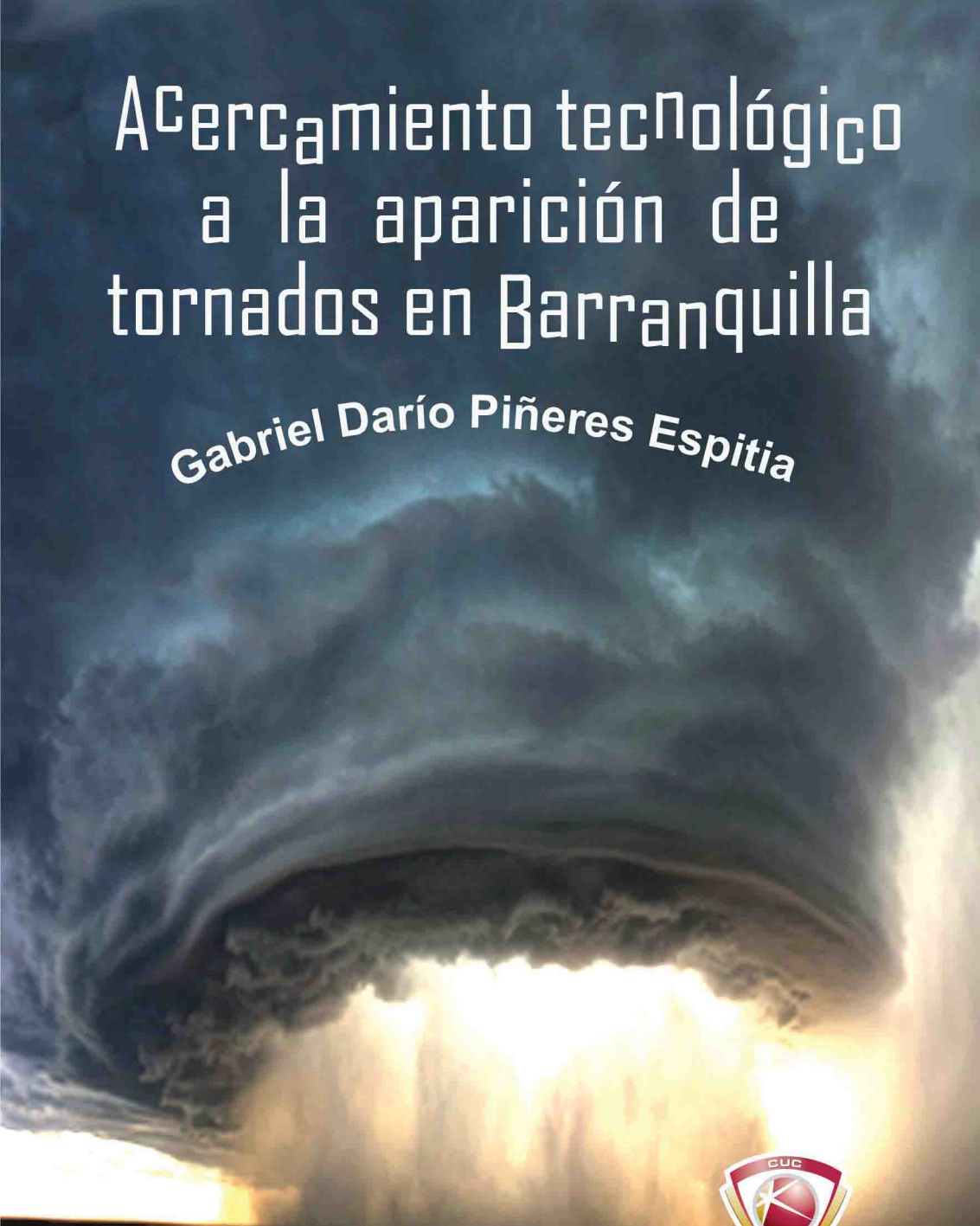


Acercamiento tecnológico a la aparición de tornados en Barranquilla

Gabriel Darío Piñeres Espitia



Acercamiento tecnológico a la
aparición de tornados en
Barranquilla

Acercamiento tecnológico a la aparición de tornados en Barranquilla

Gabriel Darío Piñeres Espitia



2010



EDUCOSTA
EDITORIAL UNIVERSITARIA DE LA COSTA

Acercamiento tecnológico a la aparición de tornados en Barranquilla

Autor: **Gabriel Darío Piñeres Espitia**

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA
DE LA COSTA CUC
Barranquilla - Colombia - Sur América

ISBN: 978-958-8710-45-7

Primera Edición
Editorial Universitaria de la Costa EDUCOSTA
Corporación Universitaria de la Costa CUC
Calle 58 No. 55-66
Teléfono: (575) 344 4623
educosta@cuc.edu.co

Coordinación Editorial:
Perla Isabel Blanco Miranda
pblanco1@cuc.edu.co

Corrector de Estilo:
Nury Ruiz Bárcenas
nruizbarcenas@yahoo.com

Diagramación y Diseño:
Carlos Guillermo Peña Estrada
dolores-lopez@hotmail.es

Diseño y Fotografía de Portada:
Vanexa Romero
vanexares@gmail.com

Impreso por:
Yoyobiz Creativos Ltda.
yoyobizcreativos@hotmail.com

©**Todos los derechos reservados, 2010**

Esta Obra es propiedad intelectual de sus autores y los derechos de publicación han sido legalmente transferidos al editor. Queda prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del propietario de los derechos del copyright©

CONSEJO DE FUNDADORES
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA CUC

EDUARDO CRISSIEN SAMPER
RUBÉN MAURY PERTUZ (q.e.p.d.)
NULVIA BORRERO HERRERA
MARÍA ARDILA DE MAURY
RAMIRO MORENO NORIEGA
RODRIGO NIEBLES DE LA CRUZ (q.e.p.d.)
MIGUEL ANTEQUERA STAND

PERSONAL DIRECTIVO
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA CUC

NULVIA BORRERO HERRERA
Rector

RODOLFO MAURY ARDILA
Vicerrector de Bienestar

MARIO MAURY ARDILA
Director Departamento de
Posgrados

HERNANDO ANTEQUERA
MANOTAS
Vicerrector Financiero

CAROLINA PADILLA VILLA
Secretaria General

ALFREDO GÓMEZ VILLANUEVA
Decano Facultad de Arquitectura

GLORIA CECILIA MORENO
GÓMEZ
Vicerrectora Académica

JAVIER MORENO JUVINAO
Decano Facultad de Ciencias
Económicas

HENRY MAURY ARDILA
Vicerrector de Investigaciones

ALFREDO PEÑA SALOM
Decano Facultad de Derecho (e)

JOSÉ EDUARDO
CRISSIEN ORELLANO (e)
Vicerrector de Extensión

MILDRED PUELLO SCARPATI
Decana Facultad de Psicología

JAIME DÍAZ ARENAS
Vicerrector Administrativo

NADIA JUDITH OLAYA
CORONADO
Decana Facultad de Ingeniería

Agradecimientos

A mi esposa por su paciencia y comprensión en mi ocupación y dedicación, ya que gracias a ella pude tener un estímulo más para seguir adelante ante las dificultades.

Al Ingeniero Jaime Vélez Zapata, quien me impulsó a iniciar esta tarea y es un constante guía en mi labor investigativa y profesional.

Al Técnico Primero John Rodríguez Medina, quien me impulsó a desarrollar esta temática y me llenó de motivaciones para aprender de los tornados y la problemática que se envuelve tras ellos, y afecta al departamento del Atlántico.

Dedicatoria

A mi amado hijo Gabriel Darío, que siempre fue la motivación para iniciar esta labor y que siempre estuvo en mi mente en cada línea que escribía, en cada idea que surgía y en cada decisión que tomaba.

Prólogo

Esta publicación muestra, en su primera fase, el resultado de la investigación relacionada con la viabilidad de implementar un simulador de tornados para el Comando de Combate Aéreo N°3 (CACOM 3) de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), obteniendo como finalidad los lineamientos a seguir de acuerdo a las necesidades a resolver en esta entidad y los recursos iniciales que se requieren para el estudio y educación de una población que pueda ser afectada en lo referente a esta temática.

El primer capítulo muestra un primer vistazo a los conceptos generales que se manejan al hablar de tornados, de modo tal que cualquier lector no experto en la temática, pueda interpretar y entender conceptos básicos de este fenómeno meteorológico al leer e ir avanzando en el documento. No es un capítulo que pretende ahondar la temática de conceptos científicos de los tornados, puesto que no implica en el interés inicial del libro, sino que toca algunos temas basados en información encontrada en las web de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y TORRO (TORnado and storm Research Organisation), de gran relevancia en el estudio de los tornados.

