

Tornados en la ciudad de Buenos Aires y alrededores

MARÍA LUISA ALTINGER

Villa General Belgrano

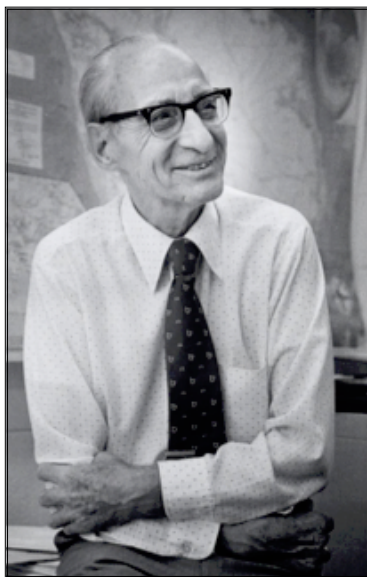
Este trabajo está dedicado al Prof. Dr. Werner Schwerdtfeger,

Su curso de laboratorio me proporcionó una sólida formación en una de las ramas de las meteorología que me permitió incursionar en la formación de las tormentas (Lichtenstein/Schwarzkopf 1965, 1969 y 1970) (Altinger de Schwarzkopf/ Migliardo 1973 y 1975). Así surgió mi interés en investigar el aspecto mas severo de las tormentas en Argentina y por esa razón me dediqué al estudio de los tornados.

El Prof. Dr. Werner Schwerdtfeger nació en Alemania el 12 de julio 1909 en Colonia. En 1931 presentó su tesis de doctorado *Análisis de los pulsos de las masas de aire polar*.

Continuó con las mediciones en globos aerostático y, ya en tiempo de guerra, tuvo a cargo la realización de sondeos aerológicos con globos y las incursiones meteorológicas en avión sobre el mar del Norte. Mas tarde se desempeñó como Jefe del Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea Alemana.

Después de la guerra, en 1947, fue profesor en la Universidad de Munich. En 1948 llegó a la Argentina y se desempeñó hasta 1956 como asesor del Servicio Meteorológico Nacional. Hasta 1961 fue asesor de la Armada Argentina y fue profesor de la Carrera de Ciencias Meteorológicas de la Univ. de Buenos Aires. En 1958 deja la Argentina y viaja a Melbourne en Australia, más tarde a Los Angeles en Estados Unidos y finalmente, en 1962, llega a Madison, Wisconsin donde, en la Universidad, se dedica a la investigación en varios temas de meteorología polar. En Madison fallece a los 76 años el 18 de enero de 1985.



Dr. Werner Schwerdtfeger. En 1957 fue mi profesor de Laboratorio Sinóptico I en la Facultad de Cs. Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires.

Fue Miembro de la Comisión Internacional en Meteorología Polar Socio Honorario de la American Meteorological Society (1979) y desde 1983 llevan su nombre, en Madison, una biblioteca y una distinción académica.

Introducción

Desarrollé, desde 1971 hasta 2001, el proyecto “Estudio de los tornados en la República Argentina” en la Universidad de Buenos Aires y en el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas como Investigadora Independiente, con el fin de evaluar la importancia de estos fenómenos en las distintas zonas del país (Altinger de Schwarzkopf 1988). En la actualidad continúo la investigación como profesional independiente (Schwarzkopf / Rosso 2019)

Los resultados de la investigación se aplican al diseño de las obras de ingeniería que deben cumplir con requisitos de seguridad altamente exigentes como son las centrales nucleares

Se realizaron estudios especiales para las centrales nucleares de Atucha II y de Embalse (Schwarzkopf/Rosso 1980 y 1999) y, con el fin de minimizar los riesgos de una imprevista interrupción, también para los sistemas de transporte de energía eléctrica de 500kV de Yacyretá (Schwarzkopf/Rosso 1987) y de Alicurá (Schwarzkopf/Rosso 1996). Otros estudios se refieren a la evaluación del riesgo urbano de tormentas severas y tornados (Pita/Schwarzkopf 2016).

Para su análisis se estudian continuamente los fenómenos severos que atraviesan las líneas de alta tensión.

Definiciones:

Nube de tormenta (Cumulonimbus): es una celda nubosa de desarrollo vertical que produce descargas eléctricas. Los rayos y los truenos son elementos que la caracterizan.

Tormenta severa o supercelda: es una nube de tormenta que habiendo alcanzado su pleno desarrollo, presenta entre los niveles de 5000 y 9000 metros un torbellino interno cuyo diámetro es del orden de 10 Km. En una etapa posterior la tormenta severa puede generar otro centro de giro similar en las capas de aire próximas al suelo. Ocasionalmente completa su desarrollo generando tornados.

Este tipo de tormentas sobresale entre las celdas que las rodean por las notables dimensiones horizontales y verticales que presentan.

Tornado: es un torbellino visible, con forma de embudo, que emerge de la base de una tormenta severa y se propaga hacia abajo hasta tocar el suelo donde ocasiona daños intensos. El diámetro es, generalmente, inferior a 1000 metros. En la Tabla que se muestra en el Anexo se presenta la escala Fujita 1971, que permite inferir, mediante el análisis de los daños, la intensidad de las ráfagas que genera.

Base de datos

Los datos recopilados ingresan al registro de tornados y tormentas severas; único en el país. Constituye el banco básico de datos para investigaciones

actuales y futuras. El trabajo previo de campo muy meticuloso, empleando procedimientos reconocidos (Fujita 1978; Letzmann 1928; Wegener 1928) y el análisis de crónicas seriamente realizado, teniendo en cuenta los indicios de Evesson (Evesson 1969), es fundamental para obtener resultados válidos. La base de datos contiene más de 5000 registros de fenómenos severos entre ellos, 848 casos de tornados ocurridos en Argentina, registrados desde 1930 hasta 2020.

A modo de ejemplo, la Figura 1 muestra la distribución de los casos registrados en la Provincia de Buenos Aires (Altinger 1983) que representa, además, la severidad del medio ambiente en el que está situada la ciudad de Buenos Aires. Se denominó posible tornado el caso en que no se logró reunir los rasgos característicos que lo distinguen de los casos de daños producidos por frentes de ráfagas o corrientes descendentes. La frecuencia en la Provincia de Buenos Aires es tal, que al menos un pueblo por año es alcanzado por un tornado.

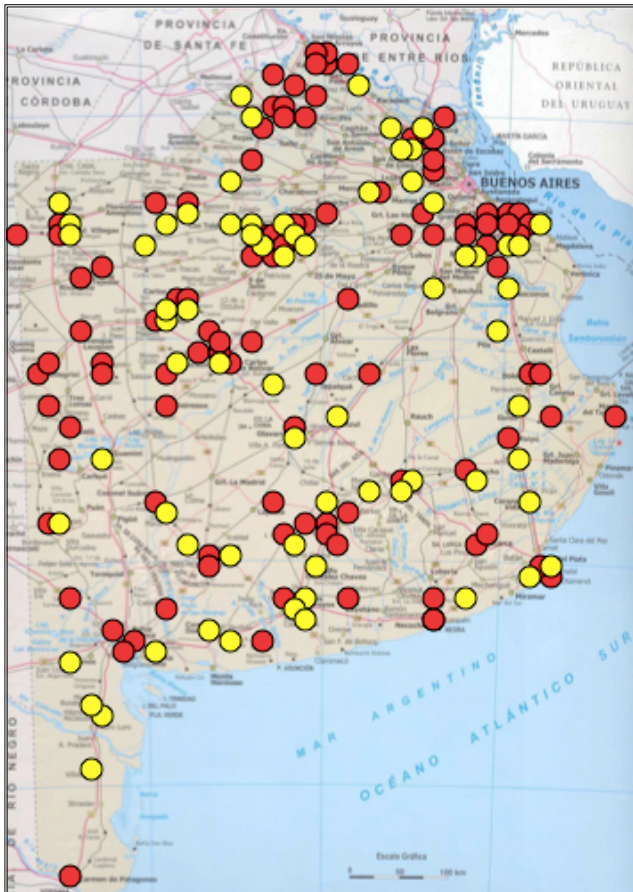


Figura 1: Casos de tornados (rojos) y posibles tornados (amarillos) registrados en la Provincia de Buenos Aires

Tornados en la ciudad de Buenos Aires y alrededores

Zona de estudio

Se fijó como zona de estudio la delimitada por los paralelos 34°25'S y 34°45'S y por los meridianos 58°00'W y 59°00'W (Figura 2),

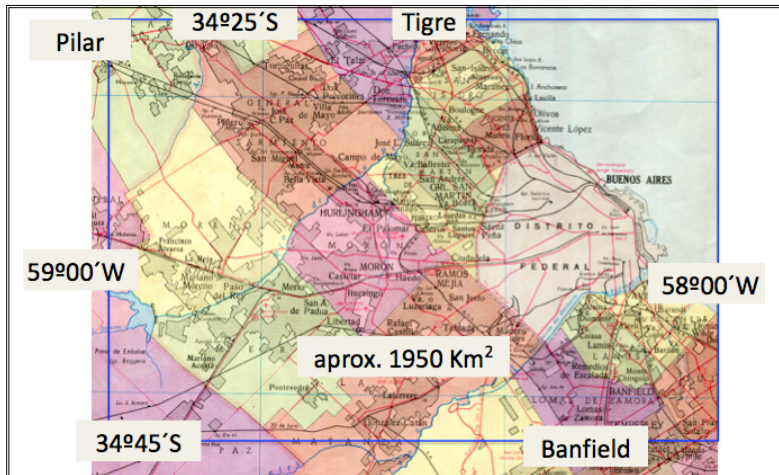


Figura 2: Zona de estudio en la que se registraron los casos de tornados que afectaron la ciudad de Buenos Aires.

Listado de tornados registrados

Los tornados registrados desde 1930 sobre Buenos Aires y alrededores se muestran en la Tabla 1.

Fecha	Localidad	Intensidad F
14/01/1928	Pilar	2
30/03/1937	San Fernando	1
20/07/1947	Villa Madero	1
07/02/1978	Bernal	1
06/12/1981	Rio de la Plata	X
26/12/1982	Escobar	0
29/10/1984	Aeroparque	1
17/01/1990	San Fernando	1
03/11/1990	San Miguel	1
03/01/1996	Barrio Flores	1
10/02/1997	Lanus Este	1
04/03/1998	Barrio Saavedra	1

Fecha	Localidad	Intensidad F
04/03/1998	San Martín	1
20/02/1999	El Palomar	1
Tornados registrados desde el año 2000		
08/01/2001	Pilar	1
10/03/2002	Cañuelas	1
30/01/2004	Delta Chana y Parana Mini	1
13/04/2006	Olivos	1
02/03/2008	Río de La Plata	X
25/07/2011	Del Viso	1
25/07/2011	San Miguel	1
04/04/2012	Ciudad Evita	2
04/04/2012	Ituzaingo	2
04/04/2012	Represa Rogero	2
10/12/2012	Los Cardales	1
29/04/2018	Mariano Acosta	1
10/05/2018	Villa La Ñata	0

Tabla 1. Tornados registrados entre 1930 y 1999.
 En negrita se indicaron los que afectaron la ciudad de Buenos Aires

La Figura 3 muestra que la ciudad de Buenos Aires fue atravesada, por el norte, por el centro y por el sur del predio urbano, por tornados que se originaron a varios kilómetros de distancia.

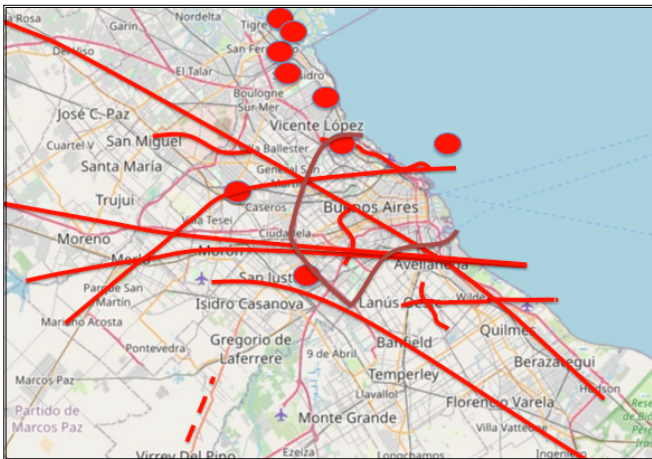


Figura 3: Ubicación y trazas de los tornados registrados en la zona de estudio entre 1930 y 2020.

Casos más importantes

Tornado de Villa Madero y Villa Insuperable del 5 de febrero de 1947

Este tornado ocurrió a las 1:30, muy próximo a la ciudad de Buenos Aires. Avanzó sobre la zona ubicada al oeste de la Av. Gral Paz entre el comienzo de la Ruta 3 y la Av. Ricchieri sobre la Provincia. Produjo severos daños sucesivamente en Lomas del Mirador, en Villa Insuperable, en Villa Celina y en Villa Recondo cerca del Riachuelo.

Un resumen de los daños que describe la crónica de La Nación del 7 de febrero de 1947 se detalla a continuación:

- Club Alumni Km28 de la Ruta Nac. N° 3 en Villa Scasso: paredes derribadas.
- Fábrica de Productos Químicos del Sr. F. Corradini: tres galpones desechos, rotura total de la instalación de agua y desperfectos en las maquinarias.
- Fábrica en construcción donde el sereno se salvó de morir aplastado por escombros.
- Un caballo fue arrastrado y golpeado contra un alambrado, perteneciente a Arnaldo Sosa, que trabajaba en los corrales de Mataderos.
- Fábrica de porcelana de los señores Vituzzi y Palmeri destruida. El portón fue arrancado y volado a 50 metros de distancia.
- Las columnas de la galería de una vivienda fue lo único que encontraron.
- La casa del verdulero Pascual Marín totalmente destruida
- La casa del Sr. Bracalante quedó totalmente destechada.
- En el aserradero de José Vasallo una máquina de 3000 Kg fue arrancada de su base.
- A ambos lados del camino hacia Villa Insuperable se calcularon en un centenar las casas destruidas.
- Un galpón, depósito de papel usado, del Señor Carlos Ibáñez, y una casa vecina, destrozados (hubo dos heridos).
- En Villa Recondo, cerca del Riachuelo, en una casa derrumbada, murieron una señora y su hijo y en otra murieron la madre y sus cinco hijos.
- Esa noche se atendieron en el Hospital Salaberry más de 20 heridos.
- Por el pasaje de la tormenta cayó un guinche sobre un buque finlandés en la Dársena C del Puerto de Buenos Aires. En la Exposición de la Industria, en el Predio de Palermo, cayó un rayo que produjo deterioros y roturas y en Puente Alsina el viento ocasionó severos daños.

Tornado en Aeroparque Jorge Newbery del 29 octubre de 1984

Se detectó una franja principal de daños extendida desde la localidad de Munro hasta el Aeroparque Jorge Newbery de la ciudad de Buenos Aires, cruzando la localidad de Florida y los barrios de Saavedra y Nuñez. Hubo decenas de árboles caídos entre la Av. Figueroa Alcorta y la Costanera, rotura de cristales y mamparas en la Aeroestación y daños en algunas aeronaves.

Además de la franja principal se identificaron dos trazas de tornados. Uno de los tornados afectó las instalaciones de Obras Sanitarias de la Nación, parte de las instalaciones del Club Gimnasia y Esgrima y en su trayectoria hacia el Río de La Plata impactó sobre los edificios de la Aeroestación Militar. Un segundo tornado, con un diámetro inferior a 50 metros, dañó las instalaciones de los clubes de equitación situados entre la calle Intendente Guerrico y Avenida Dorrego.

Tornado en el Barrio Flores 3 de enero de 1996

El tornado realizó una trayectoria que se extendió desde la Av. Warnes entre Julián Álvarez y la Av. Juan B. Justo, cruzando en dirección al Sudoeste las avenidas Honorio Pueyrredón, San Martín y Gaona. Afectó sucesivamente las plazas Irlanda, de la Ascensión y Flores. Se disipó en las inmediaciones de la intersección de las avenidas Mariano Acosta y Francisco Bilbao. En los edificios estallaron los vidrios de las ventanas, ocasionando inundaciones por la entrada de la lluvia intensa. Volaron objetos de los balcones, se desprendieron ventanas y toldos. Sobre las veredas produjo daños en quioscos y puestos de diarios, arremolinando objetos que volaron a mas de una cuadra de distancia. Cayeron árboles sobre vehículos estacionados. Las ramas y desperdicios obstruyeron las bocas de tormenta, dando lugar a inundaciones de las calles con entrada de agua en las viviendas y negocios. El ancho de la franja con daños fue de 400m.

Tornados del 25 de julio de 2011

Este caso y el siguiente tienen la particularidad de ser tornados simultáneos que presentaron además trayectorias de mas de 50Km de longitud. Tornados simultáneos son comunes en Estados Unidos de Norte América (Fujita 1974) y ocurren también en Argentina como el caso extraordinario del 13 de abril de 1993 (Schwarzkopf 1993) sobre la Provincia de Buenos Aires.

En el caso del 25 de julio de 2011 se identificaron tres franjas principales de daños intensos producidas por tornados simultáneos (Figura 4).

- Una franja que se extiende de Oeste a Este con un ancho de unos 400 metros correspondiente a un tornado que se generó al oeste de la Ruta 193, al norte de la localidad Solís y se desplazó hacia el sudeste en dirección a Ing. Maschwitz
- Una segunda franja de unos 200 a 400m de ancho casi paralela a la anterior, correspondiente a la acción de un tornado que se desplazó desde la zona rural situada al norte de Parada Robles afectando sucesivamente los Partidos de Pilar, José C. Paz, Malvinas Argentinas, San Miguel, Gral. San Martín, los barrios de Devoto, Santa Rita,

Flores, Barracas en la ciudad de Buenos Aires, Avellaneda, Quilmes y Berazategui.

- En Capital Federal, en Av. Gral Paz y Francisco Beiró, colapsó el techo de una empresa de venta de vehículos. En la calle San Nicolás, entre Camarones y Magariños Cervantes, cayó un árbol de gran porte, en Zañartú se desplomó un portón, en Eva Perón al 2200 se desprendió un cartel y en Eva Perón al 2400 colapsó el techo de una estación de servicio. En Flores, al lado de la Autopista 25 de Mayo, cayó un cartel.
- Una tercera franja de daños, generada por un tornado, tuvo su epicentro en la zona de Morón desde donde se extendió hacia el partido de Lanús, donde los daños fueron tan concentrados e intensos como en Morón. En Lanús testigos observaron como las chapas volaban succionadas hacia las alturas por un gran remolino.

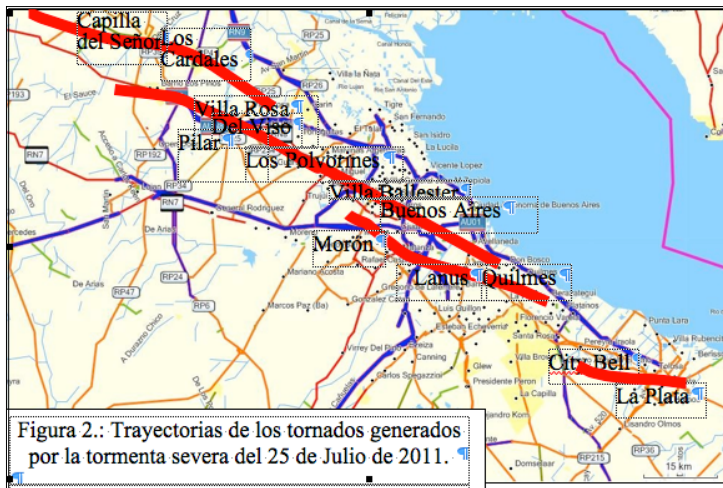


Figura 4: Trayectorias de los tornados del 25 de julio de 2011

La intensidad de los daños sobre las franjas de los tres tornados correspondió a la intensidad F1 de la escala Fujita; la velocidad máxima del viento se estimó entre 140 y 150 Km/h.

Los daños generales registrados fueron:

- Viviendas destechadas; galpones colapsados y cercos perimetrales dañados.
- Gran cantidad de árboles caídos o con ramas principales quebradas. Carteles de grandes dimensiones quebrados.
- El colapso de una gran cantidad de postes del tendido telefónico y del sistema eléctrico rural y urbano.

Tornados del 4 de abril 2012

Los daños generales se hallaron sobre una zona de unos 40 Km de ancho que se extiende a lo largo de 65 Km desde el Partido de Luján hacia la costa del Río de La Plata. Los daños mas intensos ocurrieron sobre cuatro franjas casi paralelas orientadas de oeste a este, como lo muestra la Figura 5.

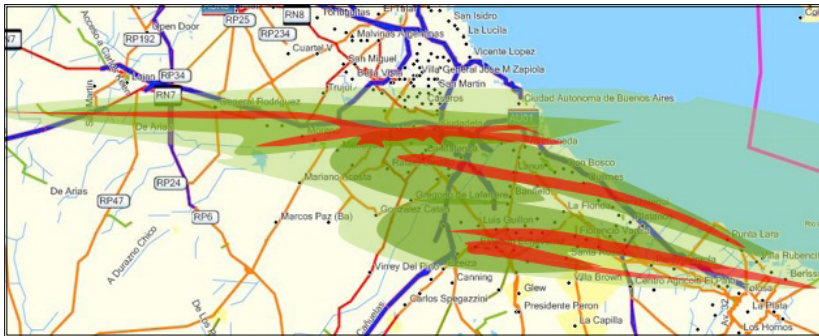


Figura 5: Zona afectada por tornados simultáneos ocurridos el 4 de abril de 2012. Se indicaron las trayectorias de los tornados donde la velocidad del viento superó los 180 Km/h.

- a. Una franja con un ancho variable entre 1000 y 3000 metros, que corresponde a la trayectoria de dos tornados que se generaron uno, al suroeste de la ciudad de Luján, unos 7 Km de la Ruta N° 5 y otro tornado en las inmediaciones de la represa Ing. Roggero sobre el Río de La Reconquista (Figura 6). Este último atrapó, sobre el Partido de Morón, en su circulación ciclónica al primero y ambos ingresaron, de ese modo, sobre el predio de la ciudad de Buenos Aires. Fujita (1976) propuso la presencia de tres escalas de movimiento que explican estos casos: un *mesociclón tornádico* dentro de cuya circulación ciclónica se desplaza el *tornado* y embebidos en este último los *vórtices de succión*.
- b. Una segunda franja de daños que corresponde a la trayectoria de un tornado, se extiende, con un ancho aproximado de 500 a 1500m, desde Ciudad Evita hasta Punta Lara a lo largo de mas de 50 Km.
- c. La tercera franja, de unos 10 Km de ancho, se originó sobre la zona sur del partido de La Matanza y es la que presenta daños menos intensos. Dentro de la esta franja que se extiende hasta el Partido de Berisso, se observaron dos franjas separadas por una zona de daños de menor intensidad.
 - Una primera franja de daños mas intensos se originó al oeste de González Catán; continuó con daños evidentes sobre los bosques de Ezeiza, abarcó mas adelante la ciudad de Florencio Varela con daños dispersos y prosiguió hacia Ensenada, cru-

zando la extensión de la Diagonal 74 a la altura del Aeródromo La Plata.

- La segunda franja se extendió con daños evidentes sobre la Ruta Prov. 53 en la intersección con Int. José Cariboni y calle 1428. Desde la Est. Ing. Allan, continuó hacia la calle 437, entre 132 y 140 aproximadamente, del Barrio El Rincón en Villa Elisa. Mas adelante disminuyó la intensidad de los daños haciendo dificultoso su seguimiento.

La Figura 6 muestra en detalle la trayectoria de los dos tornados que afectaron la ciudad de Buenos desde la Av. Gral. Paz hacia Dock Sud en Avellaneda. Ocurrieron severos daños en Mataderos, Parque Avellaneda, Flores, Villa Soldati, Nueva Pompeya, Parque Patricios y Barracas.

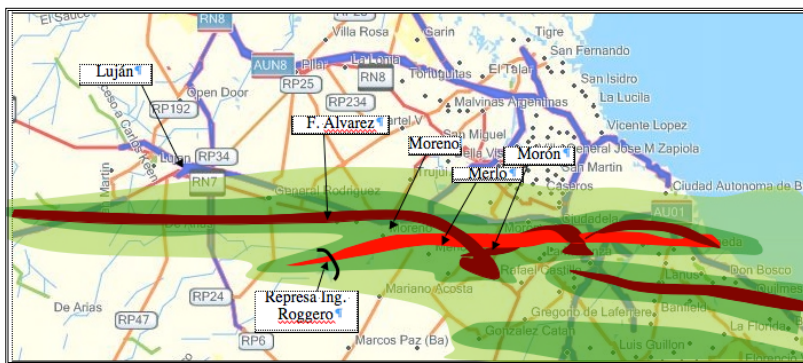
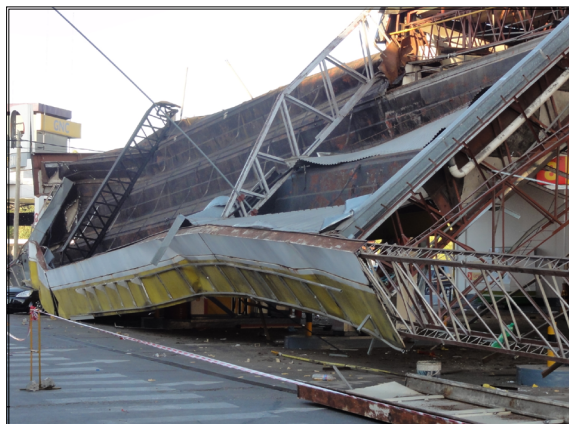


Figura 6. Trayectoria de los dos tornados que afectaron el 4 de abril de 2012 la ciudad de Buenos Aires. Se indicaron la zona general de daños y las trayectorias de los tornados.

Las fotografías siguientes indican la severidad de los daños ocurridos.



Estación de servicio en Mataderos en las proximidades de la Av. Gral. Paz.



Miniestadio de San Lorenzo en la Av. Perito Moreno



Don Pedro de Mendoza al 300, sobre el Riachuelo

Tornado del 29 de abril de 2018. Desde Mariano Acosta hasta el Aeroparque Jorge Newbery

Los daños mas intensos ocurrieron sobre una franja con un ancho medio de 1000 metros que corresponde a la trayectoria de un tornado que se generó en la zona rural al Oeste de la localidad de Mariano Acosta y se dirigió hacia el Estenordeste hacia la costa del Rio de la Plata a la altura de la cabecera norte del Aeroparque Jorge Newbery. Generó ráfagas cuyas velocidades máximas se estimó entre 140 y 150 Km/h.

La franja de daños estuvo conformada por una sucesión de seis elementos curvos como lo muestra la Figura 7.



Figura 7: 29 de abril de 2018. En gris claro/naranja se indicó la zona con daños producidos principalmente por lluvias intensas. En gris oscuro/azul se indicó la franja afectada por el tornado y, en blanco, los seis sucesivos loops donde el viento superó los 140Km/h.

Estos elementos curvos son el resultado, como se mencionó arriba, del giro del tornado alrededor del mesociclón tornádico y se detectan haciendo una meticulosa tarea de campo. Su largo y curvatura es función de la velocidad de desplazamiento. Si el desplazamiento del sistema es lo suficientemente lento el rastro de los daños se halla conformado por giros completos. (Schwarzkopf / Rosso 1978).

Los dos últimos elementos curvos de la trayectoria del tornado afectaron a la ciudad de Buenos Aires como se detalla en la Figura 8.

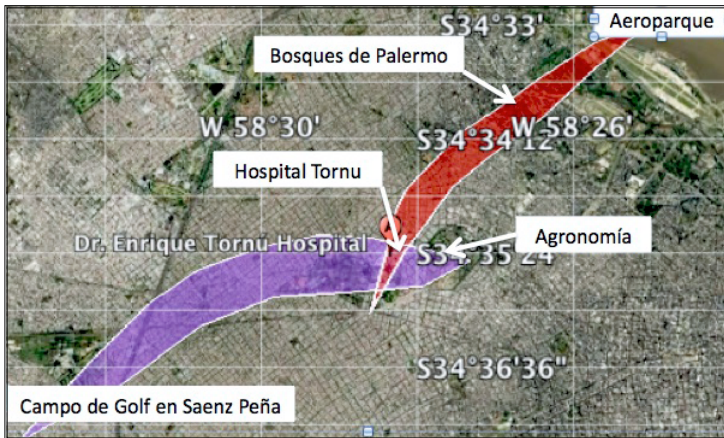


Figura 8: Trayectoria, sobre el predio urbano de la ciudad de Buenos Aires del tornado ocurrido el 29 de abril de 2018.

Las fotografías siguientes indican la severidad de los daños ocurridos



Colegio Militar de la Nación en Palomar



Daños en el predio de la Facultad de Veterinaria (Gentileza de la Lic.Irene Barnatán).
Los rastros de su pasaje por el Barrio de Belgrano se observó en los
topes seccionados de las tipas de la Av. Olleros

Aspectos climatológicos

Números registrados por décadas (1930-2019)

La cantidad por décadas de casos de tormentas severas y tornados, extraídos de la base de datos, en la zona de estudio, ha aumentado en forma lineal desde 1930 hasta 2019. Refleja, en cierto modo, los cambios de la tecnología en los medios de comunicación, desde el simple diario y la aparición de la televisión hacia el uso de las redes sociales en Internet. Este aumento no puede, por ahora, ser atribuido al cambio global del clima.

Distribución mensual de fenómenos severos entre 1930 y 2019

La frecuencia mensual de los tornados, con un mínimo desde mayo hasta septiembre es una respuesta al cambio del balance entre la energía calórica por insolación durante el día y la radiación de la tierra que sale al espacio durante la noche; el balance es negativo a fines de marzo y principios de abril y se torna abruptamente positivo hacia fines de septiembre.

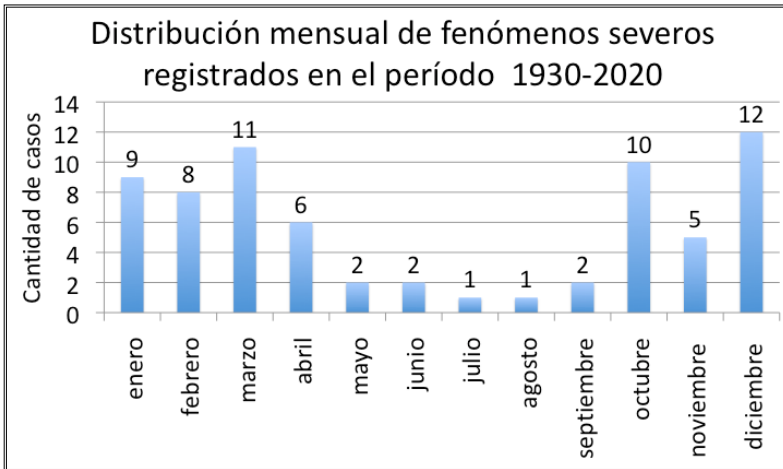


Figura 9. Cantidad de casos de tormentas severas y tornados registrados por mes, en la zona de estudio en el período 1930 - 2020.

Condiciones meteorológicas y parámetros termodinámicos asociados

En todos los casos de fenómenos severos (tormentas severas o tornados), ocurridos en el país y estudiados a partir del año 2000 se realizó el estudio de las condiciones meteorológicas y parámetros termodinámicos asociados. La evaluación estadística para obtener los valores normales, se presenta en Schwarzkopf/Rosso 2019. En las tablas siguientes se muestran los valores de los tres casos de tornados presentados en este trabajo y su comparación con valores normales.

Vorticidad en la troposfera media:

Fecha del tornado	Vorticidad ciclónica en 500hPa
25 de julio de 2011	$-12 \cdot 10^{-5} \text{ seg}^{-1}$ Vorticidad moderada
4 de abril de 2012	$-9 \cdot 10^{-5} \text{ seg}^{-1}$ Vorticidad moderada
29 de abril de 2018	$-1 \cdot 10^{-5} \text{ seg}^{-1}$ (débil vaguada de onda corta)

Los valores de vorticidad ciclónica en casos de fenómenos severos se hallan entre -10 y $-15 \cdot 10^{-5} \text{ seg}^{-1}$.

Velocidad del flujo en la troposfera alta:

Fecha del tornado	Velocidad máxima en 250 hPa
25 de julio de 2011	216 Km/h Corriente en chorro moderada
4 de abril de 2012	< 60 Km/h Corriente en chorro débil
29 de abril de 2018	< 60Km/h Corriente en chorro débil

Las velocidades máximas de la corriente en chorro en 250hPa en mas del 50% de los casos de fenómenos severos estudiados se hallaron entre 215 y 324 Km/h.

Energía Potencial Disponible (CAPE):

Fecha del tornado	Energía Potencial Disponible (CAPE)
25 de julio de 2011	entre 500 y 800 J/Kg
4 de abril de 2012	800J/kg
29 de abril de 2018	1000J/kg

Los valores de la Energía Potencial Disponible (CAPE) en casos de fenómenos severos se hallan normalmente por encima de 600Joule/Kg.

Índice de Showalter:

Fecha del tornado	Índice de Showalter
25 de julio de 2011	-4° C (atmósfera moderadamente inestable)
4 de abril de 2012	-6° C (atmósfera altamente inestable)
29 de abril de 2018	-4° C (atmósfera moderadamente inestable)

En el 80% de los casos estudiados, el Índice de Showalter presentó valores negativos inferiores a -2 .

Aumento de la humedad en el nivel de 850hPa en las 12 horas anteriores:

Fecha del tornado	Aumento de la humedad
25 de julio de 2011	20 a 30 gr de vapor de agua / Kg de aire
4 de abril de 2012	10 gr de vapor de agua / Kg de aire
29 de abril de 2018	20 a 30 gr de vapor de agua / Kg de aire

Los valores mas frecuentes se hallaron entre 15 y 45 gr de vapor de agua/ Kg de aire.

