

# **LAS TORMENTAS SEVERAS Y SUS IMPACTOS EN LA INFRAESTRUCTURA**

Dr. Alberto López López

[alberto.lopp136@gmail.com](mailto:alberto.lopp136@gmail.com)

Consultor

Dr. David de León Escobedo

[daviddeleonescobedo@yahoo.com.mx](mailto:daviddeleonescobedo@yahoo.com.mx)

Profesor. Universidad Autónoma del Estado de México

Resumen:

Se presenta una descripción general de las tormentas severas y el impacto que generan en obras de infraestructura, con énfasis en los ciclones tropicales. La descripción incluye desde las causas y el origen de las tormentas, hasta la explicación de las consecuencias en términos de fatalidades y pérdidas económicas.

## **INTRODUCCIÓN**

Desde inicios de la civilización, el hombre ha presentado un gran interés por el viento. Cuando el hombre comenzó con la aventura del dominio de los mares se enfrentó a las tormentas marinas que destrozaban sus embarcaciones construidas empíricamente. Fue entonces cuando se inició el avance del conocimiento para la construcción de embarcaciones aprovechando al viento. Los pueblos escandinavos, quienes florecieron durante el siglo VI y posteriormente, durante los siglos VII a XI, los vikingos, fueron los pioneros y expertos de la navegación en mar abierto. Los vikingos inventaron la quilla y perfeccionaron sus barcos con velas que eran las impulsoras de los barcos

por el empuje inducido por el viento. Durante la revolución industrial del siglo XVIII se inició a la construcción de barcos de vapor dándose un mayor interés a la ocurrencia de las tormentas marinas con el fin de proteger a las embarcaciones. De ahí se empezó a estudiar las tormentas de manera sistemática.

El primero en estudiar los fenómenos meteorológicos fue Aristóteles alrededor de 340 a. de C., presentando en su libro *Meteorologica* observaciones acerca del origen de los fenómenos atmosféricos y celestes. En el siglo XV Leonardo Da Vinci inventa un anemoscopio mecánico que medía la intensidad del viento y su dirección. Durante el siglo XVII, Galileo, Torricelli, Pascal, Descartes y Hooke, fueron los precursores del desarrollo de instrumentos para la medición de parámetros meteorológicos. De hecho, el nacimiento de la meteorología como una ciencia genuina natural se originó 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 por nitrógeno ( $N_2$ ) y oxígeno ( $O_2$ ), con una pequeña cantidad de otros gases tales como vapor de agua ( $H_2O$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ). A medida que se desarrollaron mejores instrumentos, hasta llegar a los satélites meteorológicos de ahora, la meteorología ha progresado en forma importante. Los conceptos de circulación en la atmósfera y movimientos de las tormentas se han hecho más claros y el estudio del viento comenzó a tener auge definiéndose como el movimiento de las masas de aire en la atmósfera. La circulación de las masas de aire en la atmósfera puede describirse como la superposición de flujos independientes caracterizados por diferentes escalas de dimensión y tiempo, que pueden ir desde metros hasta kilómetros y de minutos a horas o días.

El Ecuador es la zona más cercana al sol y por ende, la más caliente. A partir de allí es que se genera la circulación global del viento. La circulación en las demás zonas de la Tierra se rige por el efecto Coriolis, el movimiento del aire causado por la rotación del planeta. Es este efecto el que determina que el viento sople del nordeste al sudoeste en el hemisferio norte y de sudeste a noroeste en el hemisferio sur (figura 1), Ahrens y Henson (2016), Jáuregui (1969).

El movimiento de los vientos se centra en las latitudes conocidas como células Hadley (entre  $30^{\circ}$  de latitud norte y sur, excluyendo la Zona de Calma Ecuatorial que esta entre latitudes  $10^{\circ}$  y  $-10^{\circ}$ ), células de Ferrel o de longitud media ( $30^{\circ}$  -  $60^{\circ}$  norte y sur) y células polares ( $60^{\circ}$  -  $90^{\circ}$  norte y sur). El aire caliente proveniente 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 de aire a lo largo y ancho del globo. Gracias a estos ciclos el clima se estabiliza.