Además el libro quiere mostrar que este fenómeno se presenta con mayor frecuencia en el departamento del Atlántico, aspecto que se trata en el capítulo dos, teniendo como fuentes, diarios reconocidos de la región y el país, en donde éstos han esbozados relatos de

daños y amenazas de tornados en los últimos 10 años principalmente. De acuerdo a los relatos de daños arrojados por personal de la defensa civil y de personas que narran su vivencia a este fenómeno, se clasifican los tornados de acuerdo a las escalas de Fujita mejorada y Torro.

El libro explora algunos de los aspectos relacionados a las investigaciones de las cuales han sido objeto los tornados para tratar de ahondar la comprensión de su formación. Además se muestra la tecnología que actualmente existe para prevenir a la población cuando este aparece. Este tema se trató, pues actualmente en el departamento del Atlántico no existen este tipo de sistemas de alertas tempranas ante la aparición de un tornado. Esto se expresa en el capítulo tres, así el lector, podrá interesarse en distintas tecnologías que a día de hoy se utilizan y se desarrollan para estudiar y prevenir a una población de los tornados, pudiendo profundizar a modo personal cualquiera de ellas.

Finalmente el capítulo cuatro realiza una revisión sobre los distintos tipo de simuladores de tornados que existen, algunos académicos, otros aplicados y experimentales, con el fin de responder a la temática de la investigación y trazar los lineamientos que debería seguir CACOM 3 para empezar el estudio de los tornados a través de simulaciones del fenómeno, teniendo en cuenta los recursos económicos y los requerimientos para dicho análisis. En este capítulo, se hará la recomendación de un modelo específico, el cual en una segunda fase debe ser mejorado en cuanto a los materiales usados y con relación a la implementación de sensores que permitan

medir variables ambientales para poder analizar si la información permite profundizar el estudio del fenómeno de manera simulada.

El libro ante todo pretende concientizar a los lectores de la gravedad del fenómeno y que se deben buscar formas para prevenir y estudiar los tornados, ya que el fenómeno está afectando el departamento del Atlántico.

Contenido

INTRODUCCIÓN.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES DE LOS TORNADOS

Pero... ¿qué es un tornado?

¿Cómo se forman los tornados?

Características de los tornados

Variedades de tornados

Tornado supercelular

Tornado no supercelular

- *Tromba terrestre*
- *Tromba marina.*
- *Gustnados*

Torbellinos menores

Torbellinos Eddy

Otros torbellinos

Escala de medición de Tornados

Escala de Fujita.

Escala de Fujita mejorada para daños de tornados

Escala Internacional de Torro

Diferencia entre huracanes y tornados

CAPÍTULO 2

TORNADOS EN BARRANQUILLA EN LOS ÚLTIMOS AÑOS

Emergencia por lluvias en la costa
(17 de mayo de 1993)

No tuve tiempo de nada (01 de Junio del 2001)

Tornado amenazó Barranquilla (29 de Julio del 2003)
Fuerte tornado que afectó a Barranquilla dejó
19 personas heridas (15 de Septiembre del 2006)
Distrito comenzó reparación por
daños del tornado (06 de Junio del 2007)
528 familias damnificadas dejó tornado en
Soledad (Atlántico) (22 de mayo del 2008)
Guía para reducir el impacto de un tornado
(01 de Mayo del 2010)
Coletazo de un tornado alarmó a los habitantes
de Soledad, Atlántico (19 de Julio del 2010)
Ayer pánico en Soledad por nueva
amenaza de tornado (11 de Agosto del 2010)
600 damnificados deja tornado en el suroriente
de Barranquilla (22 de Agosto del 2010)
Tornado en Barranquilla (25 de Octubre del 2010)

CAPÍTULO 3 72

TECNOLOGÍAS IMPLEMENTADAS EN ESTUDIO Y ANÁLISIS DE TORNADOS

Tecnologías de recolección de información.

Misión VORTEX 2

*Sistemas de mediciones de
variables ambientales y meteorológicas.*

- *Totable Tornado Observatorio (TOTO)*
- *Dillo-Cam*
- *Sonda en Sitio HITPR.*

Sensores y alertas ante la aparición de tornados

Radares de efecto Doppler.

Otros sistemas de Alertas.

Sistemas de simulación de Tornados.

CAPÍTULO 4
SIMULADOR DE TORNADOS EN LA
FUERZA AÉREA COLOMBIANA – CACOM 3

Simulador de tornados Universidad de IOWA

Simulador de tornados Túnel de viento de la Nasa

Simulador de tornados de Harald E. Edens

Otros simuladores de tornados

Consideraciones para un
simulador de tornados en CACOM 3

BIBLIOGRAFÍA.

Lista de Tablas

Escala de Fujita original

Escala de Fujita mejorada comparada con la original

Indicadores de daños de escala de Fujita mejorada

Escala internacional de TORRO.

Diferencia entre huracán y tornados

Informe Sigpad tornado del 15 de septiembre de 2006 en Barranquilla

Informe Sigpad tornado del 22 de Mayo de 2008 en Barranquilla

Informe Sigpad tornado del 22 de Septiembre de 2010 en Barranquilla

Noticias de tornados presentados en el departamento del Atlántico.

Lista de Imágenes

- Tornado (FLICKR, 2008)
- Tornado y trueno (FLICKR, 2004)
- Formación de tornados. (APARICIO FLORIDO, 2009)
- Tornado. (FLICKR, 2005)
- Tornado supercelular. (The big picture, 2010)
- Tornado - USA. (FLICKR, 2009)
- Tornado - USA. (FLICKR, 2009)
- Waterspouts -NOAA. (NOAA, 1969)
- Gustnado. (METEORED, 2009)
- Fire devils. (FLICKR, 2007)
- Tornado Barranquilla Agosto 2003. (RCN NOTICIAS, 2003)
- Tornado Barranquilla Septiembre 2006 (VÁSQUEZ CASTELLAR, 2010)
- Casas destechadas tras paso de tornado en Barranquilla en Mayo 22 del 2008 (RODRÍGUEZ, 2008)
- Peligro de tornado Soledad Atlántico Julio 20 del 2010. (EL HERALDO, 2010)
- Peligro de tornado Soledad, Atlántico Agosto 12 del 2010. (MOSCARELLA, 2010)
- Visita Alcalde Alex Char a damnificados tornado 22 de Septiembre del 2010. (FERNÁNDEZ, 2010)
- Tornado Barranquilla, octubre de 2010. (EL ESPECTADOR, 2010)
- Misión Vortex 2. (NOAA, 2009)

Dispositivo para medición de variables meteorológicas ante un tornado - TOTO. (NOAA, 2010)

Sonda para medir presión atmosférica en interior de tornados - HITPR. (RAM, 2010)

Radar Doppler Illinois - Usa similar al que se instalará en Medellín. (NOAA, 2007)

Detector de Tornado O'Conner. (O'CONNER, 2002)

Simulador de tornado Universidad de Iowa. (GALLUS, 2004)

Esquemático de simulador de tornado Universidad de Iowa (GALLUS, 2004).

Simulador de tornado de la NASA. (BLUCK, 2005)

Diseño de simulador de tornado para un cuarto y de uso educativo propuesto por Harald E. Edens.

Simulador de tornado para un cuarto y de uso educativo propuesto por Harald E. Edens. (EDENS E., 2001)

Esquema de simulador de tornado desarrollado en la universidad UNAM.

Simulador de tornado desarrollado en la universidad UNAM.

Simulador de tornado ubicado en el aeropuerto de san Francisco – Estados Unidos. (FLICKR, 2008)

Simulador de tornado ubicado en salón de museo de Mercedes Benz. (HADIPARAWIRA, 2011)

Introducción

Los tornados son fenómenos meteorológicos que han sido objetos de estudios para indagar aspectos tales como el porqué de su formación, factores ambientales que son de requerimiento para que se produzcan, intensidad con que afectan a una población, entre otros. Todo esto con el fin de lograr que se mejore la predicción de los mismos y poder determinar las rutas que éstos siguen, y así alertar a una población vulnerable a este fenómeno meteorológico.

