

DATOS DE VIENTO VAD (VELOCITY AZIMUTH DISPLAY): CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN OPERATIVA

Sara Conejo Jorge
Fermín Elizaga Rodríguez

Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción (STAP)
Instituto Nacional de Meteorología (INM)
C/ Leonardo Prieto Castro, 8 28071 Madrid
Tfno: 91 5819758
Correo electrónico: sconejo@inm.es

Resumen

En este trabajo se presentan las actividades realizadas para avanzar hacia un mejor y más extenso uso de los datos VAD (Velocity Azimuth Display) en el entorno operativo de predicción del INM. La técnica VAD permite estimar un conjunto de propiedades del campo de viento en la vertical de un radar Doppler, como el viento horizontal o la divergencia a distintos niveles. La caracterización de estos datos se ha llevado a cabo mediante un análisis comparativo de los perfiles de viento VAD y los datos de viento de radiosondeos a lo largo de un año (Septiembre 2002 - Agosto 2003), usando aquellos radares cercanos a los puntos de lanzamiento de los sondeos. Los resultados obtenidos permiten concluir que los datos VAD, en la mayoría de las ocasiones, representan con fiabilidad el régimen de viento en las proximidades del radar y pueden ser usados en tareas operativas.

Palabras clave

Viento VAD, radiosondeos, viento radial Doppler

Summary

In this work the main activities carried out to promote a wider and better use of VAD (Velocity Azimuth Display) data in the INM operational forecasting environment are presented. VAD technique allows to estimate a set of wind field properties in the vertical of a Doppler radar, such as horizontal wind and divergence at different levels. The VAD winds characterization has been made by comparing the VAD and sounding profiles for one year (September 2002 - August 2003). For this comparison, only radar sites close to the sounding locations have been used. The results indicate that, in most occasions, VAD winds properly reflect the wind flow near the radar, and can be used for the operational tasks.

Keywords

VAD winds, soundings, Doppler radial wind

1. INTRODUCCIÓN

Desde septiembre de 2002 se dispone de una base de datos con los perfiles de viento obtenidos mediante la técnica VAD (Velocity Azimuth Display) cada media hora para cada uno de los 14 radares que actualmente posee el INM en funcionamiento. El objetivo del trabajo que se presenta es evaluar la calidad de estos datos mediante la comparación con radiosondeos. Para este estudio se han utilizado los datos de las 00:00 UTC y 12:00 UTC de cinco de las estaciones de radiosondeos del INM, atendiendo a la proximidad a los radares.

2. METODOLOGÍA

Los sondeos y radares utilizados para la obtención de perfiles y las distancias que separan unos de otros se muestran en la Tabla I.

Tabla I: Distancia entre el radar y la estación de radiosondeo más próxima

Situación	Distancia (Km)
A Coruña	23
Madrid	34
Murcia	30
Vizcaya – Santander	79
Zaragoza	41

Para realizar un análisis estadístico se han seleccionado los datos de vientos VAD y los del sondeo situados en un nivel próximo, cuya separación vertical en ningún momento supere el umbral de 50 m. El estudio básico ha comprendido 12 meses, desde el 1 de septiembre de 2002 hasta el 31 de agosto de 2003 y se ha utilizado la serie completa, independientemente de si los datos VAD estaban obtenidos en aire claro o no.

La estadística para cuantificar las diferencias entre los vientos VAD y los sondeos ha sido obtenida tanto para el módulo y la dirección del viento como para las componentes u y v. Las funciones estadísticas utilizadas para realizar el análisis comparativo de los perfiles de viento VAD y de los datos de viento de los radiosondeos han sido las siguientes:

- Media aritmética
- Media absoluta de las diferencias (absdev)

$$absdev = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |v_i - s_i|$$

v_i , datos de viento VAD, s_i datos de radiosondeos y N el número total de datos

- Sesgo o bias

$$sesgo = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - s_i)$$

- Coeficiente de correlación (Corr)
- Raíz del error cuadrático medio (RMS)

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - s_i)^2}$$

- Error cuadrático medio del vector diferencia (RMSVD)

$$RMSVD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(u_v - v_s)^2 + (u_s - v_s)^2]}$$

donde u_v es la componente zonal del viento VAD, v_v la componente meridional del viento VAD, u_s la componente zonal del viento de los radiosondeos, v_s la componente meridional del viento de los radiosondeos y N el número total de datos.

