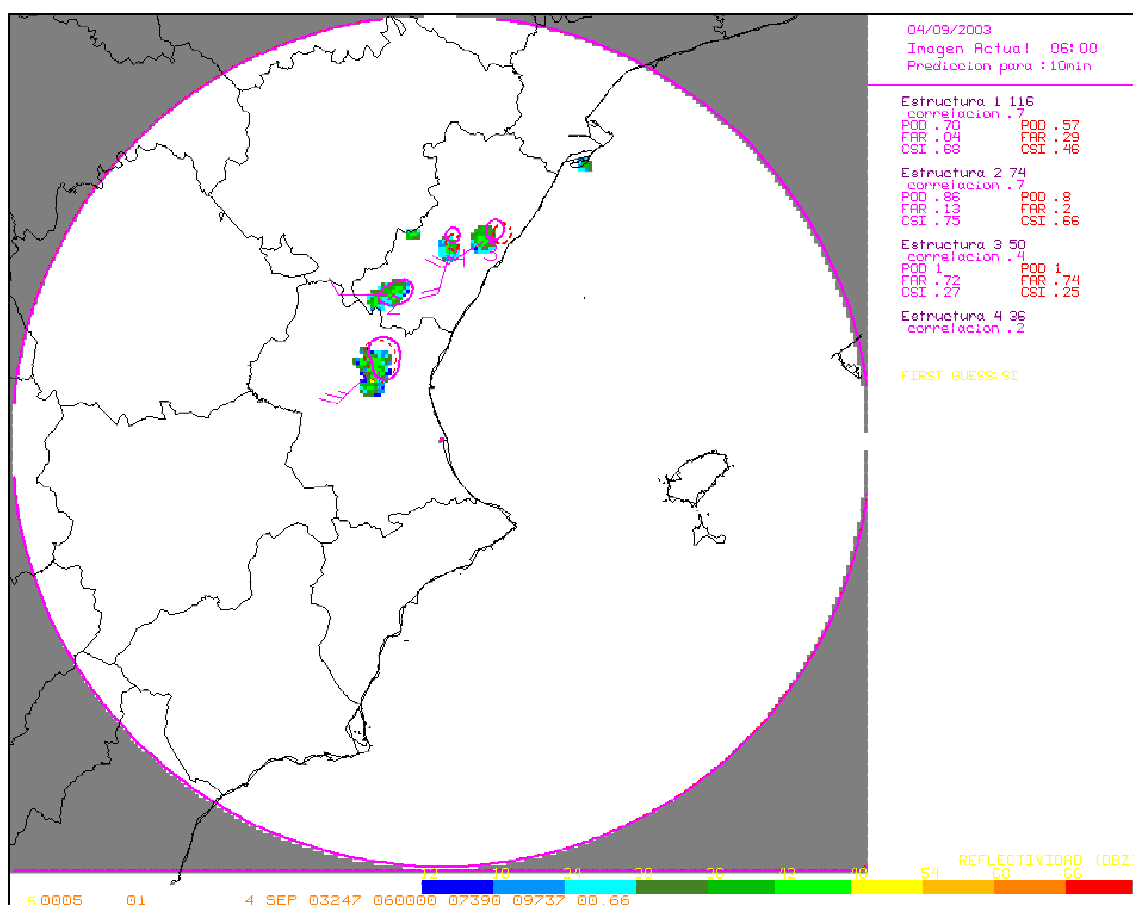


# COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CORRELACIONES CRUZADAS Y CENTROIDE PARA EL SEGUIMIENTO DE ESTRUCTURAS CONVECTIVAS A PARTIR DE DATOS RADAR

## NOTA TÉCNICA DEL STAP N.º 42



Desplazamiento previsto a 10 min. de estructuras convectivas aplicado al PPI del radar de Valencia, del día 4 de Septiembre de 2003 a las 06:00 UTC. Los contorneos previstos en los diez minutos siguientes por el método de correlaciones cruzadas están representados en línea continua, y en discontinua por el método de centroide. Las estructuras identificadas están etiquetadas por sus números correspondientes.

**José Fenollar Moncho\***  
**Francisco Martín León**

**Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción (STAP)**  
Área de Predicción y Aplicaciones  
Subdirección General de Predicción

\*Beca de formación de posgraduados 2003-2004

# ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.- INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2.- DATOS Y METODOLOGÍA.....</b>	<b>2</b>
<b>3.- RESULTADOS.....</b>	<b>5</b>
<b>4.- DISCUSIONES DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>14</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>16</b>

## RESUMEN

En los últimos años, se han desarrollado en el STAP diferentes herramientas automáticas enfocadas a la identificación, caracterización, seguimiento y extrapolación de estructuras y células convectivas a través de datos radar: análisis de estructuras bidimensionales (2D) y de células convectivas tridimensionales (3D).

El seguimiento de las estructuras convectivas bidimensionales se realiza operativamente mediante la técnica del centroide, **CE**, (Johnson et al., 1998) a partir de datos radar a escala regional. Posteriormente, se ha introducido una versión experimental en el STAP del método de extrapolación de correlaciones cruzadas, **CC**, (Wolfson et al., 1999) aplicado a estructuras convectivas, con objeto de tratar de mejorar las extrapolaciones lineales obtenidas por el método del centroide.