El departamento del Atlántico es una zona que se ha visto afectada por los tornados y microtornados, lo cual ha incentivado el interés en entidades como la Corporación Andina de Fomento y el departamento de prevención y desastres de la ciudad de Barranquilla para que se tomen acciones para capacitar a las personas con relación a las medidas que se deben tomar para enfrentar estas eventualidades meteorológicas. Otras entidades, también han tomado cartas en el asunto, tal como la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), inicialmente porque se ha visto afectada por la presencia de estos fenómenos en su Comando Aéreo de Combate No 3 (CACOM 3) ubicado en el municipio de Malambo. Es por eso que esta base militar, ha realizado estudios en cabeza del Técnico Primero John Rodríguez Medina, dentro los que se destacan el de las variaciones ambientales de la zona Costa, detectando tendencias en los vientos relacionadas a su velocidad. Este estudio ha sido soportado con

datos obtenidos del IDEAM a lo largo de 10 años, que han sido el inicio de una investigación relacionada a las variaciones de vientos, estableciéndose unos períodos en donde éstos son de mayor peligrosidad debido a las velocidades que alcanzan. Todo esto ha implicado que CACOM 3 de la FAC busque maneras de enseñar y mostrar a una determinada población cómo se producen estos fenómenos, enfocándose en casos como el de los tornados. Pensando en esta temática se ha estudiado la viabilidad de implementar un Simulador de Tornados, que permita ser el inicio de un dispositivo que posteriormente pueda ser tomado como fuente de información para entender de mejor manera este fenómeno meteorológico a través de su simulación, presentándose diferentes opciones que puedan responder a los requerimientos de la Base CACOM 3 de la FAC.

Generalidades de los tornados

El departamento del Atlántico en los últimos años ha padecido a causa de la inclemencia del clima, el cual ha causado inundaciones, arroyos en su capital, Barranquilla, debido a las fuertes lluvias, y, en particular, tornados y microtornados. Estos últimos se han presentado con mayor frecuencia en el departamento del Atlántico, por lo que están siendo más estudiados, con el fin de tomar medidas para su prevención ante una posible aparición de los mismos. Para poder comprender algunos aspectos básicos, en este capítulo, se definen generalidades referidas a los tornados, sus posibles causas de formación, tipos de tornados que se pueden presentar, comparaciones con otros fenómenos de formación similar y escalas de medición para determinar la intensidad de éstos. Ahondando en estos conceptos se puede comprender de una mejor manera un tornado o microtornado, sus efectos y todo lo relacionado a un fenómeno natural de gran envergadura, y que aún encierra muchas incógnitas el ámbito científico.



Figura 1. Tornado (FLICKR, 2008)

Pero... ¿qué es un tornado?

Mucho se habla de los tornados cuando éstos se presentan, pero pocos conocen su definición como tal. Jesús Manuel Macías Medrano (2001), define este fenómeno de las siguientes maneras:

“Una columna de aire que rota muy aceleradamente y se extiende de la base de una gruesa nube comulonimbus o cúmulus hacia la superficie de la tierra o del agua; es la tormenta más violenta que puede ocurrir en un punto”.

Otra definición dada por este mismo autor es:

“Son severos vientos tempestuosos, circulatorios, de diámetro pequeño y de un gran poder destructivo. Es el más violento fenómeno natural de origen meteorológico.

Con cierta frecuencia los tornados pueden ocurrir dentro de la circulación de huracanes. Aunque los tornados ocurren en muchas áreas terrestres en muchas partes del mundo y están asociados con variadas condiciones atmosféricas, son relativamente frecuente en la parte delantera de la periferia de huracanes”.

Macías (2001) cita también otra definición del autor Eden Twist:

“Los tornados representan el fenómeno más violento y terrorífico y se puede definir como un vórtice (remolino) de alta velocidad o un embudo formado por altas corrientes dentro de una nube de tormenta. Cuando la base del vórtice toca el suelo se produce una senda de destrucción concentrada sin igual en la naturaleza”.

Un término usado para los tornados es el de “nube embudo”, el cual hace referencia a un tornado incipiente que no ha tocado tierra.



Figura 2. Tornado y trueno (FLICKR, 2004)

Otro aspecto a considerar es su sentido de giro, el cual tiene tendencias, según el hemisferio que se presente. En el hemisferio Norte tiene tendencia de giro en contra de las manecillas del reloj, y en el hemisferio Sur, en sentido de éstas. Se han presentado tornados en estos hemisferios que no cumplen estas particularidades, por lo que no se puede decir que sea una regla establecida con relación a su giro¹ .

Los tornados causan gran destrucción a su paso, y pueden destruir hasta poblaciones enteras, por lo que

¹ (MACÍAS, 2001)

son considerados uno de los fenómenos meteorológicos de mayor peligro. A su paso arrastran objetos que suelen ser lanzados a grandes distancias de su ubicación original. Algunos tienen la posibilidad de aspirar hasta 200 hPa, a través del embudo que se forma. (LINACRE & GEERTS, 1997)

¿Cómo se forman los tornados?

Los tornados provienen de fuertes tormentas y se originan desde una nube denominada “Comulunimbus”, debido a una gran rotación de aire que algunos casos produce lo que se denomina un mesociclón (Rotación de la nube con el tornado). La comulunimbus es una nube de gran precipitación denominada de desarrollo vertical, la cual en su interior posee un alto grado de condensación de humedad. Se genera a partir de tres factores que son aire húmedo, aire inestable, y un impulso ascendente inicial². La reacción en cadena de los tres factores produce la comulunimbus.

Cuando una precipitación proveniente del interior de la comulunimbus toca la tierra, se dice que hay un tornado. En muchas ocasiones se presume que esta precipitación se da cuando existe un choque de masas de aire caliente con masas de aire frío. Este hecho, sumado que al formarse el viento en la nube genera un cambio de presión atmosférica entre el suelo y la comulunimbus, forman un fenómeno tipo “aspiradora”, en donde el embudo tiende a succionar todo aquello por donde se traslada. Esto es considerado como un tornado.

² (GONZÁLES DEL CAPRIO, 2009)

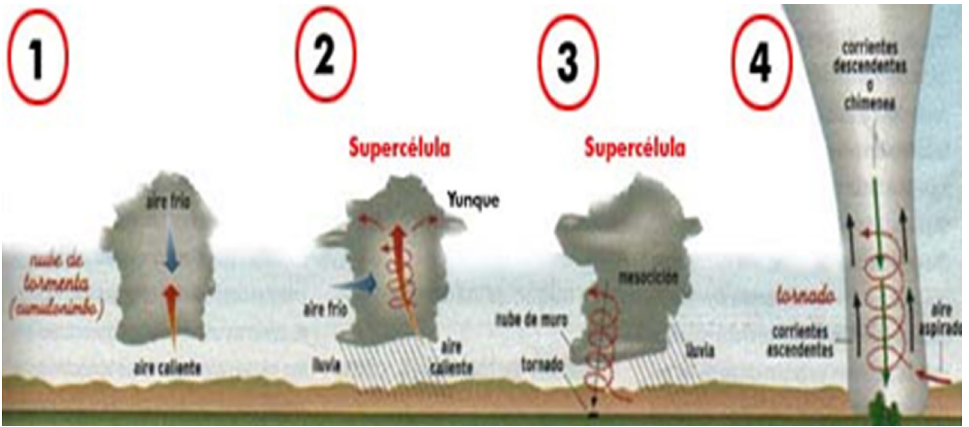


Figura 3. Formación de tornados. (APARICIO FLORIDO, 2009)

Aunque las condiciones que deben presentarse para que se produzca un tornado se siguen estudiando, Linacre y Greets en su libro “Climas y explicación de condiciones climáticas: Una introducción desde la perspectiva del Sur (Climates and Weather Explained: An Introduction from a Southern Perspective)” sostienen que para que se presente un tornado deben darse tres condiciones esenciales:

1. Un mínimo de 2000 J/kg de energía potencial convectiva disponible (energía que representa inestabilidad atmosférica que produce el ascenso de masas de aire), lo cual es posible cuando la capa límite planetaria (PBL) posee frentes cálidos y húmedos, y el aire en el ambiente es seco y fresco.
2. Una fina capa estable por encima de la PBL, suficiente para evitar la inestabilidad que ya sido liberada por tormentas pequeñas.
3. Un gran aumento de la fuerza del viento con la altura.

Los tornados se pueden generar en cualquier momento y por lo general son de corta duración, escasamente es de 10 min, aunque algunos pueden durar hasta horas. Cuando se generan los tornados pueden ir acompañados de otros tornados de menor intensidad. Cuando se forma el tornado se presentan lluvias, rayos, relámpagos y granizo. Sus velocidades pueden alcanzar hasta 550 km/h, causando gran destrucción cuando esto ocurre y afecta a una población.