Para analizar esa circulación, los movimientos de las masas de aire se han clasificado de acuerdo a una escala horizontal de movimiento. En meteorología se han definido tres grupos principales: microescala, mesoescala y macroescala, ésta última también llamada escala sinóptica. Con base en esta clasificación, la microescala incluye movimientos de menos de 20 km y escala de tiempo de menos de una hora. La escala sinóptica incluye movimientos de más de 500 km y escala de tiempo de dos días o más. La mesoescala está definida por escalas intermedias 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 y estas, cuando la velocidad del viento alcanza intensidades fuertes, son las que amenazan a las estructuras por su exposición.

En el siguiente apartado se definen las principales tormentas que se presentan en nuestro país y sus características particulares.

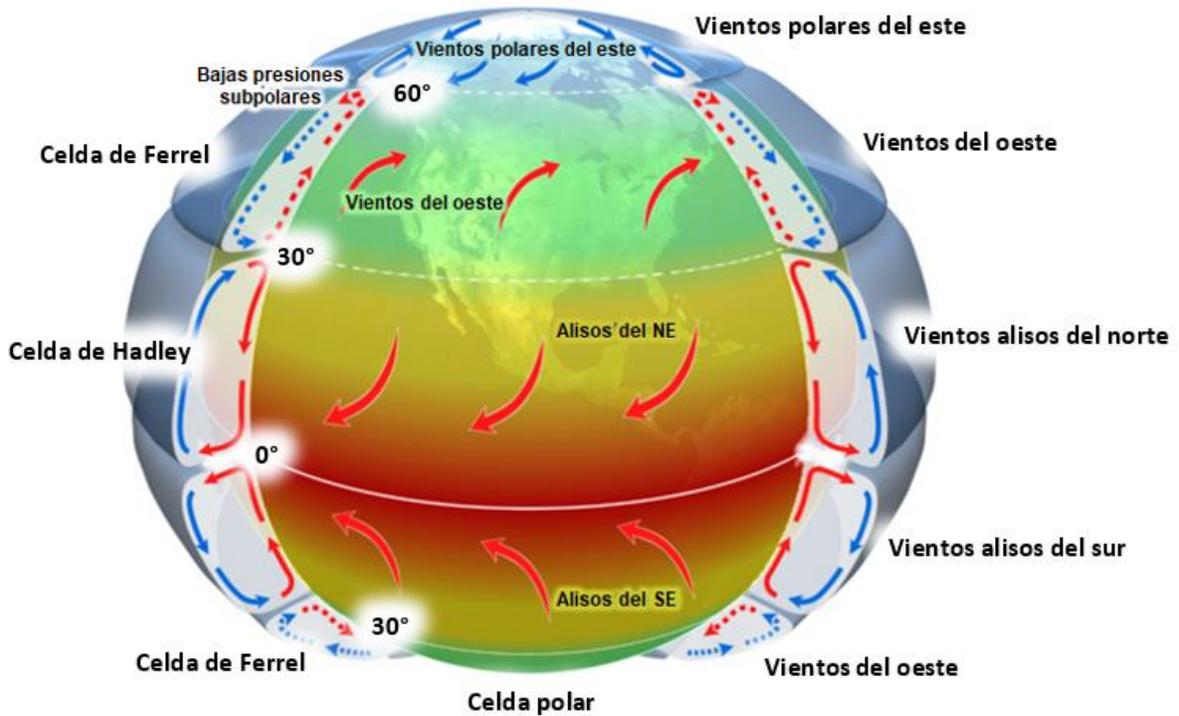


Figura 1. Circulación general de los vientos en la atmósfera

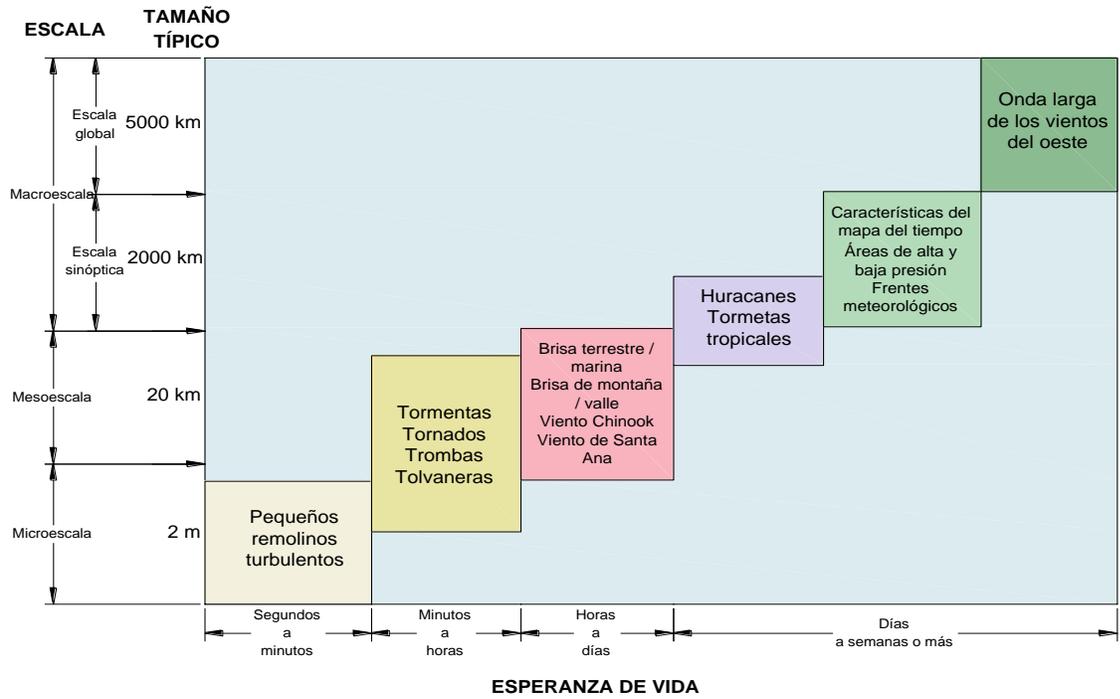


Figura 2. Escalas del movimiento en la atmósfera.

## TORMENTAS SEVERAS EN MÉXICO

Como peligro o amenaza natural, el viento se caracteriza mejor por múltiples parámetros climatológicos e hidrometeorológicos. Es necesario comprender las relaciones entre estos dos conjuntos de parámetros para desarrollar medidas para mitigar 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 de las diversas zonas de la Tierra y de la atmósfera. La dirección del viento depende de la distribución 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 producida por la rotación de la tierra.

Las diferencias de temperatura producen variaciones de densidad en el aire, entonces el aire se mueve para compensar esas variaciones buscando el equilibrio. 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 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 tormentas severas son aquellas que son susceptibles de producir daños materiales importantes y muertes. Las más comunes en México son las siguientes:

- Vientos sinópticos o estacionales y tormentas
- Ciclones tropicales
- Tornados
- Tormentas de corrientes descendentes

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

## VIENTOS SINÓPTICOS Y TORMENTAS

Los vientos de tipo sinóptico más comunes que se presentan en México son los vientos alisios. La palabra Alisios proviene del verbo latino Alis, usada en el siglo XVIII por los franceses, con el fin de 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, y suelen aparecer regularmente entre los trópicos durante las distintas estaciones del año (Figura 1); no soplan de manera violenta aunque en algunos casos más o menos extenuados

y otras veces vigorosos, condición que dependerá de la estación del año. En la época del verano los vientos alisios son más frecuentes e intensos que durante el invierno, es decir, se comportan de acuerdo a las estaciones del año y según la ubicación donde se encuentre. Estos vientos alisios se desplazan entre los trópicos de 30 a 35 grados de latitud con respecto al ecuador. La dirección que toman estos tipos de vientos va desde las altas presiones subtropicales, hacia las bajas presiones ecuatoriales.

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 encuentren dentro de ambos hemisferios, entonces allí se produciría una zona de convergencia intertropical. Esta zona es la región del globo terrestre donde convergen 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, causando 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 produciendo los efectos como lo son los fuertes vientos y lluvias, sin olvidarnos de las descargas eléctricas. Este tipo de tormentas se ubican dentro de los complejos fenómenos convectivos de mesoescala, las cuales son procesos de transporte producidos por el movimiento de un fluido, y se denominan tormentas severas cuando