En la beca de formación de posgraduados 2003-2004, dentro del proyecto titulado "Seguimiento automático de estructuras convectivas a partir de datos de radares meteorológicos", se ha hecho una verificación comparativa de los módulos de correlaciones cruzadas y centroide durante los meses de Junio a Octubre de 2003, aplicados a un conjunto amplio de estructuras convectivas. En este trabajo se presenta la metodología seguida, así como los resultados obtenidos.

## 1. - INTRODUCCIÓN

Durante el año 2001 se puso en funcionamiento la técnica de extrapolación de estructuras convectivas bidimensionales por **CE** (Martín et al., 2002). Esta técnica se emplea en el seguimiento de una estructura convectiva para obtener una extrapolación lineal basada en su desplazamiento previo. Para ello, se simplifica una estructura a su centroide, al que se atribuyen todas sus características y se extrapola su posición (Barclay and Wilk, 1970; Browning et al., 1982; Johnson et al., 1998). El vector de extrapolación se obtiene, a partir de los centroides de las estructuras analizadas en dos imágenes radar consecutivas, separadas temporalmente 10 ó 20 min.

Una de las limitaciones encontradas en la utilización de la técnica **CE** está directamente relacionada con la variabilidad temporal y espacial que presenta la propia convección. En períodos de 10 ó 20 min., se pueden producir cambios en su forma, tamaño, intensidad e incluso disipación o creación de estructuras potencialmente convectivas. Esto implica que su movimiento futuro, normalmente, no se podrá determinar fácilmente por su desplazamiento pasado. También se pueden producir fusiones y divisiones de las estructuras convectivas en cuestión de minutos. Como los radares del INM toman datos convencionales cada 10 min., a veces se hace difícil el seguimiento de las estructuras y su posterior extrapolación con este tiempo de muestreo tan amplio respecto a la evolución propia de la convección.

Se observó que con estructuras pequeñas, redondeadas y compactas que no sufrían fusión ni división de un instante a otro, el método de extrapolación **CE** podía ser útil para seguir su movimiento. Pero este método no tenía la habilidad de seguir, en ciertos casos, estructuras más amplias y no uniformes. Por esto, se pensó poner en funcionamiento el método de seguimiento por **CC** que produciría, posiblemente, una extrapolación más fidedigna de estructuras de mayor tamaño.

La técnica CC viene siendo utilizada en el INM en los módulos originales de extrapolación radar, tanto a escala regional como nacional. Se basa en el análisis del grado de correlación entre dos imágenes consecutivas. Para ello, se realizan diferentes desplazamientos de la primera de ellas con la segunda, y así obtener un conjunto de correspondencias entre ellas (Rinehart and Garvey, 1978; Austin and Bellon, 1974). El desplazamiento de mejor ajuste (basado en el grado máximo de correlación entre la imagen actual y la anterior desplazada convenientemente) será el que de lugar al vector extrapolación, que es aplicado a toda la imagen radar.

En el año 2002 se realizaron los desarrollos básicos para aplicar este método al análisis de las estructuras convectivas. Los desplazamientos se realizaban tomando una ventana espacial que abarcara a cada una de las estructuras convectivas identificadas y seguidas. El método CC convectivo no se aplicaba a toda la imagen, sino a las áreas donde se identificaba a la estructura convectiva en los instantes  $t$  y  $t-dt$  (para nuestro caso  $dt=10$  ó  $20$  min.). El lector interesado puede consultar la Nota Técnica N° 39 del STAP: “Identificación y seguimiento de estructuras convectivas a partir de datos de radares meteorológicos” (Triviño C. y Martín F., 2003).

Después de poner en fase experimental el módulo CC junto con la técnica CE, lo que se hizo fue comparar ambos métodos, para diferentes tamaños (número de píxeles) de las estructuras convectivas analizadas.