Estudios han detectado que la zona en la cual se presentan con mayor frecuencia los tornados se encuentra en las latitudes de los 20° y 50°, tanto al norte como al sur del Ecuador. Estados Unidos es el país que más ha sido azotado por los tornados y es el que más ha realizado estudios en relación a su detección, formación y prevención, ya que se ha visto bastante golpeado por este fenómeno³. Aunque Colombia se encuentra ubicada entre los 12° de latitud Norte y 4° de latitud Sur con respecto al paralelo del Ecuador, se ve afectada por los tornados. El departamento del Atlántico, que se encuentra ubicado en el rango de los 10 y 11 grados de Latitud Norte, no debiera verse afectado por la presencia de tornados, sin embargo se han registrado con mayor frecuencia en los últimos años. La aparición de éstos fenómenos en la región se le atribuye al cambio climático que ha venido afectando a la tierra, más éste concepto no ha sido demostrado, por lo que no se puede aseverar.

3 (ALERTA TIERRA, 2008)

Características de los tornados

Existen distintas formas de identificar un tornado de acuerdo a determinadas condiciones que este presenta. Dentro de estas condiciones Sergio Paniagua en su libro “Desastres y emergencias. Prevención, mitigación y preparación”⁴ describe algunas de las principales características que se aprecian en un tornado.



Figura 4. Tornado. (FLICKR, 2005)

4 (PANIAGUA, 2002)

A continuación se destacan:

- El tornado se forma en conexión con una nube de tormenta llamada Cumulonimbus. La chimenea del tornado es una nube constituida por gotas de agua mezcladas por polvo y partículas de desecho que nacen en la base de las nubes y descienden hacia la superficie.
- El tornado aparece en la base de la nube cumulonimbus y se extiende hacia abajo, hasta alcanzar el suelo en forma de embudo o manga.
- Los daños y destrozos que puede causar un tornado son superiores a los de un huracán, por la gran energía acumulada reflejada en las grandes velocidades de tiempo concentradas en un área no tan extensa.
- Comúnmente un tornado va acompañado por lluvia, granizo, relámpagos, rayos y oscuridad propia de las nubes.
- Una característica común es la baja presión atmosférica en el centro de la tormenta y enorme velocidad del viento.
- Los tornados se desplazan aproximadamente a 50 km/h, sin embargo algunos se mueven más lentamente y otros a velocidades de 550 km/h. La trayectoria promedio de un tornado es de unos 400 m de ancho y unos cuantos kilómetros de anchos, sin embargo algunos han alcanzado 1,6 km de ancho y 480 km de largo.

Otras características que también se deben mencionar de un tornado son:

1. Cualquier tormenta eléctrica puede ser motivo para sospechar de la presencia de un tornado.
2. Los tornados poseen una altura de hasta 2 km de distancia desde el suelo hasta la cumulonimbus.
3. Giran en sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en el mismo sentido en el hemisferio sur. Esto se debe al movimiento de la tierra y las fuerzas de Coriolis. Esta condición no siempre se cumple.
4. La velocidad del viento puede ser de 300 km/h de manera vertical y hasta de 800 km/h de manera horizontal⁵.

Variedades de tornados⁶

Entendiendo que un tornado puede tener diferentes velocidades, algunos pueden ser más fuertes que otros o formarse en distintas superficies, éstos pueden ofrecer distintas variedades. Fuentes como TORRO (Tornado and Storm Research Organisation), menciona algunos de los más comunes. A continuación se enumeran algunos de los más conocidos, explicando sus particularidades.

5 (RINAMED, 2005)

6 (Revista del Aficionado a la Meteorología, 2002)

Tornado supercelular

Como su nombre lo expresa, provienen de una tormenta con mesociclón, producto de una súpercelda. La base de la nube gira al igual que el tornado. Son los que causan mayor daño cuando se presentan.



Figura 5. Tornado supercelular. (The big picture, 2010)

Tornado no supercelular

Proviene de nubes que no poseen mesociclón. Son débiles, de corta duración y no son fáciles de detectar. De este tipo de tornados se destacan las trombas terrestres, las trombas marinas y los gustnados.



Figura 6. Tornado - USA. (FLICKR, 2009)

- *Tromba terrestre*

Estos son conocidos también como landspout (por sus siglas en inglés) y son de menor intensidad. Para su formación no se requiere de una nube supercelular producto de una tormenta fuerte, sino más bien de cumulonimbus débiles, las cuales no suelen ser detectadas por radares que monitorean la formación de nubes grandes que pueden producir tornados. Este fenómeno es fácil de observar, y su particularidad es que el embudo que se produce es estrecho. El hecho de ser más débiles que un tornado producto de una súper celda, no impide que puedan causar grandes daños por la zona que recorre.



Figura 7. Tornado - USA. (FLICKR, 2009)

- *Tromba marina.*

Es semejante a una tromba terrestre, excepto que su formación es en el agua. Son conocidas también como waterspout (PAKER, 2003), y tampoco provienen de un mesociclón. Suelen ser observables y de corta duración. Aunque no son fuertes pueden producir daños en su recorrido. Se presenta gran humedad en la superficie, por lo que al producirse una diferencia de presión atmosférica, se puede observar el fluido subiendo hacia la nube que lo produce. En algunos casos también se les dice manga de agua⁷.

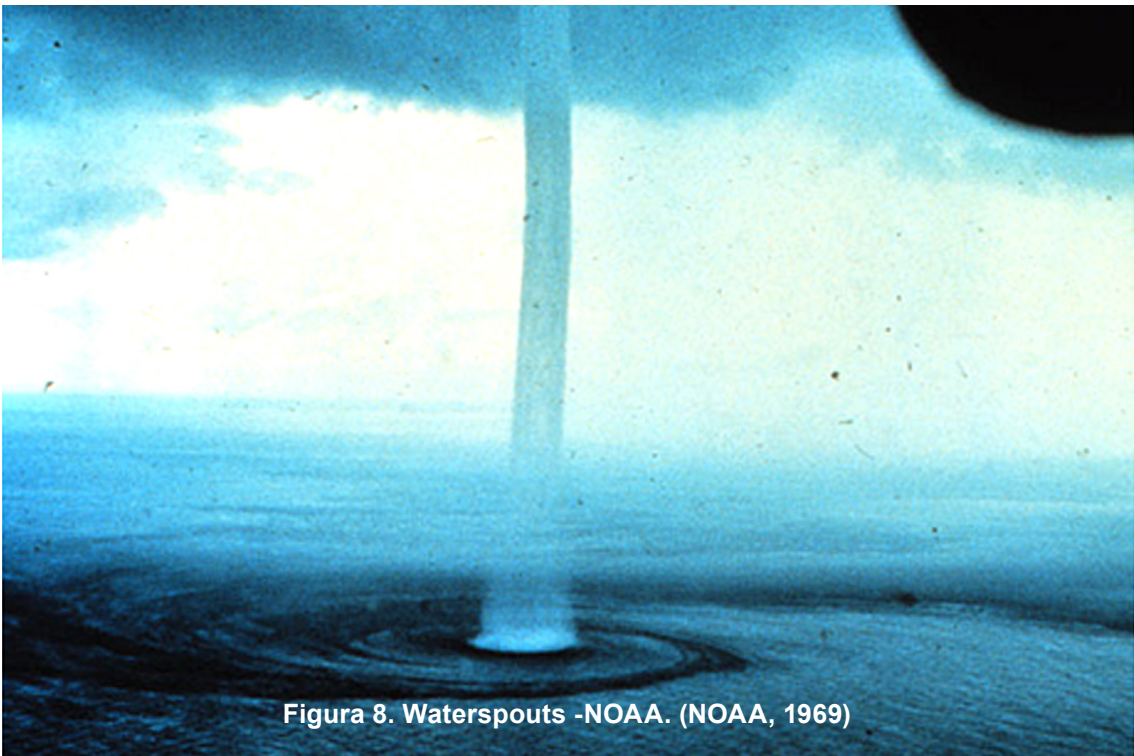


Figura 8. Waterspouts -NOAA. (NOAA, 1969)

⁷ (RAM, 2006)

- *Gustnados*⁸

Son las más comunes en referencia a los tornados tipo NST (Tornado no supercelular). Su nombre es según los cazatornados, en relación a la zona de formación de los vórtices de este fenómeno, el cual es por lo general en el frente de racha (gust front) de una tormenta eléctrica pequeña. Los gustnados han sido observados asociados a líneas de tormentas, especialmente en formaciones de grupos multicelulares. Su formación se cree que es debida a los cambios de dirección de viento en el frente de racha.⁹ Los gustnados pueden también darse en la parte posterior (forward-flank) o anterior de la corriente descendente (rear-flank downdraft) de una supercélula tormentosa. Los gustnados, como todos los tornados, son potencialmente peligrosos tanto para las personas como para las estructuras.