3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Se realizó un análisis preliminar para comprobar si existían diferencias entre los perfiles de vientos VAD y los vientos de los sondeos, media hora antes y después de la hora nominal de los sondeos. Concretamente la estadística se realizó entre los perfiles de viento VAD (en adelante P_VAD) de las 23:30, 00:00 y 00:30 UTC y el sondeo de las 00 UTC y los P_VAD de las 11:30, 12:00 y 12:30 UTC y el sondeo correspondiente de las 12 UCT. Los resultados muestran que apenas existe diferencia significativa desde el punto de vista estadístico entre los perfiles que difieren media hora respecto a la hora de lanzamiento del globo sonda, por lo que para realizar el análisis estadístico se han utilizado los P_VAD de 00:00 y 12:00 UTC.

En principio se considero que aquellos perfiles de viento VAD que cuentan con pocos datos (menos de 10 datos) podrían tener menos calidad que aquellos en los que el número de datos era superior, por cuyo motivo se optó por eliminarlos de la muestra. Estudios posteriores han confirmado que aunque el número de estos datos no alcanza en la mayor parte de las estaciones el 5% del total llevan asociados, en general, diferencias bastante superiores a la media. Por esta razón se han utilizado sólo aquellos P_VAD que incluyen más de 10 datos.

Tabla II: Valores de la media, bias, RMS, absdev, RMSVD y corr (ver texto para más información) obtenidos a 00:00 UTC y 12:00 UTC. SPD: módulo del viento (m/s). DIR: dirección del viento (grados). Se han usado los P_VAD con más de 10 datos. Periodo del 1 de septiembre de 2002 al 31 de agosto de 2003.

	Coruña		Madrid		Murcia		San Sebastián		Zaragoza	
	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00
Media SPDv	11,9	10,8	9,5	7,3	9,1	7,6	10,1	9,1	9,3	7,1
Media SPDs	11,3	10,8	6,9	6,8	7,2	7,6	8,0	8,3	7,5	7,3
Bias SPD	0,6	0,0	2,7	0,5	2,0	0,1	2,2	0,8	1,8	-0,2
RMS SPD	4,2	3,9	5,2	2,9	3,9	3,0	5,1	3,9	4,3	2,8
RMS Dir	45	42	73	48	62	37	58	43	62	45
absdev SPD	3,1	2,8	4,2	2,1	3,0	2,2	4,0	2,9	3,4	2,1
absdev Dir	30	26	53	31	43	25	41	28	45	29
RMSVD	7	6	8	5	6	4	8	5	7	4
Corr SPD	0,86	0,84	0,53	0,83	0,78	0,81	0,58	0,74	0,59	0,8
Corr Dir	0,85	0,88	0,75	0,83	0,82	0,9	0,8	0,85	0,8	0,86
Nº datos	886	1175	1083	867	774	739	1254	905	1241	1058

En la Tabla II se presentan los valores estadísticos utilizados para evaluar las diferencias que existen entre los P_VAD y los vientos medidos en los sondeos, algunos de los cuales se analizan con más detalle a continuación.

En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos para el RMS, pudiendo comprobarse que el RMS de la velocidad del viento (RMS SPD) es superior en todos los casos a las 00:00 UTC que a las 12:00 UTC, siendo la media para los cinco radares de 4.5m/s y 3.3m/s respectivamente. Los valores más elevados se encuentran en Madrid y San Sebastián por la

