

# UN DERECHO EN EUROPA

J. Manuel López Pérez<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Nacional de Meteorología, Centro Meteorológico Territorial en Cataluña, C/Arquitecte nº1 08001 Barcelona. Email: [jmlopez@inm.es](mailto:jmlopez@inm.es)

## 1- Derechos: antecedentes históricos

Las tormentas violentas afectan, frecuentemente, a los estados del medio oeste de EEUU. A mediados del siglo XIX se había aceptado el nombre de tornado (palabra de origen español que indica giro) para los remolinos, de origen convectivo, de las praderas (“twister of prairies”). Por analogía, en 1888 el Dr. G. Hinrichs, Director del Servicio Meteorológico de Iowa, propuso en un artículo del American Meteorological Journal designar con una palabra española, derecho (para indicar en línea recta) un fenómeno meteorológico (“straight blow of the prairies”) con efectos en superficie aparentemente similares al tornado, con el que hasta entonces se confundía, pero de diferentes características meteorológicas.

Hinrichs describe los derechos como: “el acusado hundimiento y violenta progresión de una masa de aire frío moviéndose de forma destructiva en línea recta, ligeramente divergente hacia delante, con el frente de la nube tormentosa curvándose a medida que las líneas de tormenta divergen. En su barrido hacia abajo y hacia delante golpea con excepcional violencia en considerables intervalos de tiempo y espacio”. Al igual que el tornado tienen un carácter marcadamente intermitente. Suelen llevar asociados relámpagos, granizo, tornados y chubascos fuertes.

A finales de los años 70 y principios de los 80 del siglo XX y como consecuencia de varios accidentes de aviación cerca del suelo, se investigaron en EEUU los descensos convectivos de fuerte intensidad que inducen vientos fuertes en superficie y se extienden hacia el exterior, denominados downburst (Fujita, 1978). En 1981, Fujita y Wakimoto elaboraron una clasificación, según una escala espacio-temporal:

- Microburst: diámetro < 4 km y rachas persistiendo de 2 a 5 minutos.
- Macroburst: diámetro de 4 a 40 km y rachas persistiendo de 5 a 20 minutos.
- Agrupaciones (clusters) de downburst: diámetro de 40 a 400 km.
- Familia de agrupaciones de downburst: diámetro > 400 km.

En 1983, R. H. Johns y W. D. Hirt identificaron la antigua definición de derecho de Hinrichs con la categoría superior de la anterior clasificación,

definiendo un derecho como vientos fuertes en superficie que se extienden hacia el exterior de una tormenta como resultado de una familia de agrupaciones de downburst producidos, a su vez, por un Sistema Convectivo de Mesoescala extratropical -SCM- (Madox, 1980).

Basándose en esta relación, ambos establecieron en 1987 los siguientes criterios para la identificación de los derechos:

1. Ha de haber un área con observaciones de vientos inducidos convectivamente y/o rachas convectivas  $\geq 26$  m/s (50 kt = 94 km/h). El área debe tener un eje mayor con una longitud de, al menos, 400 km.
2. Las observaciones deben de tener un patrón de ocurrencia no aleatorio. Por tanto, debe existir un patrón de progresión cronológica, como una senda individual (derecho progresivo) o como una serie de sendas (derecho serie).
3. Dentro del área debe haber, al menos, tres observaciones, separadas por 64 km o más, de daños F1 o superior en la escala Fujita (Fujita, 1971) y/o rachas convectivas de 33 m/s (65 kt = 119 km/h) o mayores.
4. No deben transcurrir más de 3 h entre episodios sucesivos de daños por viento.
5. El sistema asociado, indicado por los campos de presión y viento en superficie, debe tener una continuidad espacial y temporal. Sin embargo, el movimiento de los ecos radar del sistema no debe ser continuo.
6. Las múltiples sendas de daños por viento deben formar parte del mismo SCM.

En las últimas dos décadas, los derechos han sido ampliamente estudiados en EEUU, por Przybylinski & DeCaire (1985), Johns et al. (1990), Bosart et al. (1998), Evans & Doswell III (2001), Bentley & Mote (2003), etc. La experiencia operacional ha permitido identificar tres tipos básicos de derechos: en serie, progresivos e híbridos. El aspecto de los primeros, en las imágenes de radar, es el de una línea de turbonada extensa situada en el sector cálido de un potente sistema frontal. En cambio los progresivos, los más comunes en verano, se caracterizan por presentar una línea en arco de corta

longitud y están asociados a un forzamiento dinámico relativamente débil.