Figura 9. Gustnado. (METEORED, 2009)

8 (Revista del Aficionado a la Meteorología, 2002)

9 (LANKFORD, 1999)

Aunque se ha expresado que los gustnados suelen ser bastante débiles, algunos han alcanzado grandes velocidades en sus vientos, alcanzando a ser catalogados como F1 en la escala de Fujita. Generalmente aparecen como un torbellino que absorbe polvo y desechos, a lo largo del borde delantero de la corriente descendente de la tormenta. En la mayoría de los casos no presentan un túnel de condensación u cualquier otra conexión visible con el cúmulo o la base de la nube. Cuando se desarrollan a lo largo del borde delantero de una tormenta, los gustnados generalmente no van asociados a nubes de pared o bases libres de lluvia, con lo cual, son extremadamente difíciles de identificar visualmente.

*Torbellinos menores*¹⁰

Otra variedad que suele clasificarse como rotaciones de aire son los torbellinos menores, que pueden definirse como un viento que gira de forma helicoidal y se desarrolla sobre la superficie del suelo y que sube hacia arriba, dirigiéndose a la base de la nube, generalmente (pero no siempre), como resultado del desplazamiento de aire frío por aire caliente, asociado (generalmente) a un buen tipo de clima.

En sí, los torbellinos menores se clasifican de acuerdo a la superficie sobre la cual se generan:

- *Demonios de tierra (land devils)*

En este caso, el vórtice se forma sobre la tierra. Un ejemplo muy común de este tipo de vórtices son las tolvaneras.

- *Demonios de agua (water devils)*

El vórtice se produce sobre una superficie de líquida.

10 (TORRO, 2002)



Figura 10. Fogo de óleo. (FLICKR, 2007)

- *Demonios de fuego (fire devils)*

Estos remolinos también pueden formarse sobre un fuego o un suelo muy caliente, si existe la convergencia del aire necesaria. El demonio de fuego se desarrolla hacia arriba desde la superficie.

Los torbellinos no deberían clasificarse de acuerdo a los sedimentos que arrastran ya que esto provocaría gran cantidad de nombres para este tipo de fenómenos.

Cuando la fuente de calor produce inestabilidad en el aire, los demonios de fuego se forman a pesar de las condiciones meteorológicas existentes aunque, con los otros tipos de demonios, hay una gran incidencia de formación con vientos ligeros o calmados, lo que permite que el calor se eleve más rápidamente. Los demonios de fuego se dan más frecuentemente durante incendios forestales, grandes fuegos y en la quema de rastrojos, pero también han sido observados en otros fuegos tales como hogueras, incendios de combustibles, erupciones volcánicas y explosiones nucleares.

*Torbellinos Eddy*¹¹

Una especie de tornado, es el llamado torbellino Eddy, el cual puede ser considerado tanto un torbellino supercelular como uno secundario, dependiendo de las condiciones que estén predominando en el momento que se genere. El Torbellino Eddy se forma, por lo general, cuando una ráfaga de viento choca con un obstáculo, pero puede también formarse por el choque

11 (TORRO, 2002)

de dos masas de aire que se mueven a diferentes velocidades. Este fenómeno se puede dar en distintas magnitudes o escalas, ya sea por el choque del viento con una montaña hasta por el choque del viento contra un muro de una calle cualquiera. Los torbellinos que anteriormente se han tratado son conducidos por el movimiento del aire cálido dentro del aire más frío, pero con los torbellinos Eddy, hay poco movimiento de calor, siendo la fuente del movimiento del torbellino mayormente dada por el impulso que lleve el viento y, consecuentemente, habrá más posibilidades de que este fenómeno ocurra en un ambiente de brisa o viento.

Otros torbellinos

Otros torbellinos, incluye a los “vórtices estela” (trailing vortices). Se forman en las alas de los aviones y son más visibles cuando el aire está húmedo. Se desarrollan como consecuencia de la diferencia de presión entre la parte superior e inferior del ala y también por el movimiento hacia delante del avión. Estos torbellinos pueden también formarse en las montañas y colinas de forma y pendientes adecuadas.

Escala de medición de Tornados

Para categorizar un tornado se desarrollaron escalas que representan una medida de aproximación de la intensidad de este fenómeno de acuerdo a los daños que causa, asociándolo a unas determinadas velocidades de viento.

Sin ánimo de estudiar a fondo sus deducciones y con el fin de mostrar las más representativas, se encuentran

la escala de Fujita y la escala de Torro. Dichas escalas son mostradas a continuación.

Escala de Fujita.

Esta escala para la medición de tornados fue desarrollada en 1971 por T. Theodore Fujita cuando trabajaba en la Universidad de Chicago, en donde se clasifican a los tornados de acuerdo a los daños que éstos pueden causar debido a las velocidades de viento estimadas. Esta escala se detalla a continuación:

Tabla 1. Escala de Fujita original¹²

Escala	Velocidad del viento estimada (mph)	Daños típicos causados
F0	Menores de 73	Daños ligeros. Algunos daños en chimeneas, ramas rotas de árboles, árboles de raíces poca profundas, letreros dañados.
F1	73-112	Daños moderados. Desprendimiento de la superficie de techos, casas móviles expulsadas de su ubicación, autos movidos desde las carreteras.
F2	113-157	Daños considerados. Techos arrancados en casas de maderas, casas móviles demolidas, vagones volcados, árboles grandes rotos a arrancados de raíz, objetos ligeros lanzados como misiles, autos despegados del suelo.

12 (NOAA, 2001)

F3	158-206	Daños severos. Techos y paredes de edificaciones bien construidas arrancados; trenes volcados; la mayoría de árboles en bosques despegados del suelo; coches pesados levantados del suelo y luego arrojados.
F4	207-260	Daños devastadores. Estructuras sólidas seriamente dañadas, estructuras con cimientos débiles arrancadas y arrastradas, coches y objetos pesados arrastrados.
F5	261-318	Daños increíbles. Edificios grandes seriamente afectados o destruidos, autos lanzados a más de 100 metros de distancia, árboles descortezados.

Esta escala buscaba categorizar cada tornado por su intensidad y su área y calcula las velocidades de viento de acuerdo a los daños causados. Ella trató de ser relacionada con la escala de Beaufort (escala de velocidad de vientos), indicando numéricamente en cero (0) un estado de calma y en doce (12) un huracán¹³.

Con relación a esta escala de vientos, no se deben que usar literalmente, ya que los datos de velocidades de vientos no han sido científicamente verificados. Velocidades de viento diferentes pueden causar daños similares de un sitio a otro o de una edificación a otra. Sin un profundo análisis de ingeniería de daños de los tornados en cualquier caso, no se pueden conocer los daños que actualmente pueden producir las velocidades de viento citadas. La Escala de Fujita mejorada fue implementada en Febrero de 2007 con el fin de suplir estas deficiencias.

13 (NOAA, 2009)

Escala de Fujita mejorada para daños de tornados¹⁴

Una actualización de la escala de Fujita original fue creada por un equipo de meteorólogos e ingenieros que estudiaban el comportamiento de los vientos, y fue implementada en los Estados Unidos el primero de febrero de 2007. En la siguiente tabla se muestra ésta, en comparación con la escala de Fujita original y la escala de Fujita mejorada, en sus versiones de cálculo y de operación.