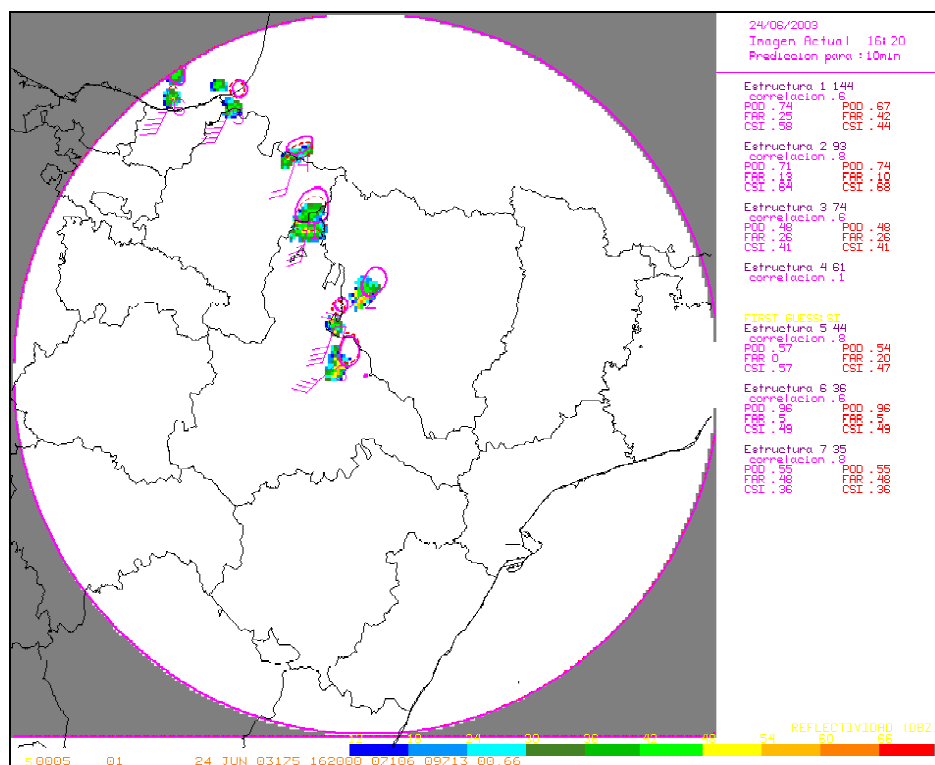
En esta nota técnica se presentan y explican los resultados obtenidos. Primeramente, se describe la metodología empleada en la realización de este trabajo y los datos recogidos. Posteriormente, se comentan los resultados. Finalmente, se presentan las conclusiones.

## **2. - DATOS Y METODOLOGÍA**

Durante los meses de Junio a Octubre de 2003, se activó cada día la aplicación YRADAR (Martín F. et al., 2002) con el PPI de un radar regional, concretamente con el radar de Barcelona o Zaragoza, y en algunas ocasiones, el radar de Valencia. Esta aplicación disponía de los módulos de extrapolación CC y CE. Con las estructuras convectivas identificadas, y para tamaños superiores a 30 píxeles, se obtuvieron las extrapolaciones mediante las técnicas CC (experimental) y CE (operativa).

Después de realizar las extrapolaciones a 10 min., se hace necesario conocer la bondad y la calidad de los resultados obtenidos comparando la posición de las estructuras previstas con la real. Para ello se suelen emplear diferentes métodos de verificación. En nuestro caso se optó por analizar la presencia ó no del píxel convectivo previsto y observado. Para cuantificar los resultados de la predicción se han calculado unos índices de verificación POD, FAR, CSI (que se explicarán con posterioridad). Estos parámetros se obtienen a partir de los diferentes productos o ficheros de datos, ver Figura 1. En el margen derecho de la Figura 1, se encuentra la columna con información sobre las extrapolaciones. La cabecera está constituida por la fecha y la hora de la imagen. El resto de la columna está formado por:

- Número de la estructura.
- Tamaño de la estructura en número de píxeles (a la derecha del número de la estructura).
- Coeficiente de correlación con el que se ha obtenido el vector de extrapolación por CC.
- Los coeficientes de verificación (POD, FAR, CSI): A la izquierda los calculados para CC (en magenta) y a la derecha, los CE (en rojo). Si no se ha calculado la extrapolación que se realizó en el paso anterior no aparecerán los índices de verificación (como es el caso de la estructura 4).
- Si se extrapola con el vector *first-guess* (vector utilizado cuando la estructura es nueva, y por lo tanto, no se ha podido identificar en el momento anterior) aparece FIRST GUESS: SI (en amarillo). El vector se obtiene del viento medio previsto por el modelo, HIRLAM-INM..



**Fig. 1** Radar de Zaragoza, 24 de junio de 2003 a las 16:20 UTC. Presentación de las extrapolaciones de las estructuras convectivas por medio de los métodos de correlaciones cruzadas (en magenta) y centroide (en rojo). Ver texto para más detalles.

En el ejemplo de la Figura 1, la imagen de fondo muestra el PPI “convectivo” del radar activado de Zaragoza. En esta imagen las estructuras extrapoladas aparecen contorneadas en dos colores. En línea continua magenta, se representa la extrapolación

de la estructura por medio del método CC. Con una línea discontinua y en color rojo, se dibuja la extrapolación mediante el método CE. Junto al centroide de cada estructura, aparece el número de la estructura a extrapolar y también se dibuja el vector de extrapolación (en nudos), obtenido por CC.

Los índices calculados por cada uno de los métodos han sido archivados, sólo si teníamos datos de todos ellos por CC y si existían datos de estructuras convectivas que tenían una continuidad de 30 min.

Seguidamente, se hizo una comparación de los distintos índices obtenidos por los dos métodos de extrapolación y se ha estratificado según el tamaño (número de píxeles) de las estructuras convectivas detectadas.