Los derechos progresivos tienen las siguientes características principales:

1. Suelen formarse corriente abajo de una vaguada débil en 500 hPa; en la zona de cambio de curvatura o cerca del eje de la dorsal de onda corta.
2. Están asociados con masas de aire muy inestables. En el área de inicio, la CAPE y el LI promedio son de 2400 J/kg y -9, respectivamente, aumentando viento abajo.
3. Casi siempre están asociados con una frontera térmica cuasi-estacionaria, de niveles bajos, orientada en forma paralela al flujo medio. Se desplazan a lo largo de la frontera, la cual presenta valores muy altos de THE en superficie. La advección cálida suele ser moderada a fuerte cerca del área de formación y débil viento abajo.
4. Presentan humedad muy alta desde superficie a 925 hPa, con los valores máximos del punto de rocío en superficie al sur de la frontera y cerca del área de inicio; suele haber una capa seca entre 700 y 500 hPa (niveles medios).
5. La velocidad del viento en niveles medios suele ser relativamente alta (promedio de 35-40 kt en 500 hPa). En niveles bajos, suele haber giro horario del viento (veering) en el área de formación y el viento suele ser unidireccional (suroeste) por encima.

En España, existen algunas publicaciones sobre líneas de turbonada, tornados o reventones, pero el término derecho no había sido usado anteriormente, aunque, probablemente, se hayan estudiado situaciones con vientos convectivos que han alcanzado los umbrales para ser considerados como derechos. En el resto de Europa, aunque existen algunos artículos sobre ecos en forma de arco en imágenes de radar (por ejemplo, Schmid et al., 2000) únicamente hay dos casos documentados como derecho (Gatzen, 2004 y Teittinen&Punka, 2004).

Este artículo intenta documentar la situación del día 17 de Agosto de 2003 y mejorar el conocimiento sobre casos de tiempo severo en España. Se espera que el análisis de este caso ayude a los predictores a identificarlos y permita adelantar la emisión de avisos. Estos son especialmente importantes en el caso de los derechos ya que, a causa de su rápido desplazamiento, con velocidades superiores a los 80 km/h, apenas transcurre tiempo entre la observación visual del sistema tormentoso por parte de los afectados y el registro de las rachas de viento fuerte. Asimismo, al producirse predominantemente en verano, suelen afectar a un mayor porcentaje de la

población, más propensa a realizar actividades al aire libre durante esta estación.

## 2 – Estudio diagnóstico.

El domingo 17 de agosto, de madrugada, se formaron tormentas fuertes en la provincia de Castellón con chubascos de intensidad torrencial, aunque de duración inferior a una hora, siendo los más destacados: Sot de Ferrer 62,2 mm, Borriol 65,8 mm, Coves de Vinromà 76,4 mm y Alcalá de Xivert 66,2 mm.

A partir de las 6:30 UTC, en el límite entre la Comunidad Valenciana y Cataluña, se forma un sistema convectivo en línea que se desplazó rápidamente hacia el nordeste, paralelo a la costa. Durante las siguientes catorce horas atravesó Cataluña, las regiones francesas del Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'azur y Haute Alpes y los cantones suizos de Ginebra, Vaud, Neuchâtel, Bern, Jura y Zurich. Se produjeron fuertes chubascos, tornados y rachas de viento muy fuertes que alcanzaron valores tan altos como 181 km/h.

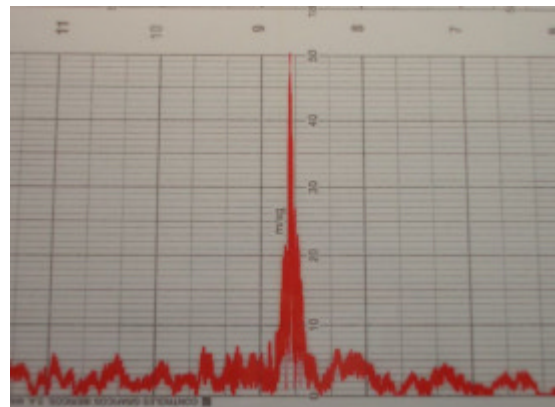


Fig. 1.- Gráfica del anemómetro de la estación de Manresa "La Culla" con una racha de 50,3 m/s (181 km/h).