Tabla 2. Escala de Fujita mejorada comparada con la original

ESCALA DE FUJITA			ESCALA DE FUJITA MEJORADA		ESCALA DE FUJITA MEJORADA OPERACIONAL	
F- Número	Velocidad del viento (mph)	3 segundos de ráfagas (mph)	EF- Número	3 segundos de ráfaga (mph)	EF- Número	3 segundos de ráfaga (mph)
0	40-72	45-78	0	65-85	0	65-85
1	73-112	79-117	1	86-109	1	86-110
2	113-157	118-161	2	110-137	2	111-135
3	158-207	162-209	3	138-167	3	136-165
4	208-260	210-261	4	168-199	4	166-200
5	261-318	262-317	5	200-234	5	Over 200

La escala de Fujita mejorada sigue siendo un conjunto de estimaciones de velocidades del viento de acuerdo a los daños que producen. Su uso indica los daños producidos

¹⁴ (NOAA, 2005)

en un punto con relación a tres (3) segundos de acción de ráfagas de viento, basados en 8 indicadores que arrojan 28 niveles de daños. Las estimaciones varían de acuerdo a la altura y el tiempo de exposición. Las mediciones estándares son tomadas por estaciones meteorológicas con mediciones abiertas, usando directamente medidas de velocidad de “un minuto por milla”. Los indicadores de daño se describen a continuación:

Tabla 3. Indicadores de daños de escala de Fujita mejorada¹⁵

Número	Indicador de daño	Abreviación
1	Pequeños graneros o instalaciones agropecuarias o rurales	SBO
2	Viviendas de una o dos familia	FR12
3	Casa prefabricada - Sencilla	MHSW
4	Casa prefabricada – Doble	MHDW
5	Apartamentos, albergues y casas rurales (3 pisos o menos)	ACT
6	Hotel de carretera o motel	M
7	Apartamento o motel de fábrica	MAM

¹⁵ (IAEM, 2009)

8	Pequeño comercio (restaurantes de comida rápida)	SRB
9	Pequeño negocio profesional (consultorio, sucursal bancaria)	SPB
10	Pequeña área comercial	SM
11	Gran superficie comercial	LSM
12	Comercio grande y aislado (K-Mart, Wal-Mart)	LIRB
13	3Sala de exposición de automóviles	ASR
14	Taller de automóviles	ASB
15	Escuela primaria (de una sola planta, con pasillos interiores y exteriores).	ES
16	Instituto de enseñanza media o superior.	JHSH
17	Edificio de baja altura (1-4 pisos)	LRB
18	Edificio de altura media (5-20 pisos)	MRB
19	Edificio alto (Más de 20 pisos)	HRB
20	Edificio oficial o público (hospital, edificio gubernativo o universidad)	IB
21	Instalaciones de metal	MBS
22	Marquesina de gasolinera o estación de servicio	SSC
23	3Almacén o nave industrial (con muros o techos sólidos)	WHB

24	Líneas del tendido eléctrico	TLT
25	Torreta	FST
26	Postes del tendido eléctrico, de farolas o banderas	FSP
27	Árboles de madera dura	TH
28	Árboles de madera blanda	TS

Estos indicadores de daños fueron determinados para construcciones y edificaciones que se encuentran comúnmente en Norteamérica, pero son adaptables a las que se pueden encontrar en otros países.

Escala Internacional de Torro¹⁶

La escala de Fujita es una de las más usadas para clasificar un tornado de acuerdo con los daños producidos, sin embargo en Europa existe una entidad que se dedica al estudio de los tornados, la cual ha implementado una escala que es de mucho uso denominada Escala internacional de intensidad de tornados. Esta entidad privada es conocida como “TORRO” (Tornado and Storm Research Organisation). Torro fue fundada en 1974 y se dedica a la investigación de tornados. Está conformada por varios científicos calificados y aficionados, la mayoría residentes en Inglaterra. Es una organización cuyo financiamiento es propio y define a “La escala de Torro” en su web, de la siguiente forma:

16 (TORRO, 2007)

Tabla 4. Escala internacional de TORRO.

Intensidad de tornado	Descripción de tornados y velocidades de vientos	Descripción de daños (para orientación solamente)
T0	Tornado suave 17 - 24 m s-1 (39 - 54 mi h-1)	<ul style="list-style-type: none"> • Basuras ligeras expedidas del suelo en forma de espiral. • Carpas, tiendas de campaña y toldos afectados. • Piezas de tejados y techos sueltas y desalojadas. Ramas quebradas. Rastro visible en cultivos. • Muebles de jardín y macetas afectados.
T1	Tornado leve 25 - 32 m s-1 (55 - 72 mi h-1)	<ul style="list-style-type: none"> • Sillas playeras, plantas pequeñas, basura pesada lanzada al aire. • Daños pequeños en cobertizos. • Daños más serios en tejas y ladrillos. • Orificios de chimeneas averiadas. Vallas de Madera achatadas. • Daños leves en arbustos y árboles. • Algunas ventanas entreabiertas por rotura de broches de cierre.

<p>T2</p>	<p>Tornado moderado 33 - 41 m s-1 (73 - 92 mi h-1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Casas móviles pesadas desplazadas. Carrocerías derribadas. • Casas de jardín destruidas. Techos de garajes arrancados y puertas implotadas. • Muchos daños en tejas y chimeneas. Tejas faltantes. • Daños generales en árboles, Algunas ramas grandes retorcidas o arrancadas, pequeños árboles arrancados. • Tapas delanteras de carros abiertas. • Muros de ladrillos viejos o débiles derribados. • Ventanas averiadas con vidrios fuera del marco.
<p>T3</p>	<p>Tornadofuerte 42 - 51 m s-1 (93 - 114 mi h-1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Casas móviles averiadas o dañadas. Carrocerías destruidas. Garajes y construcciones débiles destruidas. • Casas de techos de madera considerablemente averiadas. Algunos árboles grandes quebrados o arrancados de raíz. • Algunos residuos pesados son levantados por el aire causando daños secundarios, rompiendo ventanas e incrustando objetos. • Desechos lanzados a grandes distancias. Paredes de jardines destruidas. • Testigos reportan que los edificios quedan con sus estructuras débiles. • Lodo esparcido en los edificios.

T4	<p>Tornado severo</p> <p>52 - 61 m s-1</p> <p>(115 - 136 mi h-1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Automotores levantados. Casas móviles averiadas o destruidas. • Casas de jardín levantadas por el aire y lanzadas a grandes distancias. Techos enteros de algunas casas removidos. • Techos de madera fuerte, ladrillo o piedra completamente averiados. Ventanas salientes en techos de edificaciones destruidas. • Numerosos árboles arrancados de raíz o quebrados. Señales de tráfico dañadas o torcidas. • Algunos árboles largos arrancados de raíz y lanzados a varios metros de distancia. • Desechos lanzados a 2 Km de distancia aproximadamente, dejando un rastro evidente.
T5	<p>Tornado intenso</p> <p>62 - 72 m s-1</p> <p>(137 - 160 mi h-1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vehículos de motores pesados (4x4, camiones pesados) levantados. • Placas de pared, techos enteros, bloques de ladrillos de piso superior retirados. • Artículos dentro de las casas succionados hacia afuera, incluyendo muros partidos y muebles. • Edificios antiguos y débiles destruidos por completos. • Postes de luz quebrados.

T6	<p>Tornado moderadamente devastador</p> <p>73 - 83 m s-1 (161 - 186 mi h-1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Casas construidas con cimientos fuertes sufren daños fuertes o son totalmente destruidas. • Ladrillos, bloques, etc., son lanzados al aire y se convierten en residuos peligrosos. • Torres de red nacional son dañadas o torcidas. • Daños excepcionales o no comunes se presentan, como objetos incrustados en paredes y muros y edificaciones levantadas, que aterrizan sin daño aparente.
T7	<p>Tornado fuertemente devastador</p> <p>84 - 95 m s-1 (187 - 212 mi h-1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras de las casas totalmente destruidas. • Construcciones con estructura de acero, tipo depósitos, son averiadas o totalmente destruidas. • Locomotoras volcadas. • Crujidos producto de escombros de árboles.
T8	<p>Tornado severamente devastadores</p> <p>96 - 107 m s-1 (213 - 240 mi h-1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Carromotores lanzados a grandes distancias • Algunas unidades de fábricas con estructuras de acero presentan daños severos o están totalmente destruidas. • Acero y otros escombros pesados son esparcidos a grandes distancias. • Grandes daños en la periferia de la ruta del tornado.

T9	<p>Tornado intensamente devastador</p> <p>108 - 120 m s⁻¹</p> <p>(241 - 269 mi h⁻¹)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Muchos edificios con estructura de acero destruidos. • Locomotoras y trenes arrojados a grandes distancias. • Árboles totalmente descortezados. • La supervivencia de las personas depende de edificaciones con cuartos de seguridad por debajo del nivel del piso.
T10	<p>Supertornado</p> <p>121 - 134 m s⁻¹</p> <p>(270 - 299 mi h⁻¹)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Todas las casas de madera y edificios similares de una población son levantados por el aire y lanzados a algunas distancias. • Destrucción severa de la naturaleza dejando una línea larga sin vegetación, árboles y estructuras hechas por el hombre.