A continuación, se van a describir cada uno de los índices utilizados para hacer la comparación de los dos métodos, CE y CC. Para la obtención de los índices de verificación se utiliza una tabla de contingencia (Tabla A) que nos da la frecuencia de predicciones, aciertos o fallos, donde:

- Éxito (“*hit*”): Se predijo el píxel que forma parte de la estructura y ocurrió.
- Fallo (“*miss*”): No se predijo y ocurrió.
- Falsa alarma (“*false alarm*”): Se predijo, pero no ocurrió.
- Nulo (“*correct negative*”): No se predijo y no ocurrió.

		Predicción		
		SÍ	NO	TOTAL
Observación	SÍ	Éxito	Fallo	Observados
	NO	Falsas alarmas	Nulo	No observados
	TOTAL	Previstos	No previstos	Total

**Tabla A.** Tabla de contingencia para verificación

Un resultado idóneo sería aquel que da sólo éxitos y nulos, sin ningún fallo o falsas alarmas.

**Probabilidad de detección (POD):**

$$POD = \frac{\acute{E}xitos}{\acute{E}xitos + Fallos}$$

Calcula la fracción de píxeles observados que fueron previstos. Un método ideal nos daría un POD igual a uno, donde no existen fallos.

**Proporción de falsas alarmas (FAR):**

$$FAR = \frac{FalsasAlarmas}{\acute{E}xitos + FalsasAlarmas}$$

Mide la fracción de predicciones que no ocurrieron. Un método ideal sería aquel que no tuviera falsas alarmas, FAR=0.

**Índice crítico de aciertos (CSI):**

$$CSI = \frac{\acute{E}xitos}{\acute{E}xitos + Fallos + FalsasAlarmas}$$

Representa la fracción de observaciones y/o predicciones que se predijeron correctamente. Penaliza tanto las falsas alarmas como los fallos. En este caso, un CSI idóneo sería aquel en que los fallos y falsas alarmas son iguales a cero, con lo cual CSI=1.

**3. - RESULTADOS**

Uno de los objetivos era evaluar si el método CC da mejores resultados para estructuras grandes, por lo que, a continuación, vamos a analizar los valores del POD, FAR y CSI para los métodos CC y CE, en función del tamaño (número de píxeles) de la estructura convectiva para los meses de Junio a Octubre de 2003. Se analizarán los resultados para todos meses juntos y para cada mes por separado.