Los destrozos abarcan numerosos informes de daños de nivel F0 (semáforos, farolas y rótulos dañados; árboles pequeños arrancados o ramas de árboles grandes rotas) en la escala de Fujita, nivel F1 (centenares de árboles arrancados; tejados de naves industriales y edificios de viviendas, parcialmente levantados) y algunos de nivel F2 (algunos árboles centenarios arrancados, torres eléctricas dobladas; edificios sólidos dañados, contenedores de hasta 5.000 kg desplazados, etc).

Los bomberos realizaron más de 500 salidas a causa de los daños por el viento y las inundaciones. Doscientos mil abonados se quedaron sin suministro eléctrico. Hubo de suspenderse durante horas, en algunas zonas, el transporte por ferrocarril (tráfico de cercanías de RENFE, línea del Baix Llobregat de los Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya y la

línea del corredor mediterráneo de RENFE) y por carretera (estuvieron cortadas las carreteras N-II, C-17, C-25 y la carretera de subida al monasterio de Montserrat).



Fig. 2.- Torre de alta tensión doblada por el viento en Malla (provincia de Barcelona).

En el mapa de la figura 3 se muestra la localización de las rachas máximas observadas, en superficie. Las observaciones están clasificadas en tres intervalos:

- Rachas de 22 a 25 m/s (80 a 93 km/h), donde 80 km/h es el umbral para los avisos de viento en el territorio de Cataluña por donde pasa el derecho.
- Rachas de 26 a 32 m/s (94 a 118 km/h) donde 94 km/h es el límite inferior de las rachas para los derechos (Johns and Hirt, 1987).
- Rachas que alcancen o superen los 33 m/s (119 km/h) o evidencias de destrozos de intensidad F1 (Fujita, 1971). Es el segundo umbral necesario para los derechos (Johns and Hirt, 1987) y límite inferior de los vientos huracanados.

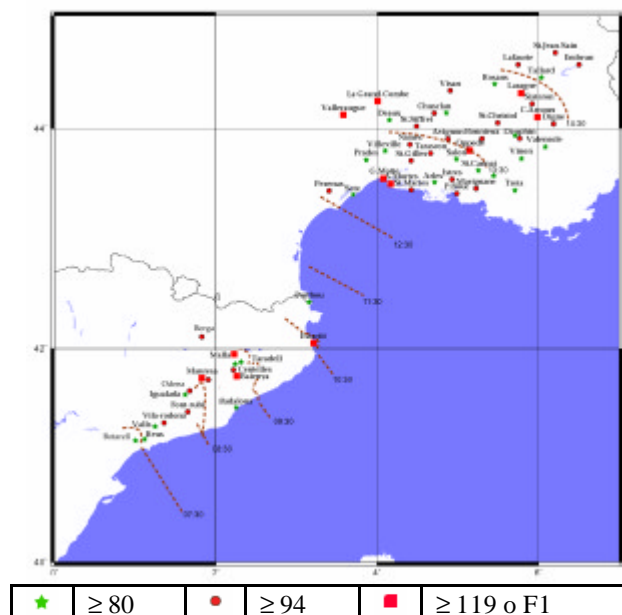


Fig. 3.- Rachas máximas registradas en España y Francia e isocronas del derecho del 17 de agosto.

Las rachas fueron registradas por diferentes redes:

- Red de Observación de Meteo France
- Red de Observación del Instituto Nacional de Meteorología
- Red de Observación del Servei Meteorològic de Catalunya

Combinando las observaciones de estas redes con las de Meteo Swiss, encontramos un área con 50 observaciones de rachas máximas que alcanzan o superan los 26 m/s (94 km/h) y con un patrón de ocurrencia cronológico. La senda de vientos convectivos fuertes tiene 900 km de largo y 50 a 150 km de ancho. Dentro de esta zona, hay 12 observaciones que alcancen o excedan los 33 m/s o presenten evidencias de destrozos de intensidad F2. Siete de estas observaciones están separadas por, al menos, 65 km y no transcurren más de tres horas entre episodios sucesivos de daños por viento. Luego, la tormenta de viento que estamos examinado satisface los criterios propuestos por Johns and Hirt (1987) para ser considerada un derecho.

En la figura 3 se han trazado las isocronas, obtenidas a partir de las imágenes de radar y de las horas de las observaciones, indicando la posición de la línea cada hora. Su velocidad media, en el conjunto del episodio, es de 75 km/h. Esta velocidad es ligeramente inferior a la velocidad promedio de los derechos progresivos en EEUU, 83 km/h (Johns and Hirt, 1987). La velocidad de propagación de la línea convectiva aumenta desde una velocidad media de 60 km/h, al principio, hasta 90 km/h en la última fase en territorio francés y suizo. Este aumento en la velocidad se corresponde con un aumento en la frecuencia e intensidad de las rachas observadas.