Los tornados T0, - T3 son considerados de características débiles. Los tornados de T4 a T7 son considerados fuertes. Los tornados de T8 - T11 son considerados violentos.

La escala de Torro aunque finalice en tornados T10, puede ser ampliada de acuerdo a fórmulas establecidas que implicarían mayores velocidades de vientos y daños más fuertes.

El Dr. G. Terence Meaden desarrolló la escala internacional de intensidad de tornados en 1972 para

categorizar las velocidades de vientos de los tornados. Esta escala está directamente relacionada con la escala Beaufort y es la única escala que posee bases científicas para medir las velocidades de vientos.

La escala permite que las velocidades de los vientos se determinen por diversos medios:

1. Visitando los daños del tornado en sitio para realizar análisis con poca ingeniería.
2. Obteniendo análisis de daños a nivel de ingeniería.
3. Usando radares de efecto Doppler.
4. Aplicando análisis fotogramétrico.
5. Midiendo directamente los tornados observados.

Pocos anemómetros (instrumentos para medir vientos) han sobrevivido al paso de un tornado de características débiles, por lo que pocos estudios son realizados en sitios. Además pocos observadores han podido llegar cerca con radares de efecto Doppler. Por tal razón los estudios de daños de tornados son realizados con base en estudios de no ingeniería.

La escala de TORRO es bastante precisa y exacta y, además, es de gran utilidad para la medición de velocidades de viento, sobre todo en tornados de clasificación T0, que son de baja intensidad. Esta escala es útil para realizar estudios básicos de no ingeniería para obtener mediciones precisos de daños y velocidades de vientos de tornados débiles, ya que las velocidades de los vientos son bajas. De manera contraria para la

medición de tornados de mayor envergadura o de mayor fortaleza, se hace muy difícil tener precisión por lo que en muchos casos es válido realizar clasificaciones como por ejemplo, tornados T5 - 6.

Un tornado sólo se considera T0 si pasa por objetos vulnerables y no produce daños sobre ellos (omitiendo los procesos científicos de precisión para la medición de velocidades del viento). Cuando ocurre un tornado y no se tiene claridad de los daños que ha provocado a su paso, éste no se puede clasificar. Sin embargo cuando la información de intensidad del tornado es suministrada éste se clasifica en la de mayor intensidad que esté acorde a la escala.

A los tornados de velocidad de movimiento lento se les presta más cuidado debido a que concentran mayor intensidad de daños que los tornados de movimiento rápido. En estos casos su clasificación en la escala de TORRO corresponderá a un valor más bajo del correspondiente a los daños que se observan una vez este pasa por alguna zona.

Diferencia entre huracanes y tornados

Establecer diferencias entre éstos fenómenos es en buena medida entenderlos mejor y tener claridad que son totalmente distintos, así se guarde relación entre ambos. Se ha mencionado anteriormente que un tornado puede darse con la presencia de un huracán, ya sea en la parte delantera o posterior del mismo. Lo que si no es posible es que un tornado origine un huracán. En la web de Meteoro, establecen algunas diferencias que citan a continuación:

Tabla 5. Diferencia entre huracán y tornados¹⁷

HURACÁN	TORNADO
Se originan sobre los océanos cuando la temperatura de la superficie del agua es superior a 27°C.	Se originan sobre tierra.
Se forman por lo común entre 5° y 15° de latitud.	Se forman con mayor frecuencia entre 20° y 50° de latitud Norte. Por lo general, en los Estados Unidos.
La velocidad del viento varía de 120 y 240 km/h y en ciertas ocasiones, sobrepasa los 250 km/h.	La velocidad del viento en algunos casos excede los 500 km/h.
El diámetro puede variar entre 500 a 1800 km	El diámetro promedio es de 250 m, oscilando entre los 100 metros y 1 km.
La vida de los huracanes puede oscilar desde unos pocos días a algunas semanas.	La vida de los tornados se extiende desde unos pocos minutos a algunas horas en casos muy excepcionales.
No están asociados a ningún frente.	Los tornados se producen en conexión con líneas de inestabilidad, frentes o nubes de tormentas.

¹⁷ (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, 2002)

Tornados en Barranquilla en los últimos años

En este capítulo se muestran noticias en donde se registran la presencia de tornados, alrededor de los últimos doce (12) años en el departamento del Atlántico. Este interés ha sido adelantado en parte por el Comando CACOM 3 de la Fuerza Aérea Colombiana, con base en estudios realizados por parte de John Rodríguez, Técnico Primero de esta entidad, quien ha recopilado algunos artículos noticiosos, en donde destaca no sólo este fenómeno, sino inundaciones, vendavales, entre otros. La cantidad de tornados y microtornados que se han presentado o han amenazado en los últimos años a la ciudad de Barranquilla y zonas aledañas como los municipios de Soledad y Malambo, ya se podrían considerar alarmante.

Para esta recopilación se han tomado informaciones principalmente generadas por las páginas web del diario “El Tiempo (www.eltiempo.com)”, de las cadenas de noticias de RCN y Caracol, de la Alcaldía de Barranquilla (archivos publicados), y noticias impresas en diario El Heraldillo de Barranquilla. También se consultó la web del Sigpad (Sistema Nacional para la prevención y atención

de desastres), la cual registra pocos eventos (3) en el departamento del Atlántico.

Para iniciar con la temática, se presenta a continuación un artículo premiado que fue generado por el diario “El Heraldó” que trata del aumento de tornados en Barranquilla, y en donde, se obtiene la opinión del reconocido meteorólogo Max Henríquez. El artículo es denominado **“Vendavales y tornados siembran el terror en el Atlántico”**¹⁸, y cita algunos de los tornados y microtornados más significativos registrados en los últimos años, mencionando además:

“Los habitantes del Atlántico están desconcertados y se preguntan qué está pasando con el clima del Departamento. Estadísticas del Sigpad (Sistema Nacional para la prevención y atención de desastres) muestran el aumento progresivo de estos fenómenos: en 1999 solo se presentó un vendaval en Barranquilla mientras que en 2004 hubo ocho, en 2006 otros seis, incluyendo el tornado que golpeó 24 barrios de Barranquilla, y en 2007, nueve. El que en sólo cinco meses y dos semanas de 2008 se hayan presentado cuatro fenómenos en el Atlántico prende las alarmas.

Para el meteorólogo Max Henríquez, el tornado que ocurrió en Barranquilla el 15 de septiembre de 2006 marcó un hito en la historia meteorológica del país, porque se suponía que esta zona geográfica era ajena a este tipo de fenómenos. En su momento, Henríquez también dijo que lo que sí son usuales en el Caribe son los fuertes aguaceros con características de vendaval, sobre todo entre mayo y

18 (VELÁSQUEZ & GONZÁLES, 2008)

octubre, cuando los vientos alisios se debilitan lo suficiente para permitir que los termómetros suban a 35°C y más.

“El aire seco y muy caliente sobre la ciudad se junta con aire húmedo y más fresco proveniente del mar, del río y de la ciénaga (Grande de Santa Marta). Lo que causa la formación de unas superceldas de cumulonimbus (nubes). Estas causan tormentas y vendavales, y desde hace tres años, tornados”, manifestó Henríquez”.

Este artículo destaca la formación de vendavales y tornados debido a las corrientes de aire frías y calientes que chocan, lo cual fue expresado por Max Henríquez, mencionando además la frecuencia de vendavales y tornados en el departamento del Atlántico.

En Barranquilla otras personas han realizado estudios referentes a este tema como el que ha sostenido Nelson Vásquez Castellar, observador meteorológico barranquillero, quién en su blog <http://www.elobservadorm.blogspot.com/>, comenta la formación de estos fenómenos¹⁹:

“En la ciudad de Barranquilla la gran mayoría de tornados que han hecho presencia se encuentran ubicados entre las categoría cero (F0) y uno (F1), con excepción del ocurrido el 15 de septiembre de 2006, el cual se ubica en la categoría F2. Situación que guarda relación con el tipo de tornados que se han señalado como propios del tipo de formación convectiva, característica de la región.

19 (VÁSQUEZ CASTELLAR, 2010)

En algunas ocasiones, por apresuramientos o por escepticismo, se ha exagerado en la nominación y caracterización de los fenómenos ocurridos, o por el contrario, se han subestimado los efectos que estos pueden causar en la población”.