crean frentes de ráfagas de viento 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 el "ojo", la parte central del sistema donde no hay nubes y las condiciones meteorológicas son por lo general tranquilas. Son una combinación notablemente complicada de procesos mecánicos, con procesos mixtos de temperatura y humedad. En estos procesos físicos se tienen interacciones de los sistemas nubosos con los océanos y con las superficies terrestres sobre las que se mueven estos 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 sub-tropicales. Un ciclón tropical es un sistema de tormenta no frontal que se caracteriza por un centro de baja presión, bandas de lluvia espiral, fuertes vientos y gira en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio sur y en sentido contrario a las agujas del reloj en el hemisferio norte. Un sistema frontal 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 Indio), 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 de éste. 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. Es la tormenta de viento más destructiva. También existen vórtices de gran intensidad que se generan en el mar y son conocidos como trombas marinas. Un tornado alcanza diámetros típicamente del orden de 300 m y se mueve con respecto al suelo con velocidades del orden de 30–100 km/h en una distancia de aproximadamente 15 hasta 50 km de largo antes de disiparse, produciendo un camino largo y estrecho de destrucción. Dependiendo del nivel de destrucción que producen los tornados, se han definido las escalas de Fujita y Fujita Mejorada, Ahrens (2012), siendo esta última 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 como *Downburst*. Este tipo de tormentas se caracterizan por un descenso repentino de viento, lluvia

y granizo. Generan un movimiento descendente de muy alta velocidad de aire turbulento en un área limitada por un corto tiempo. Cerca del suelo se extiende desde su centro con altas velocidades horizontales. Cuando la extensión de los vientos alcanza hasta 4 km, dichas tormentas son llamadas *microburst*, cuando sobrepasan los 4 km son llamadas *macroburst*. Los frentes de ráfagas que generan estas tormentas pueden ser tan intensos que llegan a tirar árboles, anuncios, desprender cubiertas y causar daños en estructuras, 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 del hombre; por ello, los desastres no son naturales, los fenómenos sí lo son. Los desastres siempre se presentan por la acción del hombre en su entorno.

En los últimos 35 años, a nivel mundial, se ha venido presentando un incremento sostenido en 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 (EHCEs) y representan una amenaza para la sustentabilidad tanto de las actividades humanas como de los ecosistemas. La creciente incidencia de EHCEs se ha atribuido al incremento en la temperatura y variabilidad de la precipitación, en respuesta al incremento de los gases de invernadero en la atmósfera, IPCC (2014). Como elemento central en la identificación de la influencia de EHCEs 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 a un análisis de la Comisión Económica Para América Latina, Bello y cols. (2014), entre 1972-2010, de 88 desastres registrados en 28 países, se estimó que el costo de los desastres (costos de daños más costos de pérdidas) alcanzó los 213 mil millones de dólares (a precios del 2000), mientras que las fatalidades llegaron a 309,742 fallecimientos y 30 millones de personas afectadas. En México se registraron 5 desastres de carácter climatológico y cuyo costo total ascendió a 3,754 millones de dólares. En el sector infraestructura las pérdidas ascendieron a 601 millones de dólares y se estima que en el subsector de energía los daños en México ascendieron a un 66% del costo de daños de infraestructura. En el sector productivo las pérdidas fueron de 1,443 millones de dólares y para el subsector agropecuario se estiman en un 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. Análisis estadísticos de los desastres que han ocurrido en el mundo son presentados por Guha y otros (2016).

## REFERENCIAS ESPECÍFICAS

Ahrens, C.D. (2012) *“Essentials of Meteorology: An invitation to the atmosphere”*, Sexta edición, Brooks/Cole, Cengage Learning.

Ahrens, C.D. y Henson R. (2016) *“An introduction to weather, climate, and the environment”*, Onceava edición, Cengage Learning.

Bello, O., L. Ortiz y J.L. Samaniego (2014) *La estimación de los efectos de los desastres en América Latina, 1927-2019*, CEPAL, Serie Medio Ambiente, Vol. 157, Septiembre, Santiago de Chile, Chile.

Guha-Sapir, D., R.B. Femke Vos y S. Ponslerre (2016) *Annual Disaster Statistical Review 2016, The numbers and trends*, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), Institute of Health and Society (IRSS), Université catholique de Louvain – Brussels, Belgium, Ciaco Imprimerie, Louvain la Neuve, Belgium.

IPCC (2014) Intergovernmental Panel on Climate Change, *Assessment Report 5*, AR5.

Jáuregui O. E. (1969) “*Algunos conceptos modernos sobre la circulación general de la atmósfera*”, Boletín, vol. II, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 209-236.