Este caso de estudio muestra las características de un derecho. La fase de derecho empezó cuatro horas después del inicio de la convección y 1.5 horas después de que el sistema adquiriese forma lineal. Tiene una duración 12 horas y la senda de vientos convectivos fuertes se extiende a lo largo de más de 900 km de longitud por 100 km de ancho, finalizando en Laegern (Zurich) a las 20:00 UTC.

En las primeras horas del día 17 de Agosto, en la alta troposfera, sobre la mitad oriental de la península Ibérica, el flujo era del suroeste y estaba dominado por un surco situado en la mitad occidental. El flujo era difluente sobre el cuadrante nororiental con una dorsal centrada sobre el Golfo de León. En las próximas horas la vaguada se desplaza hasta el centro de la península a la vez que se inclina negativamente. Un máximo de viento del suroeste, de 65 nudos en 250 hPa, se desplazaba

desde Murcia hacia el norte rotando en torno a la periferia del surco y dejando a su izquierda el litoral mediterráneo español. El cuadrante anterior izquierdo del máximo de viento (zona de salida) originó fuerte divergencia, en niveles altos, sobre el litoral de Castellón y el delta del Ebro induciendo un área de movimiento vertical que iniciará la convección profunda. La zona de cambio de curvatura entre la vaguada y la dorsal corresponde a una zona considerada favorable para el desarrollo de sistemas convectivos de mesoescala (SCM) (Riosalido, 1998).

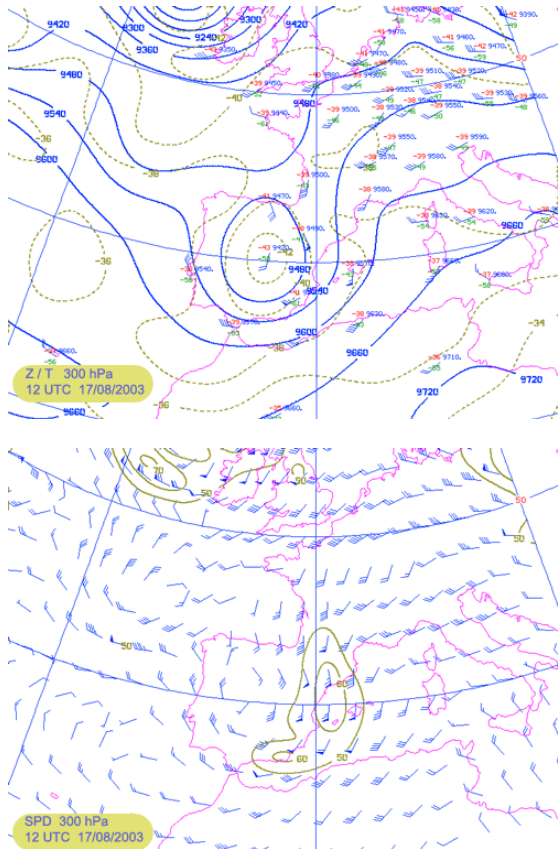


Fig. 4.- Análisis de geopotencial (Z) y temperatura (T) (arriba) y viento (SPD) en 300 hPa a las 12 UTC

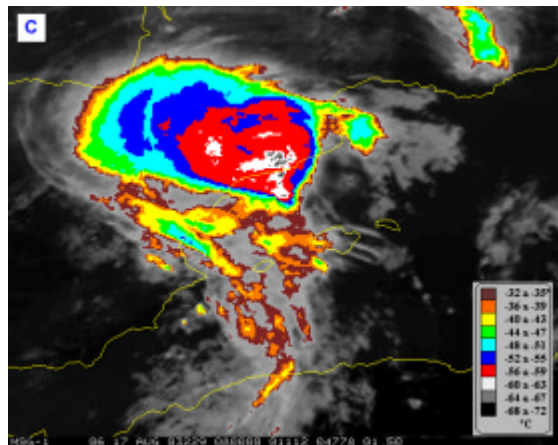


Fig. 5.- Satélite MSG-1, 17 de Agosto de 2003, canal de 10,7  $\mu\text{m}$  a las 8 UTC.

En 850 hPa podemos observar una marcada frontera térmica que se extiende paralela a la costa catalana en dirección nordeste-suroeste y que se desplaza muy lentamente hacia el este. La dirección de la frontera coincide con la del flujo en 500 hPa. Los vientos son de intensidad moderada (10 a 20 nudos) y convergentes sobre la frontera. Hay advección cálida entre las 12 y 24 UTC del día 16, débil (en Barcelona,  $1^\circ\text{C}/12\text{h}$ ).

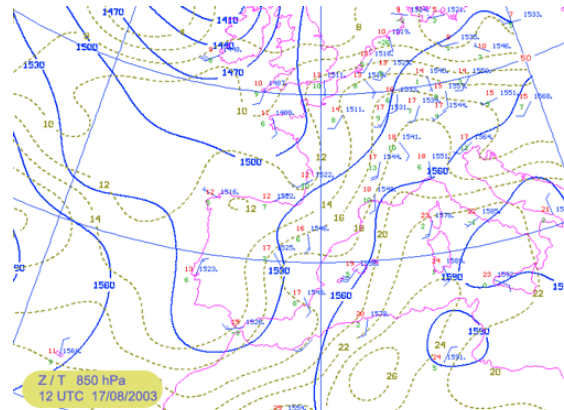


Fig. 6.- Análisis de geopotencial (Z) y temperatura en 850 hPa a las 12 UTC.

Los sondeos de Barcelona y Palma de Mallorca muestran unos valores de la CAPE de 3000 J/kg sobre la zona de inicio, una DCAPE entorno a los 800 J/kg y un índice lifted de -8.

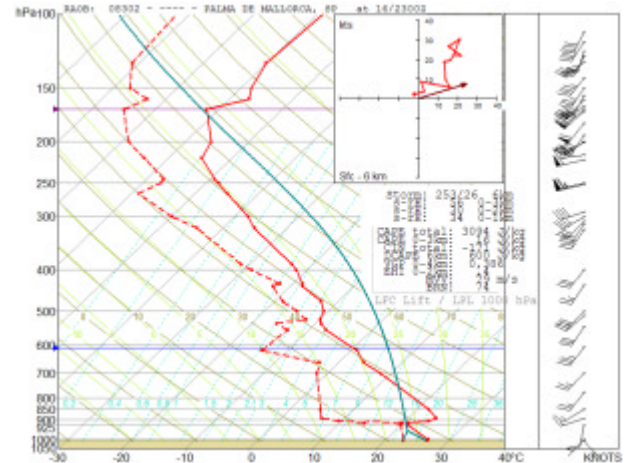


Fig. 7.- Radiosondeo de Palma de Mallorca a las 00 UTC del día 17 de agosto.

Las imágenes del radar de Cataluña (situado en Corbera, cerca de Barcelona, a 664 m de altitud) localizado en la trayectoria del sistema convectivo proporcionan una oportunidad única para examinar su estructura y evolución. Las imágenes muestran algunas características que a menudo se relacionan con vientos muy fuertes en superficie, como ecos en forma de arco (bow echoes), zonas posteriores de débil reflectividad (rear inflow notches), chorros dirigidos hacia la tormenta (rear inflow jets), convergencia radial en niveles medios (medium



altura radial convergente), fuertes gradientes de reflectividad, formación de células aisladas por delante de la línea convectiva y bandas de convección desde el extremo septentrional de la línea (warm advection wing).