“Urge tomar medidas ante la manifestación de los tornados como fenómenos ya propios de la ciudad y sus alrededores, su frecuente ocurrencia y su inigualable manifestación, así lo comprueban. El mayor conocimiento que se tenga de éstos en cuanto a frecuencias, tiempos de duración, lugares de manifestación, mecanismos de formación, condiciones, intensidades y formas, conllevará a un fortalecimiento en la toma de decisiones respecto a la prevención y alertas a la ciudadanía. Y además en el establecimiento de planes de fortalecimiento y reubicación de zonas expuestas a los desastres que estos fenómenos pudieran causar”.

El fragmento de este artículo destaca que los tornados de mayor frecuencia son los que se encuentran en categorías F0 y F1 de la Escala de Fujita, destacando el más fuerte presentado el 15 de septiembre del 2006, que fue considerado de categoría F2.

A continuación se destacan algunos de estos fenómenos ocurridos o que amenazaron el departamento del Atlántico, los cuales han sido registrados en algunos diarios de gran difusión en el país, esto con el fin de evidenciar la gran cantidad de tornados que se han venido presentando desde hace 10 años hasta la

fecha. Con esto se pretende concientizar al lector de las prevenciones que se deben tener ante la aparición de un tornado, debido a los efectos que pueden causar cuando se presentan.

Dentro de los artículos más destacables que evidencian la presencia de este fenómeno en el departamento del Atlántico y en un orden cronológico, se tienen:

Emergencia por lluvias en la costa²⁰ (17 de mayo de 1993)

Este artículo del diario “El Tiempo” destaca lo siguiente:

“En el acueducto de Barranquilla, un tornado chocó contra la planta número uno y sacó de raíz a varios árboles que se llevaron la línea de alta 13.8, dejando al centro y sur de la ciudad sin el servicio de agua por más de 50 minutos. De los arroyos de Barranquilla fueron recatados más de 15 vehículos. La Cárcel Municipal para Varones fue declarada una emergencia sanitaria”.

Este registro data del 17 de mayo de 1993, en donde se hace referencia a los daños que este fenómeno produjo. Se destacan entre los daños los árboles arrancados de raíz y líneas de energía desprendidas, los cuales se destacan en las escalas de FUJITA y TORRO como de categoría EF0 y T2 respectivamente.

20 (EL TIEMPO, 1993)

No tuve tiempo de nada²¹ (01 de Junio del 2001)

El diario El Tiempo en el mes de Junio destaca en uno de sus artículos lo siguiente:

“Como el zumbido de un enjambre de miles de abejas que se acercaban a su residencia, recuerda Madelaine Vizcaíno la impresión que le causó, minutos antes de que la casa quedara convertida en un promontorio de escombros, el tornado que al mediodía de ayer asoló ocho barrios del municipio de Soledad, en límites con Barranquilla.

Cuando el techo y las paredes comenzaron a crujir, y las tejas de Eternit a mecerse en el aire, cogí a mis tres hijos y me metí debajo de la cama. Sentí el estruendo de las paredes al caer, y me encomendé a Dios. Allí esperé hasta que pasó todo”.

Este artículo destaca la presencia de un tornado que afectó a una población ubicada en el municipio de Soledad, limítrofe con la ciudad de Barranquilla, en donde se destacan que tejas fueron desprendidas de edificaciones e incluso derribó algunas paredes. El artículo también destaca más daños presentados y damnificados:

“En ese mismo momento, Luis Méndez, un panadero santandereano, acababa de sacar del horno dos latas repletas de pudines.

21 (LLANOS RODADO, 2001)

Esa vaina no me dio tiempo de nada, sólo sentí un ruido ensordecedor y enseguida los adornos de la casa comenzaron a caerse. Miré al techo y no había techo. Las láminas se elevaban como si alguien desde el suelo las soplara. De pronto algo me cayó en la cabeza y perdí el conocimiento, añade Luis Méndez.

Dramas como los de Madelaine Vizcaíno y Luis Méndez los vivieron muchas familias de los barrios Villa Adela, Villa del Carmen, Villa María, Sarabanda, Ciudadela Metropolitana, Las Colinas, Renacer y Villa Katanga, epicentros de la catástrofe.

El antecedente más cercano de un fenómeno natural de estas características, en cuanto a la gravedad del desastre, data de 1985, cuando un tornado también asoló barrios en el sur de Barranquilla. 7 de Abril, al que entonces llamaban Realengo, fue uno de los más afectados”.

“Algunos planteles educativos fueron acondicionados para guarecer a las 6 mil personas que resultaron perjudicadas”.

El artículo recoge un dato de gran importancia y era que en esta zona no se presentaban fenómenos como este desde hace casi 16 años. Dejó 6 mil damnificados y destaca el hecho de casas que fueron destechadas, produciendo gran peligro al ser arrojadas varios metros desde el lugar donde eran arrancadas. Por los datos arrojados se podría categorizar este fenómeno de categoría EF1 y T2 en las escalas de Fujita y Torro, respectivamente.

Tornado amenazó Barranquilla²² (29 de Julio del 2003)

Otro artículo que se destaca es el referente a la cadena radial RCN, en donde describe la presencia de un tornado que amenazó a la ciudad de Barranquilla el 29 de Julio del 2003. El artículo presenta la siguiente información:



**Figura 11. Tornado Barranquilla Agosto 2003.
(RCN NOTICIAS, 2003)**

22 (RCN NOTICIAS, 2003)

“En medio de pronósticos de lluvias un tornado amenazó el sur occidente de Barranquilla. El cono de un tornado se observaba desde el norte de la ciudad, pero el fenómeno natural desapareció a los 20 minutos con dirección hacia el Río Magdalena”.

“Jorge Jinete, funcionario de la oficina de emergencias dijo que el cono del tornado se observó con mayor fuerza en el sector de la vía Circunvalar con carrera 38”.

El artículo como dato interesante describe la duración de la amenaza de 20 minutos y el lugar donde se evidenció su mayor peligro, que fue el sector de la carrera 38 con Circunvalar de la ciudad de Barranquilla. Es de notar que al no tocar superficie alguna, no se produjo un tornado como tal, siendo simplemente una nube tipo embudo que amenazó la zona en donde se produjo.

Fuerte tornado que afectó a Barranquilla dejó 19 personas heridas²³ (15 de Septiembre del 2006)

El siguiente artículo data del 15 de septiembre del 2006, en donde un tornado de categoría F2 azotó a la ciudad de Barranquilla, causando gran alarma en la población y daños cuantiosos. El artículo del diario El Tiempo destaca entre otros aspectos los siguientes:

23 (QUESADA FERNÁNDEZ, 2006)

“Entre las víctimas están cuatro niños que fueron alcanzados por un techo que se desprendió en una escuela. Doce barrios fueron afectados.

El aullido de ambulancias y patrullas de la policía se escuchaban permanentemente en doce barrios de la ciudad la tarde y noche de este viernes luego que un vendaval azotó el corredor de la carrera 38, de norte al centro. No se reportaron muertos, sino 19 heridos y millonarios daños materiales”.

“Cayeron dos rayos y de inmediato escuché un ‘fun-fun’. Me asomé a la puerta y vi al norte, a 100 metros de altura, como una especie de tromba marina”, dijo el periodista radial José Zuluaga, cuya casa en el barrio Ciudad Jardín sufrió destrozo del techo y un árbol arrancando de raíz destruyó la reja de protección.

EL TIEMPO hizo el recorrido de centro al norte y encontró buena parte de esos barrios erosionados: calles cerradas por árboles en el piso, casas sin techos, postes de energía y cables eléctricos en el suelo. Muchas personas lloraban por haber perdido el techo de hogares y negocios.



**Figura 12. Tornado en Barranquilla, Septiembre 2006
(VÁSQUEZ CASTELLAR, 2010)**

“El techo voló y todos mis productos, como chitos y galletas”, dijo con lágrimas en el rostro Nelly Ospina, frente a su destruido kiosco de venta de la calle Murillo, frente al Cementerio Universal.

El panorama del parque, frente al cementerio, era desolador. Prevalecía una montaña de ramas por los árboles arrancados, kioscos sin techo y un puesto de venta de chance desapareció. Más arriba, en los barrios Lucero, Recreo y Nueva Granada, era peor porque se notaban las láminas de techo tiradas en las calles y éstas cerradas, causando caos vehicular.

Igual en el norte, en Olaya, Ciudad Jardín, Mercedes Sur, Nogales, Campo Alegre, