

Alberto López López y David de León Escobedo

El impacto de las tormentas severas

En el siguiente texto se describen las tormentas severas más comunes en México y el impacto que generan en obras de infraestructura. Esto incluye desde las causas y el origen de las tormentas, pasando por sus características, hasta la explicación de las consecuencias en términos de fallecimientos y pérdidas económicas.

Introducción

Desde inicios de la civilización, se ha tenido un gran interés por el viento. Cuando comenzó la aventura del dominio de los mares, los seres humanos se enfrentaron a las tormentas marinas que destrozaban sus embarcaciones construidas de forma empírica. Fue entonces cuando comenzaron a avanzar en el conocimiento para que éstas aprovecharan el viento. Así, los pueblos escandinavos, quienes florecieron durante el siglo VI, y posteriormente los vikingos, durante los siglos VII a XI, fueron los pioneros y expertos de la navegación en mar abierto. Ellos inventaron la quilla y perfeccionaron sus barcos con velas para impulsarlos con el viento. Más adelante, durante la Revolución Industrial del siglo XVIII, se inició la construcción de barcos de vapor a partir de un mayor interés por comprender la ocurrencia de las tormentas marinas con el fin de proteger a las embarcaciones. De ahí se empezó a estudiar el fenómeno de las tormentas de manera sistemática.

El primero en estudiar los fenómenos meteorológicos fue Aristóteles, alrededor del año 340 a. d. n. e., quien incluyó en su libro *Meteorologica* observaciones acerca del origen de los fenómenos atmosféricos y celestes. En el siglo XV Leonardo Da Vinci inventó un anemoscopio mecánico para medir la intensidad del viento y su dirección. Durante el siglo XVII, Galileo Galilei, Evangelista Torricelli, Blaise Pascal, René Descartes y Robert Hooke fueron los precursores del desarrollo de instrumentos para la medición de algunos parámetros meteorológicos. De hecho, el nacimiento de la meteorología como una ciencia genuina natural se definió a partir de la invención de instrumentos de medición como el termómetro, el barómetro y el higrómetro, entre otros.

En la actualidad, la meteorología se define como el estudio de la atmósfera y sus fenómenos. La atmósfera de la Tierra es una capa fina de aire compuesto de gases,



principalmente nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2), con una pequeña cantidad de otros gases, como vapor de agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2). A medida que se desarrollaron mejores instrumentos, hasta llegar a los satélites de ahora, la meteorología fue progresando de manera importante. Asimismo, los conceptos de circulación en la atmósfera y movimientos de las tormentas se han hecho más claros, por lo que el estudio del viento comenzó a tener auge en el conocimiento sobre el movimiento de las masas de aire en la atmósfera. Esta circulación puede describirse como la superposición de flujos independientes, caracterizados por diferentes escalas de dimensión y de tiempo, que pueden ir desde metros hasta kilómetros y de minutos hasta horas o días.

El ecuador es la región más cercana al Sol y, por ende, la más caliente. A partir de allí se genera la circulación global del viento (véase la Figura 1), que en las demás zonas de la Tierra se rige por el efecto Coriolis; esto es, el movimiento del aire causado por la rotación del planeta. Dicho efecto determina que el viento sople del noreste al suroeste en el hemisferio norte y del sureste a noroeste en

el hemisferio sur (Ahrens y Henson, 2016; Jáuregui, 1969).

El movimiento de los vientos se centra en las latitudes conocidas como células Hadley (entre 30° de latitud norte y sur, excluyendo la Zona de Calma Ecuatorial, que está entre las latitudes 10° y -10°), células de Ferrel o de longitud media (30° a 60° latitud norte y sur) y células polares (60° a 90° latitud norte y sur). El aire caliente que proviene del ecuador se desplaza y, gracias a los cambios de estaciones, el conjunto de las células y las temperaturas generan un sistema complejo de movimiento por todo el globo. Gracias a estos ciclos el clima se estabiliza.