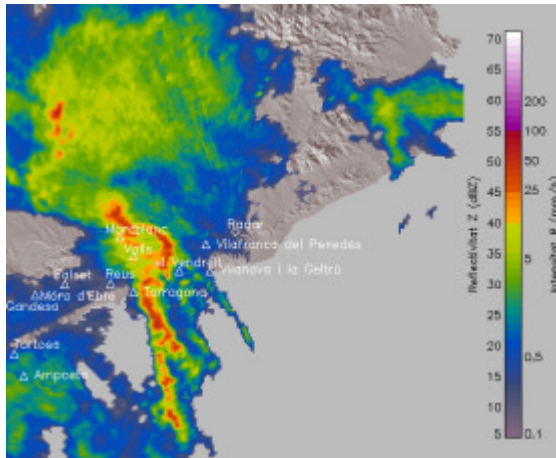


Fig. 8.- PPI del radar de Barcelona a las 7:40 UTC

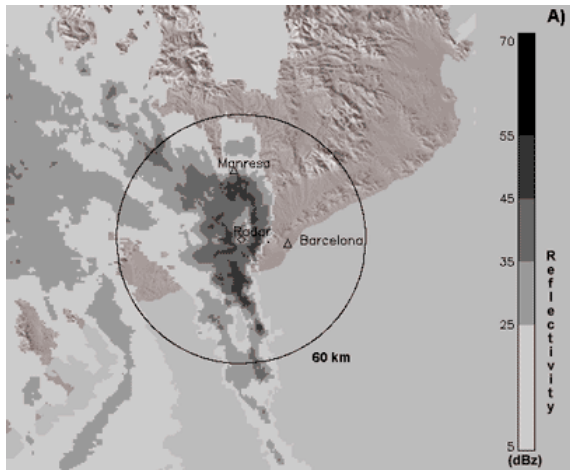


Fig. 9.- PPI del radar de Barcelona a las 8:30 UTC

Las diferentes observaciones de superficie, satélite, radar y descargas eléctricas nube-tierra muestran muchas similitudes con otros casos registrados en Estados Unidos. Este derecho es un caso de tipo híbrido, pero tiene muchas características de los derechos de verano y las condiciones sinópticas en las que se originó el fenómeno son las típicas para el desarrollo de estos derechos. Estas son:

- No hay una baja asociada bien definida en superficie.
- La frontera térmica de niveles bajos está orientada en forma paralela al flujo medio.
- La convección se mueve a lo largo de la frontera con un ancho muy restringido comparado con su longitud.
- Hay una masa de aire muy inestable con una CAPE de 3000 J/Kg. y un LI de -8 en el área de inicio. Además hay aire seco en 850 hPa.

El único factor que lo convierte en un caso híbrido es la existencia en el área de inicio de un surco de

niveles medio-altos bien definido con un máximo de viento asociado.

Según las características observables en las imágenes de radar podemos clasificar el derecho como de tipo progresivo. Su apariencia, en estas imágenes, se caracteriza por una línea de turbonada, relativamente corta, orientada casi perpendicularmente a la dirección del viento medio y por presentar un notable abultamiento o arqueado en la dirección del movimiento, en algunas fases de su evolución. En las proximidades del ápex de esa zona arqueada es donde se producen los downburst.

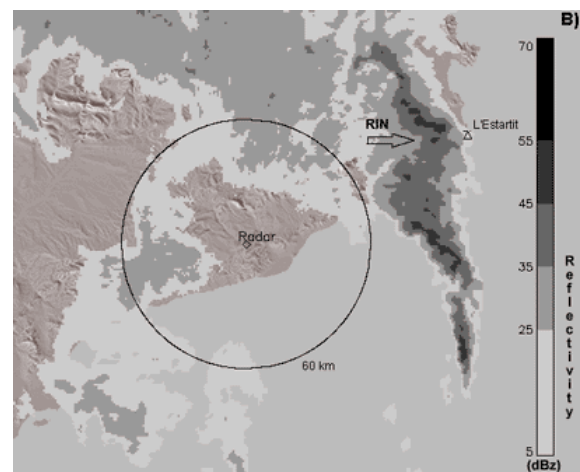


Fig. 10.- PPI del radar de Barcelona a las 10:10 UTC

## Bibliografía

- Gatzen, C., 2004: A derecho in Europe: Berlin, 10 July 2002. *Wea. Forecasting*, **19**: 639-645.
- Hinrichs, G., 1888: Tornadoes and derechos. *Amer. Meteor. J.*, **5**: 306-317, 341-349.
- Johns, R. H., and W.D. Hirt, 1983: The derecho: A severe weather producing convective system. Preprints, **13<sup>th</sup>** Conf. on Severe Local Storms, Tulsa, OK. Amer. Meteor. Soc., 178-181.
- Johns, R. H., and W. D. Hirt, 1987: Derechos: widespread convectively induced windstorms. *Wea. Forecasting*, **2**, 32-49.
- Maddox, R.A., 1980: Mesoscale convective complexes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **61**: 1347-87.
- Punkka, A.-J., Teittinen, J., 2004: The severe thunderstorm radar signatures of 5 July 2002. Preprints, **22<sup>nd</sup>** Conf. Severe Local Storms, Hyannis, MA. Amer. Meteor. Soc.
- Schmid, W., Hans-Heinrich Schiesser, Markus Furger and Mario Jenni, 2000: The origin of severe

winds in a tornadic bow-echo storm over northern Switzerland. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 192-207.

Teittinen, J., A-J Punkka, 2004: Severe thunderstorm radar signatures of 5 July 2002 derecho in Finland. Preprints, **22<sup>nd</sup>** Conf. Severe Local Storms, Hyannis, MA. Amer. Meteor. Soc.