Temperatura potencial equivalente:

Un valor superior a 330° K de Temperatura Potencial Equivalente evidencia un alto contenido de humedad preexistente en las capas inferiores de la atmósfera.

Fecha del tornado	Temperatura Potencial Equivalente
25 de julio de 2011	> 335° K (alto contenido de humedad)
4 de abril de 2012	330° K (alto contenido de humedad)
29 de abril de 2018	330° K (alto contenido de humedad)

En el 92% de los casos estudiados Temperatura Potencial Equivalente fue superior a 325°K.

Inestabilidad Potencial:

La inestabilidad potencial, calculada sobre la capa 500-850hPa, es un parámetro que representa la diferencia entre el contenido de humedad entre el nivel alto y el nivel bajo. Valores negativos indican que habiendo un mayor contenido de humedad en las capas bajas (1500m) cualquier ascenso potencial de la capa de aire tendería a desestabilizarla y las corrientes verticales de ascenso adquirirían valores marcadamente superiores a 5 m/s.

Fecha del tornado	Inestabilidad Potencial
25 de julio de 2011	-15 gr de vapor de agua/Kg. de aire
4 de abril de 2012	-14 gr de vapor de agua/Kg. de aire
29 de abril de 2018	-10 gr de vapor de agua/Kg. de aire

En el 70% de los fenómenos severos estudiados la inestabilidad potencial se halló en el rango de -5 a -15.

Vorticidad absoluta:

Fecha del tornado	Vorticidad absoluta
25 de julio de 2011	= 0 Estabilidad indiferente.
4 de abril de 2012	= 0 Estabilidad indiferente
29 de abril de 2018	= 0 Estabilidad indiferente

En el 62% de los fenómenos severos estudiados la vorticidad absoluta presentó valores muy próximos a cero indicando una inestabilidad inercial indiferente.

Conclusiones

El estudio de los tornados en Argentina, comenzado en 1971, cumplió en enero de 2021 50 años de actividad continua y sistemática. La base de datos, única del país, contiene 848 casos de tornados ocurridos en Argentina, registrados desde 1930 hasta 2020 y constituye el banco básico de datos para investigaciones actuales y futuras.

La severidad del medio ambiente en el que está situada la ciudad de Buenos Aires, queda reflejada en la frecuencia de tornados en la Provincia de Buenos Aires donde al menos un pueblo por año es dañado por un tornado.

En la zona denominada “ciudad de Buenos Aires y alrededores”, elegida para este estudio y cuya extensión es de 1950Km², se registraron 27 tornados; 7 de estos fenómenos afectaron el predio urbano de la ciudad.

Los tornados del 25 de julio 2011 y del 4 de abril de 2012 se destacan por la longitud de sus trayectorias, superior a 50 Km en ambos casos, por la existencia de varios tornados simultáneos y por la intensidad de los daños provocados por la velocidad del viento.

Los tornados del 4 de abril de 2012 generaron ráfagas que superaron los 180 Km/h sobre un ancho de 15 a 20 cuadras desde la Av. Gral. Paz, a lo largo de la calle Perito Moreno, hasta la Vuelta de Rocha y Vuelta de Badaraco en el barrio de La Boca y hacia Dock Sud en Avellaneda. Ocurrieron severos daños en Mataderos. Parque Avellaneda, Flores, Villa Soldati, Nueva Pompeya, Parque Patricios y Barracas.

La cantidad de casos registrados por décadas en la zona de estudio. presenta un aumento lineal desde 1930 hasta 2019. Refleja los cambios de la tecnología en los medios de comunicación, desde el simple diario y la aparición de la televisión hacia el uso de las redes sociales en Internet. Este aumento no puede, por ahora, ser atribuido al cambio global del clima.

La frecuencia mensual de los tornados, con un mínimo desde mayo hasta septiembre es una respuesta al cambio del balance entre la energía calórica por insolación durante el día y la radiación de la tierra que sale al espacio durante la noche; el balance es negativo a fines de marzo y principios de abril y se torna abruptamente positivo hacia fines de septiembre.

Las condiciones meteorológicas y los parámetros termodinámicos asociados a la formación de los tornados del 25 de julio de 2011, del 4 de abril 2012 y del 29 de abril de 2018 se hallaron dentro de valores normales que caracterizan al medio ambiente en que se forman las tormentas severas y tornados en Argentina.

Anexo

Escala Fujita. Clasificación de la intensidad de los daños

(Fujita 1971)

F	Rango de v_{max}	Daños que ocasiona:
0	64 a 118 Km/h	Daños ligeros: Se quiebran las ramas de los árboles; se caen los árboles con raíces poco profundas y los que presentan sus troncos ahuecados; se producen daños en carteles.
1	118 a 182 Km/h	Daños moderados: Se desprenden las coberturas de los techos; se rompen los vidrios de las ventanas; los árboles son arrancados de raíz; algunos árboles son quebrados; los automóviles son desplazados de la ruta.
2	182 a 254 Km/h	Daño considerable: Se desprenden los techos de las viviendas dejando en pie sólo las paredes más fuertes; estructuras débiles son derribadas; los vagones de ferrocarril son volcados; árboles grandes son arrancados de raíz o quebrados; objetos pequeños actúan como proyectiles; los automóviles son barridos de las autopistas; estructuras y paredes de bloques son seriamente dañadas.
3	254 a 334 Km/h	Daños severos: Los techos y algunas paredes de viviendas son volados; construcciones rurales son completamente demolidas o arrasadas. Los trenes son volcados; galpones y hangares son arrancados; los automóviles son elevados del suelo y son desplazados a cierta distancia. La mayoría de los árboles en montes y bosques son arrancados de raíz, quebrados o elevados por los aires.
4	334 a 421 Km/h	Daños devastadores: Viviendas de buena construcción son reducidas a escombros; las estructuras con cimientos débiles son elevadas y arrojadas a cierta distancia; los árboles son descortezados por objetos que vuelan por los aires; el suelo arenoso es erosionado y las piedras pequeñas actúan como proyectiles; los automóviles son arrojados a cierta distancia; se generan proyectiles de gran tamaño.
5	421 Km/h ó mayor	Daños increíbles: Viviendas de sólida construcción son seriamente dañadas; los automóviles se transforman en proyectiles y vuelan cubriendo distancias mayores de 100 metros; de los árboles quedan sólo los troncos descortezados; ocurren fenómenos increíbles.