Para analizar la circulación, los movimientos de las masas de aire se han clasificado mediante una escala horizontal. En meteorología, se han definido tres grupos principales: microescala, mesoescala y macroescala (esta última también llamada escala sinóptica). La microescala incluye movimientos de menos de 20 km y una escala de tiempo de menos de una hora. La escala sinóptica incluye movimientos de más de 500 km y su escala de tiempo es de dos días o más. La mesoescala está definida por escalas

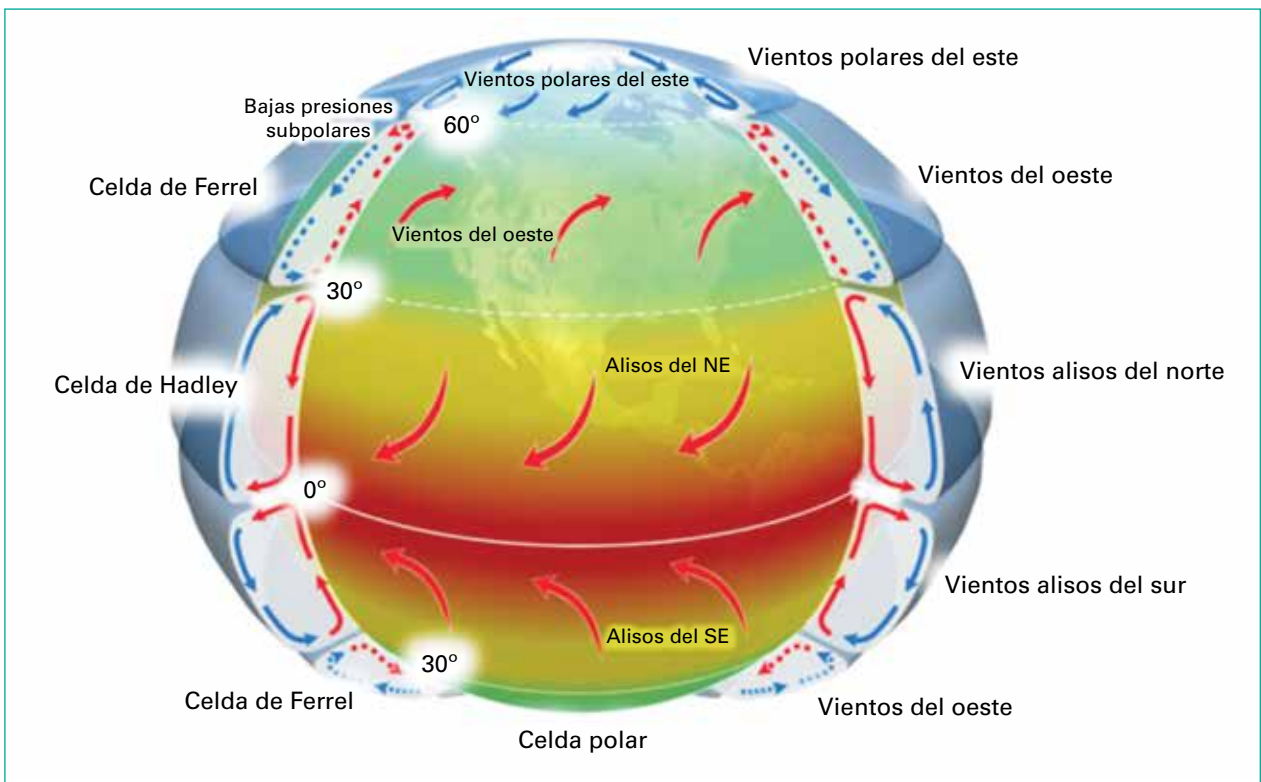


Figura 1. Circulación general de los vientos en la atmósfera.