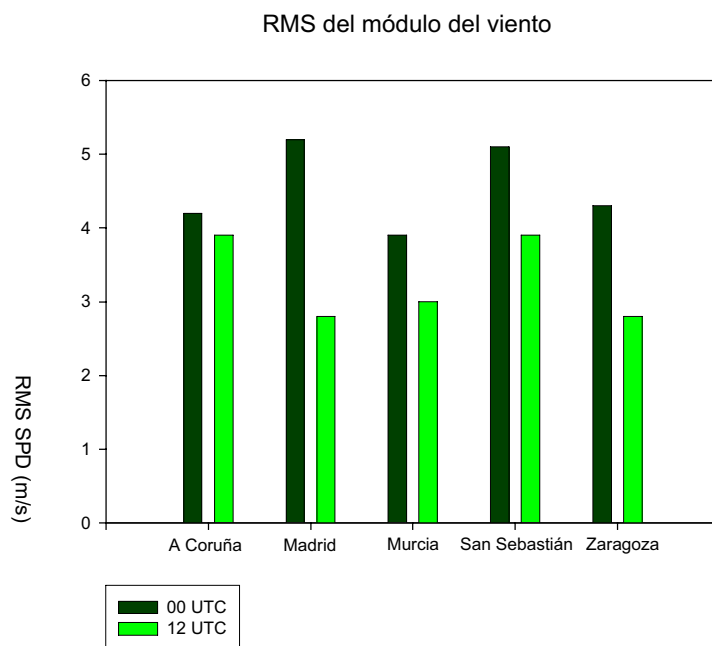
noche, aunque hay que tener en cuenta que la distancia que separa el radar de Vizcaya y el sondeo de Santander es de 79 Km., más del doble que en el resto de los casos.

En la Figura 2 se puede ver la relación que existe para el RMS de la dirección del viento (RMS Dir), observándose, al igual que en el módulo, valores superiores a las 00:00 UTC, con una media de 60°, que a las 12:00 UTC, con una media de 43°. Madrid por la noche vuelve a ser singular por dar un valor extremo, 73°.

De acuerdo con la tendencia general el absdev (la media absoluta de las diferencias) para la dirección a las 00:00 UTC, con un valor medio de 43°, es sensiblemente superior al de las 12:00 UTC, con un valor medio de 28°. Se mantienen valores extremadamente altos para Madrid, 53° a las 00:00 UTC.

Tanto en los perfiles de 00:00 UTC como en los de 12:00 UTC se puede observar que existe, en general, un sesgo positivo para la velocidad, lo que indica que los valores de los vientos estimados por la técnica VAD son más elevados que los de los sondeos, entre 1m/s y 2m/s en promedio en el primero de los casos y de aproximadamente 0.5m/s en el segundo.

Figura 1: Raíz del error cuadrático medio del módulo del viento para cada una de las estaciones a 00:00 UTC y 12:00 UTC.

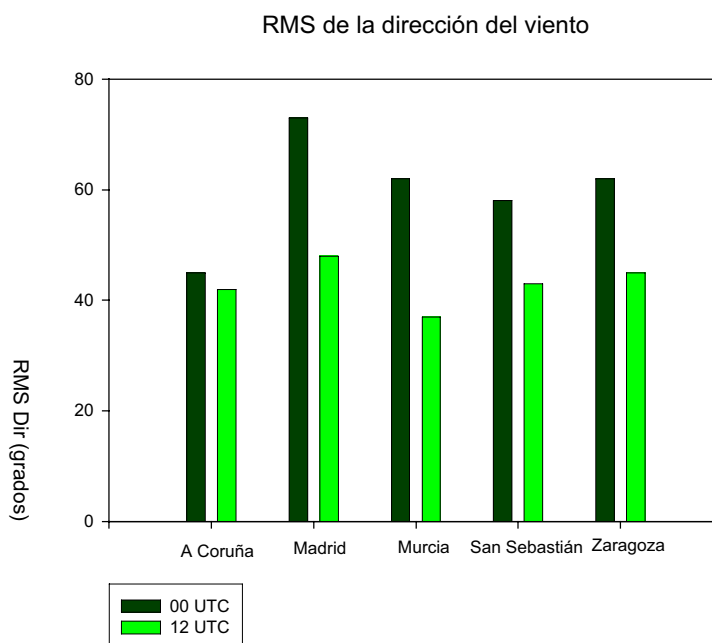


Como referencia señalar que estudios realizados en Suecia (Andersson, 1998) muestran un RMS de la velocidad de unos 2.5m/s de media en un periodo comprendido entre el 9 de diciembre de 1994 y el 14 de febrero de 1995 y del 28 de junio al 30 de noviembre. Los valores obtenidos por ellos son inferiores, pero hay que tener en cuenta que su radar y la estación de radiosondeos estaban separados únicamente 10 Km.