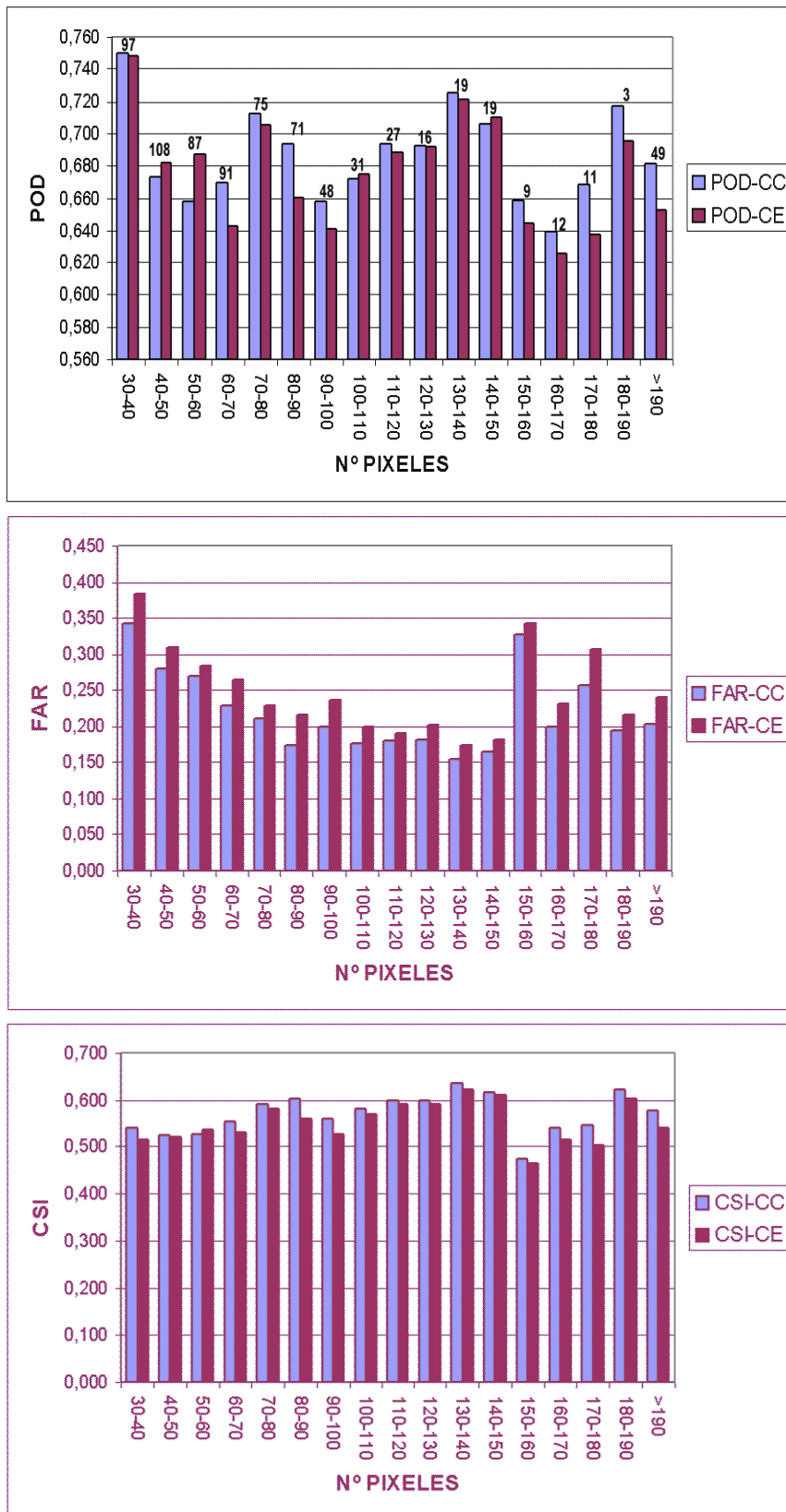
a) Junio-Octubre



Fig. 2 Gráficas correspondientes a todos los meses de Junio a Octubre de 2003 con el POD, FAR, CSI de las correlaciones cruzadas (CC) y del centroide (CE) en función del número de píxeles de las estructuras convectivas. Nota: Los cifras sobre las columnas indican el número de las estructuras convectivas analizadas en cada intervalo de tamaño.



**b) Junio**



*Fig. 3 Ídem que la Figura 2 para el mes de Junio de 2003*

**c) Julio**



*Fig. 4 Ídem que la Figura 2 para el mes de Julio de 2003*

d) Agosto



Fig. 5 Ídem que la Figura 2 para el mes de Agosto de 2003

e) Septiembre

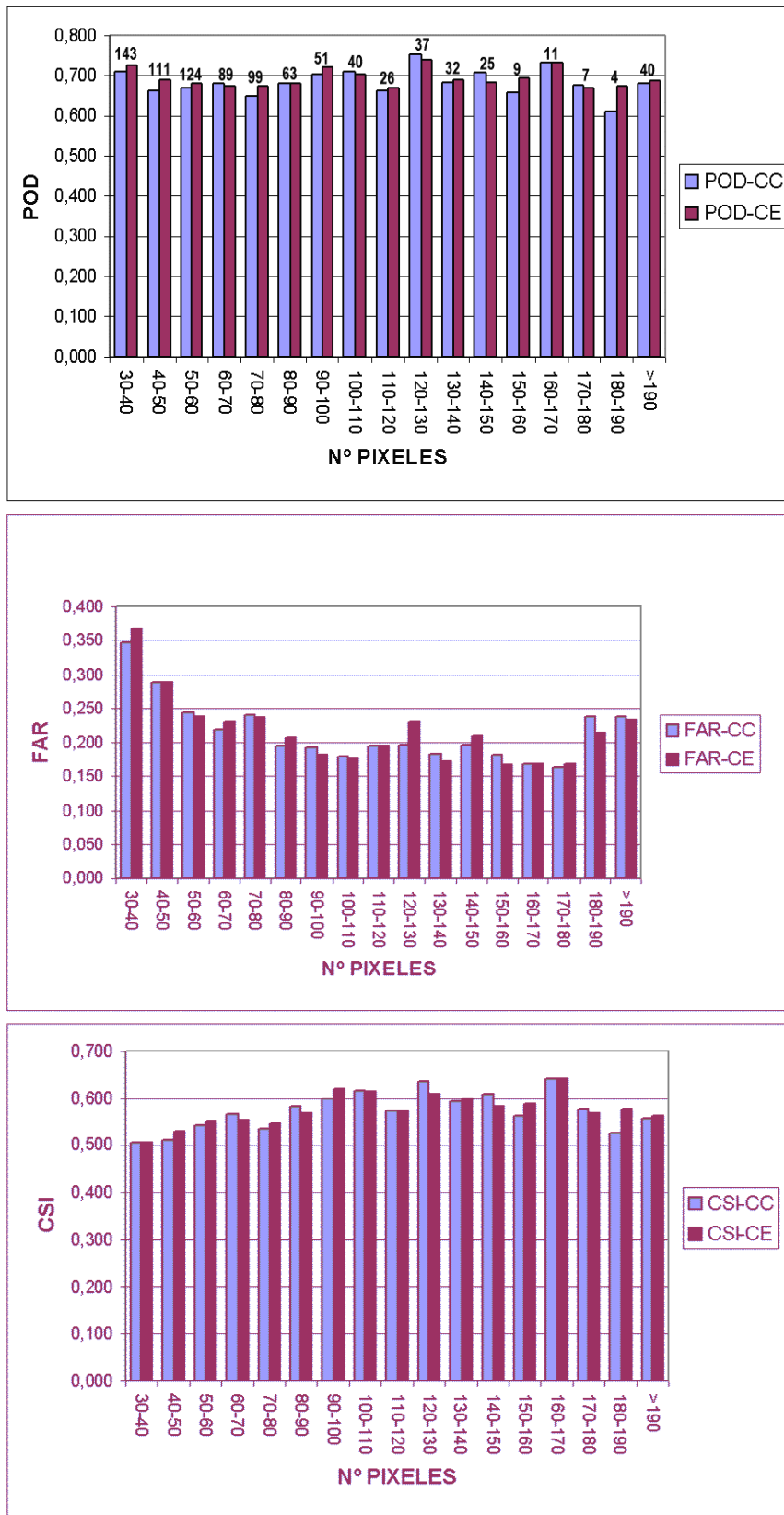


Fig. 6 Ídem que la Figura 2 para el mes de Septiembre de 2003

f) Octubre



Fig. 7 Ídem que la Figura 2 para el mes de Octubre de 2003

En las gráficas correspondientes al análisis de los cinco meses juntos (Figura 2), se observa que el POD de CC es prácticamente igual al POD de CE a medida que aumenta el tamaño (número de píxeles) de las estructuras convectivas, con una pequeña diferencia en el intervalo de 170 a 180 píxeles (con 54 estructuras) en el cual el POD de CC es un poco superior al POD de CE.

Para el FAR de CC se aprecia que es igual al FAR de CE al ir aumentando el número de píxeles de las estructuras convectivas.

Con relación al CSI, a medida que crece el número de píxeles el CSI de CE aumenta con respecto al CSI de CC, excepto en el intervalo de 170 a 180 píxeles (con 54 estructuras) donde ambos índices son prácticamente.

En la Figura 3, correspondiente al mes de Junio, se puede ver que el POD de CC es un poco mejor al POD de CE a partir de 150 píxeles. Para el caso del FAR de CC es muy semejante al FAR de CE al hacerse más grandes las estructuras convectivas. Ambos valores, tanto el FAR de CC como el FAR de CE van descendiendo de valor a ir aumentando el número de píxeles. Sin embargo, en el intervalo de 150 a 160 píxeles (con 9 estructuras) y en el intervalo de 170 a 180 píxeles (con 11 estructuras) se produce un aumento destacado de ambos valores.

Los valores del POD (Figura 4) para el mes de Julio caben destacar los intervalos de 120 a 130 píxeles (con 22 estructuras), de 140 a 150 píxeles (con 15 estructuras) y de 170 a 180 píxeles (con 13 estructuras) en que el POD del CE es algo superior al POD de CC.

En el FAR de Agosto (Figura 5) hay un valor máximo de ambos índices, tanto del FAR de CC como del FAR de CE en el intervalo de 90 a 100 píxeles (con 57 estructuras) con respecto a los otros intervalos.

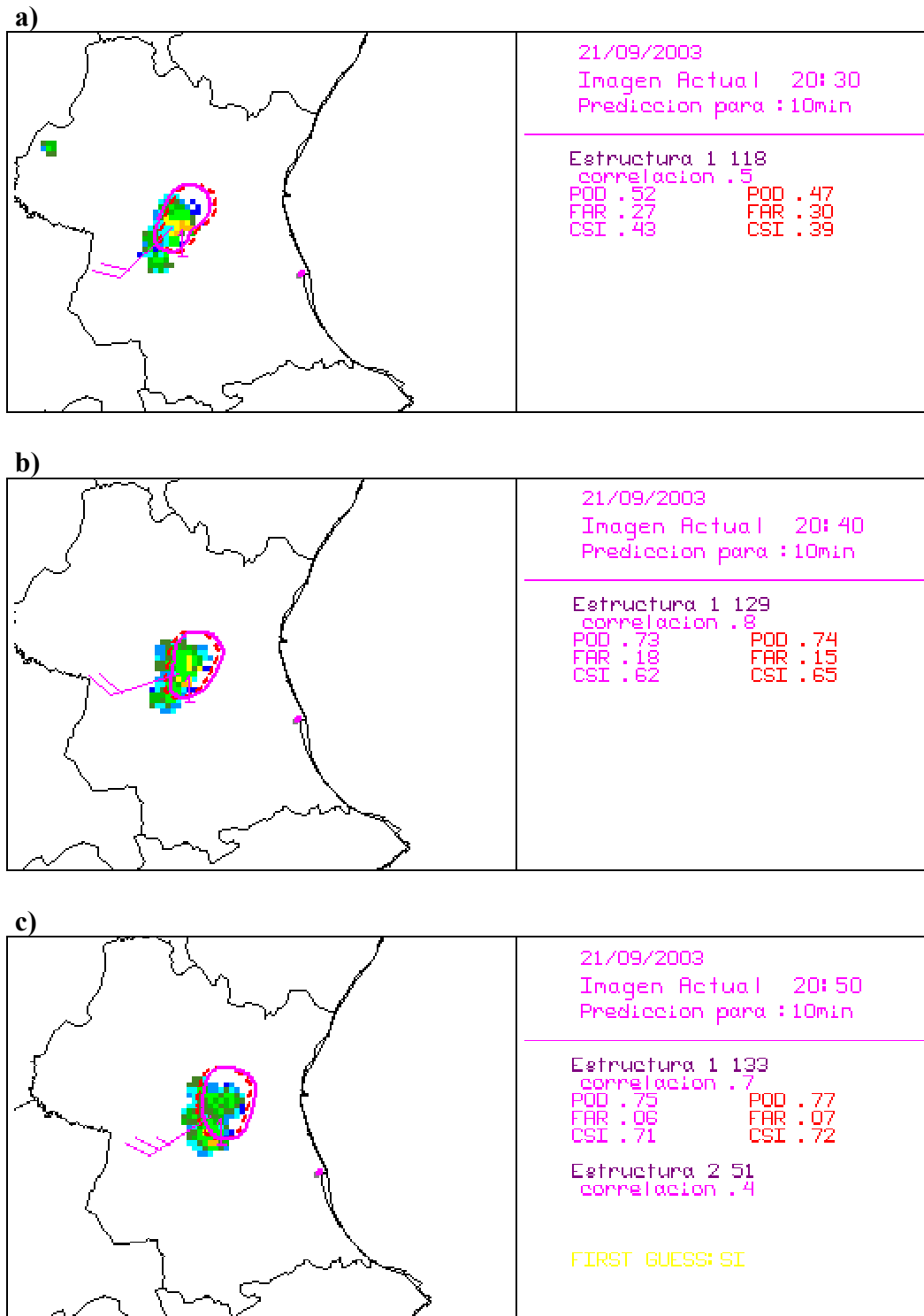
Como se aprecia en la Figura 7, correspondiente al mes de Octubre, el POD tanto de CC como de CE es prácticamente igual, excepto en el intervalo de 170 a 180 píxeles (con sólo 3 estructuras) donde el POD de CC mejora al POD de CE.

Con respecto al del FAR de este mes, existen los intervalos de 120 a 130 píxeles (9 estructuras) y los intervalos de 170 a 180 píxeles (con sólo 3 estructuras) en los cuales el FAR de CE mejora un poco al FAR de CC.

Con el índice CSI de este mes, se observa que son iguales los índices CSI de CC con respecto al CSI de CE al ir creciendo el número de píxeles de las estructuras convectivas, y cabe destacar el intervalo de 170 a 180 píxeles en el cual el CSI de CC es mayor a CSI de CE.

### **3.1 EJEMPLO**

A continuación y como ejemplo práctico (Figura 8), presentamos la evolución de la estructura convectiva número 1, en que los índices de verificación para el método CC (en magenta), mejoran muy poco, respecto a los CE (en rojo), a medida que aumenta el tamaño (número de píxeles) de la estructura. Incluso, a las 20:50 UTC (Figura 8c), los índices de verificación CE (POD= 0.77, FAR= 0.07, CSI= 0.72) son un poco superiores a los del módulo CC (POD= 0.75, FAR= 0.06, CSI= 0.71), con un tamaño de la estructura de 133 píxeles.



**Fig. 8** Montaje de la columna de información de las extrapolaciones de la estructura número 1, con los métodos de correlaciones cruzadas (en magenta) y centroide (en rojo) y detalle del radar de Valencia, 21 de Septiembre de 2003 a las (a) 20:30 UTC, (b) 20:40 UTC y (c) 20:50 UTC.

#### 4. – DISCUSIONES DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Durante los meses de Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre de 2003 se verificaron y compararon los resultados de los métodos de extrapolación por centroide (CE, operativo) y el nuevo método de correlaciones cruzadas (CC, experimental) aplicados individualmente a estructuras convectivas bidimensionales. La muestra fue relativamente amplia al ser los meses citados, desde el punto de vista convectivo, muy activos. Se utilizaron datos de los radares de Zaragoza, Barcelona y Valencia. Las estructuras convectivas analizadas fueron aquellas que tenían un tiempo de vida de al menos 30 min., y tenían un tamaño superior a 30 píxeles.

Los resultados obtenidos nos indican que el método de extrapolación CC es prácticamente igual a la técnica del CE cuando aumenta el tamaño (número de píxeles) de las estructuras convectivas a extrapolaciones a 10 min. Cuando las estructuras permanecen compactas y con una evolución espacial más o menos uniforme, ambos métodos dan resultados similares. Llama la atención que al crecer el tamaño de las estructuras, los resultados obtenidos por CC no mejoran a los de CE, como cabría esperar. Las razones por las que se dan estos resultados pueden ser de diversa naturaleza, unas asociadas a la propia convección y otras a la forma de exploración de nuestros radares:

##### a.- Asociadas a la propia convección

-La convección al aumentar de tamaño no lleva implícito que sea mejor seguida por el método CC. Esto es consecuencia de que un aumento de tamaño lleva normalmente asociada una reestructuración en la forma, pasando ésta de ser compacta y redondeada, cuando es pequeña, a una más o menos lineal con posibles arqueamientos, cuando crece. En este sentido, las correlaciones cruzadas no tienen por qué aumentar su habilidad en seguirlas mejor que el método del centroide.

-Al aumentar el tamaño de las estructuras, la probabilidad de que éstas experimenten fusiones y divisiones aumenta, así como sus variabilidades espacio-temporales. Esta amplia variabilidad y casuística pueden ser tales, que el método CC no sea capaz de mejorar al CE.

##### b.- Limitaciones debidas a la forma de exploración

-Los radares del INM exploran cada 10 min., en modo normal. Este intervalo de tiempo es relativamente alto para la convección bien organizada (y normalmente de gran tamaño). La convección organizada puede ver alterada su forma e intensidad en cuestión de minutos. En muchas ocasiones en 10 min., los métodos de seguimiento y extrapolación no puedan seguir correctamente las estructuras convectivas, complicándose la extrapolación de las mismas.

-Los métodos de extrapolación son muy sensibles a la “forma” de la estructura convectiva que es analizada por un radar. En este trabajo hemos utilizado la estructura convectiva detectada y vista en el PPI. Por otra parte, y para una misma estructura analizada por diversos radares, se tienen diferentes formas de la misma convección, según el radar y la exploración base utilizada. De esta forma, se produce una ambigüedad inherente a la hora de utilizar los datos para la extrapolación de la



convección. En otras palabras, la extrapolación bidimensional es muy sensible a qué radar la está observando y a qué nivel se analiza la estructura convectiva, tanto más si se utiliza el PPI o CAPPIs bajo.

-Para el caso del PPI (elevación de  $0.5^\circ$ ) la comparación y verificación se realizan utilizando la extrapolación de una estructura pasada que se encuentra a diferente altura que la actual a comparar, ya que al alejarse o acercarse del radar las zonas iluminadas están a distinta altura. Lo más lógico sería comparar y verificar los resultados utilizando datos de un CAPPI donde la convección analizada se desplace a una altura constante.

Un hecho a destacar es la posible operatividad del módulo CC. Se ha observado que en la ejecución de dicho módulo se consumen demasiados recursos de ordenador, tanto más cuantas más sean las estructuras convectivas que haya que analizar, ya que correlaciona individualmente cada uno de los focos convectivos detectados.

Una limitación que tiene el procedimiento básico de CC es que el seguimiento y extrapolación se realiza en toda el área rectangular de trabajo que contiene a la estructura analizada. Estas subáreas rectangulares pueden incluir a otra(s) estructura(s), lo que puede provocar, que en su desplazamiento, las estructuras de estudio se encuentren con otras con las que no tienen relación alguna.

En conclusión, a la vista de los resultados obtenidos, y todo lo explicado anteriormente, creemos que el método de correlaciones cruzadas convectivo no mejora suficientemente al método del centroide como para ser considerado en el futuro como operativo. El tiempo de ejecución es alto y consume muchos recursos de ordenador.

En cualquier caso, el predictor que utilice las extrapolaciones de las estructuras convectivas debe ser consciente de que dichas extrapolaciones son orientativas, siendo muy sensibles a los elementos enumerados con anterioridad. El análisis combinado de las extrapolaciones bi y tridimensionales también debe ser considerado, para estimar el posible desplazamiento de las estructuras convectivas.

## REFERENCIAS

AUSTIN, G.L. and A. BELLON, 1974: The use of digital weather radar records for short-term precipitation forecasting. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **100**, 658-664.

BARCLAY, P.A. and K. E. WILK, 1970: Severe thunderstorm radar echo motion and related weather events hazardous to aviation operations. *ESSA Technical Memorandum, ERLTM-NSSL 46*, 63.

BROWNING, K.A., C. G. COLLIER, P.R. LARKE, P. MENMUIR, G.A. MONK and R. G. OWENS, 1982: On the forecasting of frontal rain using a weather radar network. *Mon. Weather Rev.*, **110**, 534-552.

JOHNSON, J. T., P.L. MACKEN, A. WITT, E.D. MITCHELL, G.J. STUMPF, M.D. EILTS and K. W. THOMAS, 1998: The storm cell identification and tracking algorithm: An enhanced WSR-88D algorithm. *Wea. Forecasting*, **13**, 263-276.

MARTÍN, F., O. CARRETERO e I. SAN AMBROSIO, 2002: Análisis de estructuras y células convectivas mediante datos de radar regional: Aplicación YRADAR. Publicación interna del INM.

MARTÍN, F., 2002: Consideraciones generales sobre la aplicación de análisis de estructuras convectivas 2D a partir de datos del mosaico radar: YRADARNA. Publicación interna del INM.

RINEHART, R. E. and E. T GARVEY, 1978: Three dimensional storm motion detection by conventional weather radar. *Nature*, **273**, 287-289.

TRIVIÑO, C. y F. MARTÍN, 2003: Identificación y seguimiento de las estructuras convectivas a partir de datos de radares meteorológicos. *Nota Técnica del STAP*, **39**.INM

WOLFSON, M.M, B.E. FORMAN, R.G. HALLOWELL and M.P. MOORE, 1999: The growth and decay storm tracker. *70<sup>th</sup> AMS Conf.* Dallas. TX.