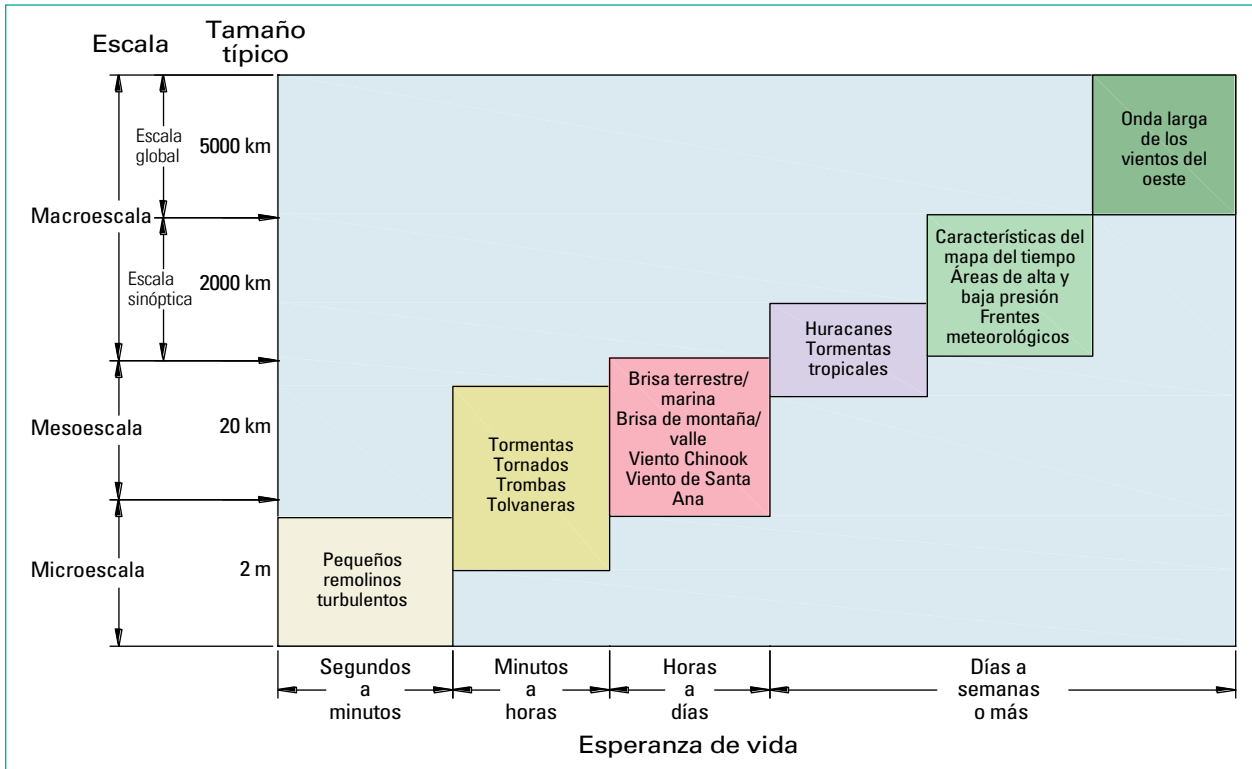


Figura 2. Escalas del movimiento en la atmósfera.

intermedias con respecto a las anteriores. La Figura 2 muestra en forma gráfica la dimensión y duración de la circulación en la atmósfera (Ahrens y Henson, 2016). Los diferentes fenómenos meteorológicos que ahí se presentan se denominan tormentas; cuando la velocidad del viento alcanza intensidades fuertes, éstas son las que amenazan a las poblaciones y las estructuras por su exposición.

Las tormentas severas en México

Como peligro o amenaza natural, el viento se caracteriza por múltiples parámetros climatológicos e hidrometeorológicos. Es necesario comprender las relaciones entre estos dos conjuntos de parámetros para desarrollar medidas de mitigación de los impactos que ocasionan los vientos fuertes.

De manera general, el viento es consecuencia de las diferencias en la presión atmosférica, atribuidas a la variación de la temperatura, la cual a su vez es producida por un desigual calentamiento por los rayos solares en las diversas zonas de la Tierra y de la atmósfera. La dirección del viento depende de la dis-

tribución y evolución de los centros de igual presión; el viento se desplaza de los centros de alta presión (anticiclones) hacia los de baja presión (depresiones) y su intensidad es tanto mayor cuanto mayor es el gradiente de presiones. En su movimiento, el viento se ve alterado por diversos factores, tales como el relieve y la fuerza de Coriolis. A su vez, las diferencias de temperatura producen variaciones de densidad en el aire, por lo que éste se mueve para compensar las variaciones buscando el equilibrio. No obstante, el equilibrio nunca se alcanza, dado que continuamente se crean nuevas variaciones y, por lo tanto, el viento siempre existe, aunque en ocasiones es imperceptible. En la superficie, el viento viene definido por dos parámetros: la dirección en el plano horizontal y la intensidad de su velocidad.

Las tormentas que producen vientos fuertes se denominan tormentas severas, las cuales pueden generar daños materiales importantes, así como muertes. Las tormentas más comunes en México son:

- Vientos sinópticos o estacionales y tormentas.
- Ciclones tropicales.

- Tornados.
- Tormentas de corrientes descendentes.

A continuación, se describen las características más importantes de estas tormentas severas.

Vientos sinópticos y tormentas

Los vientos de tipo sinóptico más comunes en México son los vientos alisios. Esta palabra proviene del verbo latino *alis*, usada en el siglo XVIII por los franceses para expresar una naturaleza cordial, sensible, amable y de carácter liso. Los vientos alisios son aquellos que, aunque soplan de manera persistente y abundante, no en todo momento tienen la misma magnitud. Aunque no soplan de manera violenta, en algunos casos son más o menos extenuados y otras veces vigorosos, condición que dependerá de la estación del año y según la ubicación. En verano, los vientos alisios son más frecuentes e intensos que durante el invierno. Por lo regular, se desplazan entre los trópicos, de 30° a 35° de latitud con respecto al ecuador.