El valor del RMSVD, error cuadrático medio del vector diferencia para el año completo es para las 00:00 UTC de 7.3m/s y de 4.9m/s para las 12:00 UTC, valores del orden e incluso inferiores, en este último caso, a los obtenidos por distintos estudios realizados en Norteamérica (Davis et al., 1995). En estos estudios, para una media de 12 puntos, con una

distancia aproximada entre el radar y el lugar de lanzamiento del globo sonda (salvo en dos excepciones) inferior a 16 Km, se obtienen para una serie de 9 meses, Junio a Febrero, valores medios de 5.5m/s.

Figura 2: Raíz del error cuadrático medio de la dirección del viento para cada una de las estaciones a 00:00 UTC y 12:00 UTC.



3.1 Análisis por estaciones

Realizada la comparación entre los P_VAD y los vientos registrados mediante sondeos a lo largo de un año se ha procedido a realizar un análisis similar para las cuatro estaciones. Hay que destacar que en verano debido a diversos problemas técnicos se perdieron casi un mes de datos.

Tabla III: Valores del RMS, bias, y RMSVD a 00:00 UTC y 12:00 UTC. SPD: módulo del viento (m/s). DIR: dirección del viento (grados). Se han usado los P_VAD con más de 10 datos.

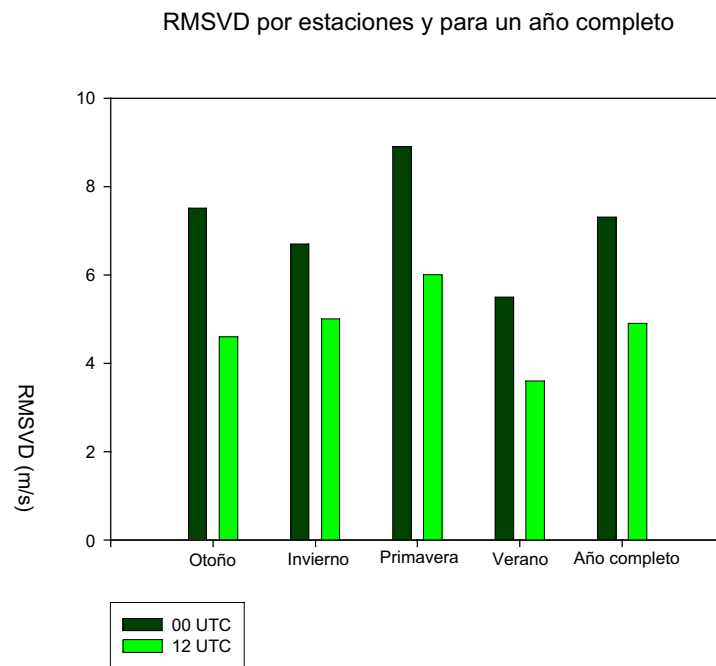
	OTOÑO		INVIERNO		PRIMAVERA		VERANO		AÑO ENTERO	
	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00
RMS SPD	4,2	3,1	4,6	3,6	5,4	4,0	3,2	2,3	4,5	3,3
Bias SPD	1,6	-0,1	0,9	-0,4	3,3	0,9	0,6	0,1	1,8	0,2
RMS DIR	70	45	25	28	56	44	60	42	60	43
RMSVD	7,5	4,6	6,7	5,0	8,9	6,0	5,5	3,6	7,3	4,9
Nº de datos	1841	1455	464	498	1510	1449	1423	1342	5238	4744

En la Tabla III se muestran los resultados obtenidos para los distintos periodos del año. Hay que señalar que la tendencia general para valores del RMS de dirección y módulo del viento se mantiene, los valores son más altos a las 00:00 UTC que a las 12:00 UTC. Las mayores diferencias entre los vientos VAD y los valores registrados por los sondeos en intensidad se observan en invierno y primavera, coincidiendo con valores medios de la velocidad del viento mayores, especialmente en el primero. Los valores del RMS de la dirección más bajos corresponden a la época de invierno, con valores medios aproximados de 25°; el máximo se presenta en otoño a las 00:00 UTC, 70°. El bias positivo en la mayor parte de los casos

también muestra que por lo general y salvo en contadas ocasiones los vientos VAD toman valores más elevados que los registrados en los sondeos.

