

Tiempo severo y grandes tormentas

Extremos del Clima y el Tiempo

- presión del aire a nivel del mar más baja: 870 mbar; durante tifón Tip (1979), Océano Pacífico
- presión del aire a nivel del mar más alta: 1084 mbar; Agata, Siberia
- temperatura del aire más baja (mundial): -89°C Vostok, Antártida
- temperatura del aire más baja (norteamérica): -63°C Yukón, Canadá
- temperatura del aire más alta (mundial): 58°C ; Aziziyah, Libia
- temperatura del aire más alta (norteamérica): 57°C ; Death Valley, California
- velocidad de viento más alta (mundial) 372 km/h; Mt Washington, New Hampshire

Lluvia, nieve y granizo

Rain:

- cuando aire húmedo asciende, el vapor de agua eventualmente se condensa
- es necesario que exista algún líquido o sólido aerosol que sirva de núcleo de condensación
- gotas (aprox $2\mu\text{m}$ de diámetro) se forman alrededor del núcleo de condensación
- gotas inicialmente suspendidas en la nube
- gotas se estrellan y hay coalescencia (crecen)
- eventualmente las gotas son demasiado grandes como para estar suspendidas y cae en forma de lluvia
- típicamente las gotas de lluvia tienen un diámetro de 2 mm y caen a 20 km/h
- si la lluvia cae a través de aire frío cerca del suelo, puede congelarse en forma de aguanieve

Nieve:

- nubes frías contienen una mezcla de gotas de agua muy frías y pequeños cristales de hielo

- las gotas de agua se evaporan más rápidamente que el hielo (porque las moléculas de agua están menos fuertemente unidas a gotas de agua que al hielo)
- humedad se condensa alrededor de cristales de hielo, llevando al crecimiento de copos de nieve hexagonales
- si el aire debajo de la nube es muy frío, la nieve cae en copos de nieve en forma de polvo
- si el aire está cerca de la T de fusión (0°C), grandes y húmedos copos de nieve caen
- si el aire está por encima de 0°C la nieve se transforma en lluvia

Granizo:

- en nubes con fuerte movimiento ascendente (p.e., nubes de tormentas eléctricas), cristales de hielo hasta tamaños de pelotas a altas temperaturas, donde la T está por debajo de 0°C .
- granizo cae en unos pocos minutos, típicamente en una zona de 2 - 10 km de largo en la dirección de movimiento de la tormenta
- la mayoría de tormentas de granizo presentan granos del tamaño de arvejas, pero se han presentado bloques de hasta 14 cm y 700 g de peso
- en Colombia este tipo de tormentas pueden presentarse en varios lugares (Bogotá, Cali, etc.)

Tormentas

- tormenta: un episodio de tiempo severo, con vientos, lluvias, caída de nieve y en algunos casos la cantidad de rayos puede ser preocupante y peligroso
- las tormentas se forman cuando fuertes gradientes de presión se forman (p.e., a través de frentes)
- las tormentas se forman localmente cuando aire cálido y húmedo asciende
- aire ascendente lleva a condensación \rightarrow liberación de calor latente
- la liberación de calor latente calienta el aire ascendente hasta que este se enfría lo suficiente para formar nubes (cumulonimbus)
- aire húmedo y cálido que viene de la superficie alimenta la tormenta
- una vez que la nube se vuelve lo suficientemente gruesa, empieza a caer lluvia, causando un proceso descendente cuando la lluvia es pesada
- la tormenta eventualmente se disipa

Tormentas eléctricas

- Mas de 2000 mundialmente en cualquier momento, más de 100,000 por año en USA
- lluvias intensas, vientos muy fuertes, rayos; granizo, de corta vida

Las tormentas eléctricas se forman cuando

- frente frío se mueve hacia una región con una masa e aire particularmente cálida.
 - ascenso convectivo provocado por la radiación solar en regiones muy húmedas (p.e., bosques tropicales; Florida)
 - ascenso orográfico (p.e., Andes, las Rocosas, etc.)
- su formación es similar a la de una tormenta común, excepto por el hecho que la nube cumulonimbus puede alcanzar alturas muy grandes (puede llegar a la tropopausa y a'i puede incluso afectar el tráfico aéreo más alto)
 - las nubes se extienden para formas nubes en forma de yunque, una vez se alcanza la tropopausa
 - ascenso en la nube misma es particularmente fuerte y puede separar cargas eléctricas (H^+ y OH^-)
 - las tormentas eléctricas se encuentran en su estado maduro una vez empieza a llover; movimientos descendentes superan los ascendentes, cortando el suministro de la tormenta (disipación)
 - celda: movimientos de ascenso y descenso dentro de la tormenta constituyen una celda o células de convección
 - supercélulas: una gran tormenta eléctrica que muestra rotación cuyos movimientos ascendentes y descendentes se encuentran balanceados permitiendo que la tormenta se mantenga estable por horas. Movimientos ascendentes pueden exceder los 165 km/h. Aire con rápido ascenso interactúa con vientos altos de tal manera que nuevos vientos ascendentes llevan a la formación de nuevas células. Puede producir fuertes granizadas y grandes y duraderos tornados
 - microburst: movimientos locales descendentes fuertes cerca de la superficie, muchas veces acompañados de lluvias y granizo; particularmente peligroso para la aviación ya que por ejemplo los aviones que descienden para aterrizar pueden perder su flotabilidad debido a los efectos del viento o ser empujados hacia el suelo; escalas de 10s de metros hasta 1 km