Referencias bibliográficas

Convenios, contratos, informes

- 1980: Schwarzkopf, M.L. A. de y Rosso L. C. “Determinación del tornado básico de diseño para la Central Nuclear de Atucha, Buenos Aires” Comisión Nacional de Energía Atómica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Res. DT 534. Expte 430424/78.
- 1980: --/--. “Determinación del tornado básico de diseño para la Central Nuclear de Embalse, Córdoba”. Comisión Nacional de Energía Atómica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Res. DT 534. Expte 430424/78.
- 1987: --/--. “Estudio del Riesgo de Fenómenos Severos sobre el Sistema de Transmisión de Yacyreta”. Convenio firmado con Agua y Energía Eléctrica Sociedad del Estado, Expte. 436244/84 Facultad de Cs. Exactas y Nat. de la Universidad de Buenos Aires.
- 1996: Schwarzkopf, M.L.A. de y Rosso L. C. “Evaluación del riesgo de falla por corrientes descendentes o tornados sobre el sistema de transmisión de energía eléctrica Piedra del Aguila - Abasto”. Solicitado por Transener S.A.
- 1987: Schwarzkopf, M.L. A. de y Rosso L. C. “Evaluación del riesgo del tornados y tormentas severas sobre la línea LEAT Choele- Choel – San Antonio Oeste, Rio Negro” Consorcio GO Ingeniería S.A. Consultora en Ingeniería y Técnica Industrial S.A. e Ingeniería Eléctrica SRL, Res. CD 355. Expte 439685/87 Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- 1999: --/--. “Evaluación de la probabilidad de impacto de tornados en los sitios de emplazamiento de las centrales nucleares de Atucha y Embalse y de tornados y tormentas severas en tramos críticos del sistema de alimentación eléctrica externa a dichas centrales”. Autoridad Regulatoria Nuclear. Convenio firmado entre la Facultad de Cs. Exactas y Nat. de la Universidad de Buenos Aires.
- 2017: Schwarzkopf, M.L.A. de. “Fenómeno meteorológico que afectó los Partidos de San Vicente, Brandsen, La Plata, Berisso, Ensenada, Magdalena y Punta Indio el 5 de febrero de 2017”. Informe para la Universidad de La Plata.

Bibliografía

- Altinger de Schwarzkopf, María Luisa. *Climatología de los efectos de la convección severa en la Republica Argentina*. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, 1988.
- Evesson, D. T. “Tornado Occurrences in New South Wales”. *Australian Meteorological Magazine*, Vol. 17/3 (1969).
- Fujita, T. T. *Proposed Characterization of Tornadoes and Hurricanes by Area and Intensity*. Department of Geophysical Sciences University of Chicago, Chicago, Illinois. USA. SMRP, Research Paper No 91 (1971).
- . “Jumbo tornado outbreak of 3 April 1974”. *Weatherwise* 27 (1974): 116-126.

- . *Manual of Downburst Identification for Project Nimrod*. Department of Geophysical Sciences University of Chicago, Chicago, Illinois. USA. SMRP, Research Paper No 156 (1978).
- . "Three Scales of Motion Involving Tornadoes". *Proceedings of the Symposium on Tornadoes Assessment of Knowledge and Implications for Man*. 1976: 53.
- Letzmann, Johannes. "Zur Methodik der Tromben Forschung". *Meteorologische Zeitschrift*, November 1928: 434-439.
- Lichtenstein, E. R. y M. L. Altinger de Schwarzkopf. "Squall-lines in Argentina". *Weather* XXI (May 1965).
- . *Meteorological conditions associated to squall-line activity in Argentina*. Lezno (Polonia): OSTIV Publication, 1969.
- . "Aspectos estadísticos de las líneas de inestabilidad en la Argentina". *Meteorologica* 1/1 (1970).
- . "Condiciones meteorológicas asociadas a la ocurrencia de las líneas de inestabilidad". *Meteorologica* 1/2 (1970).
- Pita, G. L. y M. L. A. de Schwarzkopf (2016). "Urban Downburst Vulnerability and Damage Assessment from a Case Study in Argentina". *Natural Hazards* 83/1 (2016): 445-463.
- Schwarzkopf, M. L. A. de y C. R. Migliardo. "El tornado de San Justa, Santa Fe, ocurrido el 10 de enero de 1973". *Meteorologica* III/4 (1973).
- . "Estudio de los tornados en la Rep. Argentina". *Geoacta* 7/2. (1975).
- . "Aspectos estadísticos de la ocurrencia de los tornados en la Rep. Argentina". *Geoacta* 8/1 (1976).
- Schwarzkopf, M. L. A. de y L. C. Rosso. "El tornado de Morteros, Córdoba, del 28 de octubre de 1978". *Geoacta* 10/1 (1979).
- Schwarzkopf, M. L. A. de (ed.). *Tornados y Tormentas Severas* (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires), 1983-1999.
- . (ed.). *Tornados y Tormentas Severas* (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires), 1993.
- Schwarzkopf, M. L. A. de y L. C. Rosso. "Estudio de los tornados en la Argentina". A publicarse próximamente en el libro *Tornados en America Latina*. Universidad Nacional Autónoma de Mejico, ca. 2019.
- Wegener, Alfred. "Beiträge zur Mechanik der Tromben und Tornados". *Meteorologische Zeitschrift* 6 (1928): 16-49.