El RMSVD, Figura 3, toma valores más altos en primavera y en otoño que en el resto de las estaciones. Hay que destacar que el RMSVD obtenido en el ya mencionado estudio realizado en Norteamérica (David et. all, 1995) es también apreciablemente superior en los meses de otoño que en el resto de los meses analizados en su trabajo. Los valores más bajos del RMSVD se presentan en verano y se mantiene la tendencia general de noche y día, mejores resultados en este último caso. Los valores obtenidos por Davis son comparables a los obtenidos en este estudio, en verano 4.1m/s frente a los 4.5m/s respectivamente, en otoño de 7.5m/s frente a 6m/s y en invierno de 6.5m/s frente a 5.7m/s. Algunas de las causas que señala como posibles fuentes de error de los P_VAD son las migraciones de los pájaros en otoño y primavera y el alto número de días con inversiones térmicas y nieblas en la estación de invierno (eliminado estos días, que suponen un 40% del total de las observaciones totales de la citada estación, obtienen valores del RMSVD inferiores, del orden de 5m/s.).

Figura 3: Error cuadrático medio del vector diferencia para las distintas estaciones del año y para el año completo, a 00:00 UTC y 12:00 UTC.



3.2 Análisis complementarios

A continuación, una vez realizado el análisis de los perfiles completos, se abordará un estudio similar pero trabajando con los P_VAD que se obtienen cuando se reduce el número de niveles atendiendo a criterios basados en la intensidad de viento VAD y en la altitud de los niveles.

Si se eliminan de los P_VAD los vientos inferiores a 5m/s los resultados obtenidos indican, como se puede apreciar en la Tabla IV, que tanto el RMS como el absdev de la dirección son inferiores. El RMS medio de las cinco estaciones a las 00:00 UTC disminuye 6°, ahora es de 54°, y a las 12 UTC en 12°, tomando valores de 31°. En el ya citado trabajo de Andersson

(1998) el RMS para los niveles de 925, 850 y 700 hPa coincide con este último valor. La tendencia general se mantiene igual que en el caso de los perfiles completos, por la noche la diferencia de dirección entre los vientos VAD y los medidos en los sondeos es sensiblemente superior que por el día.

Los resultados cuando se evalúan por separado aquellos datos con valores del viento VAD inferiores a 5m/s muestran mayores diferencias entre los perfiles de viento obtenidos con el radar y las muestras del sondeo. Los valores medios del módulo de la velocidad de los vientos VAD se encuentran entre 3-4m/s y el RMS del módulo, en todos los casos, toma valores superiores 2m/s. El RMS de la dirección también alcanza valores muy altos, con media superior a 70° y en ocasiones superior a 90°, como es el caso de Madrid a las 00:00 UTC.

Tabla IV: Valores del RMS y absdev a las 00:00 UTC y 12:00 UTC. DIR: dirección del viento (grados). En la primera columna se han excluido aquellos vientos VAD inferiores a 5m/s y en la segunda los inferiores a 10m/s.

	velocidades > 5m/s		velocidades > 10m/s		todos los datos	
	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00
RMS DIR	54	31	40	28	60	43
absdev Dir	38	20	28	16	43	28
nº datos	4282	3322	2239	1453	5238	4744

Para corroborar estos resultados y comprobar que cuanto más intensos son los vientos menores son las diferencias en dirección de los P_VAD y los vientos de los sondeos se eliminaron de los perfiles de viento VAD aquellos vientos inferiores a 10m/s. Los resultados de la estadística realizada se muestran en la Tabla IV. Destacar que el RMS medio de la dirección de la velocidad es a las 00:00 UTC de 40° y a las 12:00 UTC de 28°, manteniéndose la tendencia general de peores resultados por la noche que por el día. El absdev de la dirección a las 12:00 UTC toma valores de 16°, respecto a los 28° que se obtenían cuando se utilizaban los perfiles completos, mientras que a las 00:00 UTC decrece de 43° a 28°. En el estudio a Andersson (1988) eliminando, como en nuestro caso, aquellos vientos VAD con valores inferiores a 10m/s, el absdev de la dirección en 925 hPa. disminuye de 18° a 9°.