Rayos

- causa y mecanismos exactos no se entienden por completo
- idea actual:
 - cuando vientos ascendentes dentro de la nube son particularmente fuertes, el roce entre el aire y el agua es lo suficientemente fuerte como para que cargas eléctricas empiecen a separarse ((H+ va hacia arriba; OH- va hacia abajo)
 - cargas + son atraídas hacia la superficie, mientras el aire todavía actúa como aislante eléctrico
 - eventualmente, la diferencia de cargas llega a ser tan alta, que genera una descarga instantánea a través del aire (rayos de luz)
- el sonido del rayo (trueno) es causado por el rayo de luz que calienta el aire alrededor de manera instantánea hasta $T+8,000-33,000^{\circ}\text{C}$. El aire se expande explosivamente, creando ondas de sonido que viajan a 330 m/s (por ejemplo, si cuentas hasta 3 segundos desde que viste el rayo hasta oír el trueno, el rayo ocurrió a 1 km de distancia).
- en los EEUU más gente muere por rayos cada año (140), que por cualquier otro efecto relacionado con tormentas *p.e., 107 por inundaciones, 99 por tornados, 35 por huracanes).
- los rayos buscan la distancia más corta hacia la superficie
- lugares no ideales para estar parado durante una tormenta eléctrica incluyen, espacios abiertos, debajo de un árbol, en el agua
- lugares relativamente seguros: en un carro: debido al efecto de Faraday, las cargas fluyen a lo largo de la parte externa del carro

Tornados

- nubes casi verticales en forma de embudo que se forma en tormentas eléctricas violentas
- rotación extremadamente rápida alrededor del eje del embudo
- extremada baja presión en el centro debido a fuerte viento ascendente (100mbar)
- diametro de embudo en la base es de tan solo 5 - 1500 m de ancho, hace que el tornado sea muy local, pero el trayecto del tornado puede ser de 1 - 500 km de largo
- en USA, tornados viajan a 0 - 100 km/h desde el suroeste hacia el noreste debido a vientos regionales

- en USA, mayoría de tornados ocurren en el corredor de tornados y en Florida

Los tornados son muy destructivos debido a:

- fuertes vientos (probablemente más de 500 km/h)
- baja presión en el centro
- un mito urbano: se piensa que la baja presión puede chupar las ventanas de una casa. Aunque la presión del aire es extremadamente baja, es más probable que los fuertes vientos son los causantes de la ruptura de ventanas. Sin embargo, las presiones bajas en el centro ayudan a mantener los fuertes vientos a su alrededor
- otro mito urbano: los tornados rotan en el sentido contrario a las manecillas del reloj por el efecto Coriolis. Los vientos en un tornado son tan fuertes que no se ven afectados por el efecto Coriolis.
- de todos los fenómenos del tiempo, los tornados son los que poseen las mayores velocidades del viento; la mayoría de mediciones de velocidad en un tornado son estimadas con imágenes de satélite, los instrumentos utilizados para medir velocidades in situ (anemómetros) se romperían antes que las velocidades más grandes fueran medidas

Tornados y la Escala Fujita

La escala Fujita categoriza los tornados basado en la velocidad del viento y su destrucción en cinco categorías (F1-F5). Las velocidades de los vientos son estimadas ya que nadie ha podido aún medir directamente la velocidad del viento en un tornado.

Cómo se forman los tornados?

La manera como se forman los tornados no está entendido completamente

- se forma cerca del borde derecho de una gran tormenta eléctrica, donde los vientos son los más fuertes; muchas veces en una supercélula pero no necesariamente
- fuertes vientos de cizalla con vientos soplando cerca de la superficie en una dirección y vientos altos en la otra dirección
- el aire rota en un cilindro horizontal: tubo de vortex
- se forma un mesociclón cuando fuertes vientos ascendentes y descendentes en la tormenta hacen que un lado del vortex se levante y el otro se dirija hacia la superficie