La dirección que toman estos tipos de vientos va desde las altas presiones subtropicales hacia las ba-

jas presiones ecuatoriales, por lo que los vientos alisios pertenecen a la circulación de Hadley, sistema mediante el cual se traslada el calor desde las regiones ecuatoriales con dirección a las zonas subtropicales, donde el aire caliente es reemplazado por uno más frío dentro de los espacios de las latitudes superiores. En el momento en que los vientos alisios se encuentran dentro de ambos hemisferios, se produciría una zona de convergencia intertropical, que es una región del globo terrestre donde interaccionan los vientos alisios del hemisferio norte con los del hemisferio sur.

Otro tipo de fenómeno meteorológico son las tormentas, que se caracterizan por la presencia de dos o más masas de aire que están a diferentes temperaturas. Este contraste térmico hace que la atmósfera se vuelva inestable y presente lluvias, vientos fuertes, relámpagos, truenos, rayos y a veces también granizo. Para que una tormenta se pueda formar es necesario que haya un sistema de baja presión cerca de otro de alta presión. El primero tendrá una temperatura baja, mientras que la del otro será cálida. Dicho contraste térmico y otras propiedades de las



masas de aire húmedo originan el desarrollo de movimientos ascendentes y descendentes que producen efectos como fuertes vientos y lluvias, sin olvidar las descargas eléctricas. Estos tipos de tormentas pertenecen a los complejos fenómenos convectivos de mesoescala, que son procesos de transporte producidos por el movimiento de un fluido, y se denominan tormentas severas cuando crean frentes de ráfagas de vientos intensos y peligrosos que pueden alcanzar los 95 km/h o más (Ahrens, 2012).

Ciclones tropicales

Los ciclones tropicales constituyen una clase especial de grandes sistemas de vientos y son tormentas de rápida rotación que se originan en los océanos tropicales, de donde extraen la energía necesaria para desarrollarse. Tienen un centro de baja presión y nubes que se desplazan en espiral hacia la pared que rodea al “ojo”, que es la parte central del sistema donde no hay nubes y las condiciones meteorológicas son, por lo general, tranquilas. Esta combinación notablemente complicada de procesos mecánicos, con procesos mixtos de temperatura y humedad, implica interacciones de los sistemas nubosos con los océanos y con las superficies terrestres sobre las que se mueven los ciclones tropicales.

Los ciclones tropicales se originan como resultado de un proceso de liberación de calor y humedad de los mares en las zonas tropicales y subtropicales. Un ciclón tropical es un sistema de tormenta no frontal que se caracteriza por un centro de baja presión, bandas de lluvia espiral y vientos fuertes; su giro es en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio sur y en sentido contrario en el hemisferio norte. Este fenómeno se produce cuando dos masas de aire de distintas características termodinámicas chocan; el espacio entre las dos masas de aire se llama sistema frontal. En el caso de un ciclón tropical, el sistema es alimentado por el calor liberado cuando el aire húmedo sube y el vapor de agua que contiene se condensa (sistema de tormenta de “núcleo caliente”). Para la generación o nacimiento de un ciclón tropical se requiere que la temperatura de la superficie del mar sea mayor a los 26 °C. Dependiendo de su ubicación y fuerza, los ciclones tropicales



se conocen como huracán (Atlántico occidental/Pacífico oriental), tifón (Pacífico occidental), ciclón (Pacífico meridional/océano Índico), tormenta tropical y depresión tropical (definida por la velocidad del viento) (Ahrens, 2012).

Tornados

Un tornado es una columna de aire que gira rápidamente formando un vórtice y sopla alrededor de un área pequeña de baja presión intensa con una circulación que llega al suelo. Es la perturbación atmosférica más violenta en forma de vórtice, resultado de una gran inestabilidad, provocada por un fuerte descenso de la presión en el centro del fenómeno y fuertes vientos que circulan alrededor. La circulación de un tornado está presente en el suelo como una nube en forma de embudo o como una nube de polvo o escombros. También existen vórtices de gran intensidad que se generan en el mar y son conocidos como trombas marinas.

Un tornado es la tormenta de viento más destructiva. Alcanza diámetros típicamente del orden de 300 m y se mueve con respecto al suelo con velocidades del orden de 30 a 100 km/h, en una distancia



de aproximadamente 15 hasta 50 km de largo antes de disiparse, por lo que se abre paso en un camino largo y estrecho de destrucción. Dependiendo del nivel de daños que producen los tornados, se han definido las escalas de Fujita y Fujita Mejorada (Ahrens, 2012), que ahora es la más utilizada.