Por otro lado, se ha realizado también un análisis estadístico de los P_VAD separando los datos según niveles verticales en varios estratos, entre la altitud del radar y 1500m., entre 1500 y 3000m. y por encima de 3000m, Tabla V. Los resultados, tal y como cabría esperar, muestran que debido a que en niveles superiores la intensidad del viento es en general mayor, existen menores diferencias en dirección entre los vientos VAD y los sondeos.

Tabla V: Valores del RMS y absdev a las 00:00 UTC y 12:00 UTC. DIR: dirección del viento (grados). Separación de los datos según niveles verticales en varios estratos.

	Nivel del radar - 1500 m		1500 m - 3000 m		más de 3000 m	
	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00
RMS DIR	58	47	61	41	39	31
absdev Dir	42	32	43	26	27	17
nº datos	2183	2218	2666	2218	389	308

4. CONCLUSIONES

En la comparación entre los perfiles de viento VAD y los vientos registrados mediante radiosondeos para un año completo (periodo comprendido entre el 1 de septiembre y el 31 de agosto) y en las cinco estaciones donde el radiosondeo y el radar se encontraban próximos el RMS, tanto del módulo como de la dirección del viento, toma valores más altos a 00:00 UTC que a las 12:00 UTC, con valores medios de 4.5m/s y 3.3m/s y de 60° y 43° respectivamente.

Los vientos VAD con intensidad inferior a 5m/s muestran valores sensiblemente superiores a los citados anteriormente, tanto en intensidad como en dirección. Analizando la relación entre los P_VAD en los que se ha eliminados los vientos inferiores a 5m/s y los radiosondeos se obtienen mejores resultados en dirección, el RMS toma valores de 54° a las 00:00 UTC y de 31° a las 12:00 UTC. Si se eliminan también de los P_VAD aquellos vientos menores de 10m/s el RMS en dirección disminuye todavía más, a 40° y 28° respectivamente.

En todos los casos el sesgo del módulo de la velocidad es positivo, lo que nos indica que los vientos obtenidos mediante la técnica VAD son ligeramente más elevados que los de los sondeos, del orden de 1- 2m/s a las 00:00 UTC y de 0.5m/s a las 12:00 UTC.

Estos resultados se mantienen, en general, al realizar un análisis estacional a lo largo del año, y aunque las diferencias son pequeñas se presentan algunas particularidades. En invierno el RMS de la dirección, coincidiendo también con un valor medio de la intensidad del viento superior al resto del año, es del orden de 25°, sensiblemente inferior que en las otras tres estaciones. También el RMSVD presenta diferencias, valores más elevados en primavera y otoño que en el resto del año.

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden, en general, y muestran diferencias del mismo orden entre los perfiles de viento VAD y los sondeos que distintos estudios realizados en Suecia y EE.UU., donde se señalan como principales fuentes de error las migraciones de pájaros, que se producen básicamente de noche en otoño y primavera, aunque también se obtienen peores resultados cuando existen inversiones térmicas y nieblas.

En resumen, las diferencias entre los perfiles VAD y los sondeos son menores a las 12:00 UTC que a las 00:00 UTC y el RMS medio de la velocidad se encuentra alrededor de los 4m/s. Cuanto mayor es la intensidad del viento menores son las diferencias en dirección, manteniéndose la tendencia de peores resultados de noche.

De este estudio se puede concluir que los vientos VAD poseen la calidad suficiente para ser usados en tareas operativas, siempre y cuando se tengan en cuenta las consideraciones anteriores.

REFERENCIAS

- Andersson, T. VAD winds from C band Ericsson Doppler Weather Radars. *Meteor. Zeitschrift* , 1998, 7, 309-319.
- Davis, J. L., Lee, R. R. & Ingram J. L. Comparing rawinsonde and WSR-88D wind profiles. *Preprints, 27 th Conf. Radar Meteor.*, Vail, Colorado, 1995.
- Conejo, S. & Elizaga, F. Aplicación a la vigilancia y predicción inmediata de los perfiles de viento derivados de radares meteorológicos Doppler. Nota Técnica STAP N°40, INM, 2002.