Escala	Categoría	Vel viento km/h	Long trayecto width	Daños típicos
F0	débil	64-116	0-1.6 km 0-17	ramas y ventanas rotas
F1	moderado	117-180	1.6-5.0 km 18-55m	arboles rotos, tejados levantados; carros-casa son movidos de su lugar
F2	fuerte	181-253	5-16 km 56-175m	grandes arboles rotos; casas móviles destruídas; techos arrancados
F3	severo	254-332	16-50 km 176-556m	techos bien contruidos y paredes levantadas arboles arrancados de la raíz, carros volcados
F4	devastador	333-418	50-160 km 560-1500m	casas fuertes destruídas; edificios tumbados de su base; carros levantados; arboles movidos por el aire
F5	increible	419-512	160-500 km; 1500-5000m 1500-5000m	carros y camionetas cargados por 90 m o más; casas fuertes desintegradas asfalto es levantado en carreteras

- mesociclón entonces está rotando alrededor de un eje vertical
- nube en embudo: el aire asciende rápidamente alrededor de un núcleo de baja presión en el mesociclón; el aire se expande y se enfría; hay condensación en el embudo si hay suficiente humedad
- mesociclón se expande verticalmente y se encoge horizontalmente; el aire gira hacia adentro y por conservación del momento angular, se vuelve más rápido (como cuando un patinador artístico cierra sus brazos para girar más rápido); aire gira acelerando y ascendiendo
- el aire debajo del embudo es atraído hacia el núcleo; aire se enfría rápidamente y se condensa; el embudo desciende hacia la superficie
- cuando finalmente hay contacto con superficie, polvo y escombros son chupados haciendo que el embudo tome un color oscuro
- aire en parte externa del embudo gira hacia arriba, mientras que el aire adentro desciende hacia la zona de presión extremadamente baja en la superficie; la evaporación resultante durante el calentamiento hace que el núcleo este libre de nubes
- una primera muestra que un tornado está a punto de formarse es el avistamiento de una pared de nube *wall cloud*, una nube que está rotando en la base de una tormenta y que va bajando hacia el suelo; el embudo con rotación rápida se entenderá a partir de la pared de la nube hacia el suelo
- las condiciones tienen que darse de la manera exacta; solo el 15% de tormentas con supercélulas producen tornados

Tornado Alley (Callejón de Tornados)

la mayoría de tornados se forman en Norteamérica

- fuertes vientos del oeste a grandes alturas se encuentran con vientos del sureste cerca a la superficie
- vientos fríos polares de Canadá se encuentran con aire cálido tropical del Golfo de México; una situación particular de este callejón es que el *jet stream* sopla en las partes altas en una tercera dirección, sobre una zona de baja presión al este de la zona de colisión entre el aire cálido y frío por debajo.
- mayor probabilidad durante Marzo-Septiembre
- "callejón de tornados": extensa área desde Texas y Kansas hasta el este de Indiana
- en los EEUU, en los últimos 30 años: 420-1100 tornados por año con 80 muertes, aunque un solo tornado F5 mataría cientos

Nota: el libro del curso da tres condiciones como una *tormenta eléctrica puede generar un tornado*. Una tormenta puede generar varios tornados. Estas tres condiciones forman parte de varias más y son específicas para tornados en el callejón de tornados, durante primavera y verano temprano.

1. flujo de aire tropical marino del Golfo de México, de bajas latitudes, dirección norte (cerca de los 1500 m de altura)
2. vientos de latitud media, masa de aire frío y seco alejándose hacia el sur de Canadá o el este de las Rocosas (aprox 3200 m de altura)
3. vientos jet-stream de gran altitud en dirección este (aprox 10000m de altura)

estos vientos soplando en direcciones distintas generan condiciones para una atmósfera inestable en la cual tormentas con tornados se pueden formar. Adicional a lo anterior otros factores pueden jugar un papel importante: 4) en la superficie, un frente frío cerca del centro de un ciclón (wave cyclone). p.e., sistema de baja presión. 5) un hueco de baja presión existente hacia el oeste a una altura de 6000m, por debajo del jet-stream

Predicción: los meteorólogos buscan condiciones del tiempo a una escala grande, utilizando radares Doppler y otros métodos satelitales; se publican alertas como medida preventiva general, pero localmente solo hay un corto tiempo de alerta (15 min max?). El trayecto de los tornados no es predecible actualmente.

Olas de calor y sequías

- olas de calor se pueden generar por fuertes sistemas de alta presión en la atmósfera alta que se quedan estáticas por un periodo largo de tiempo
- índice de calor: índice dice que tan caliente se siente el aire, teniendo en cuenta la humedad relativa
- la ola de calor más intensa y regional que se ha presentado en USA ocurrió en el verano de 1936 (durante Julio y Agosto). Records de valores absolutos máximos de temperatura en 15 estados que aún no han sido superados como resultado de la ola de calor.
- Ráfaga de calor o heat burst: eventos raros e interesantes, caracterizados por un aumento repentino de la temperatura con una duración no mayor a unos pocos minutos. usualmente se presentan en las cercanías de tormentas eléctricas (mayoría en la noche). Ejemplo en Atalía, Turquía en 1977, donde T sube de 37° a 70°C en 2 min)

Lectura recomendada

"Extreme Weather" by Christopher C. Burt, 2004, Norton&Comp, ISBN: 0-393-32658-6