Tormentas de corrientes descendentes

Otro tipo de tormentas severas que se han presentado en México, conocidas como chaparrón o reventón, son las corrientes de viento descendentes intempestivas. En inglés son denominadas *downburst*; cuando la extensión de los vientos alcanza hasta 4 km, dichas tormentas son llamadas *microburst*; si sobrepasan los 4 km se conocen como *macroburst*. Este tipo de tormentas se caracterizan por un descenso repentino de viento, lluvia y granizo; es decir, generan un movimiento descendente a muy alta velocidad de aire turbulento, en un área limitada, por un corto tiempo. Cerca del suelo se extienden desde su centro con altas velocidades horizontales. Los frentes de ráfagas que generan estas tormentas pueden ser tan intensos que llegan a tirar árboles, destruir anuncios, desprender cubiertas y causar da-

ños en estructuras; además, han sido la causa de varios accidentes aéreos (Ahrens, 2012).

Impactos en la infraestructura por tormentas severas

Un fenómeno natural es un cambio de la naturaleza que sucede por sí solo sin intervención directa antropogénica; por ello, los desastres no son naturales, pero los fenómenos sí lo son. Los desastres siempre se presentan por la actividad humana en el entorno.

En los últimos 35 años, en el mundo se ha mostrado un incremento sostenido de las pérdidas materiales y humanas debido a los efectos de fenómenos hidrológicos, hidrometeorológicos y climáticos. Dichas pérdidas están asociadas a la mayor incidencia y duración de eventos hidrometeorológicos y climáticos extremos (EHCE) y representan una amenaza para la sustentabilidad, tanto de las actividades humanas como de los ecosistemas. La creciente incidencia de los EHCE se ha atribuido al aumento de la temperatura y variabilidad de la precipitación, en respuesta al incremento de los gases de invernadero en la atmósfera (IPCC, 2014). Como elemento cen-

tral en la identificación de la influencia de los EHCE, se encuentra el efecto que estos fenómenos tienen en la infraestructura de una localidad, región o país. Dicha infraestructura es comúnmente representada por obras civiles, pero también incluye los recursos hídricos, agrícolas, energéticos y medioambientales.

En América Latina, de acuerdo con un análisis de la Comisión Económica para América Latina (Bello y cols., 2014), entre 1972 y 2010, de 88 desastres registrados en 28 países, se estimó que el costo total (costos de daños más costos de pérdidas) alcanzó los 213 000 millones de dólares (a precios de 2000), mientras que las muertes llegaron a 309 742 y se registraron 30 millones de personas afectadas. En México, el costo total de los cinco mayores desastres de carácter climatológico ascendió a 3 754 millones de dólares. En el sector de infraestructura, las pérdidas sumaron 601 millones de dólares, y se estima que en el subsector de energía los daños representaron 66% del costo de daños de infraestructura en todo México. En el sector productivo las pérdidas fueron de 1 443 millones de dólares, y para el subsector agropecuario se estiman en 17% del costo de pérdidas en el sector productivo. El claro incremento en los costos de los desastres evidencia la necesidad de cambiar las estrategias sobre el manejo de la infraestructura; para mayor información, este tipo de análisis estadísticos de los desastres que han ocurrido en el mundo son presentados por Guha y cols., 2016.

Alberto López López

Consultor.

alberto.lopp136@gmail.com

David de León Escobedo

Universidad Autónoma del Estado de México.

daviddeloneescobedo@yahoo.com.mx

Referencias específicas

- Ahrens, C. D. (2012), *Essentials of Meteorology: An invitation to the atmosphere*, 6.ª ed., Boston, Brooks/Cole Cengage Learning.
- Ahrens, C. D. y R. Henson (2016), *An introduction to weather, climate, and the environment*, 11.ª ed., Boston, Cengage Learning.
- Bello, O., L. Ortiz y J. L. Samaniego (2014), *La estimación de los efectos de los desastres en América Latina, 1927-2019*, serie Medio Ambiente, vol. 157, Santiago de Chile, CEPAL.
- Guha Sapid, D., R. B. Femke Vos y S. Ponserre (2016), *Annual Disaster Statistical Review 2016, The numbers and trends*, Lovaina la Nueva, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)-Institute of Health and Society (IRSS)-Université Catholique de Louvain - Brussels.
- IPCC (2014), *Assessment Report 5*, Ginebra, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jáuregui, O. E. (1969), "Algunos conceptos modernos sobre la circulación general de la atmósfera", *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, II:209-236.

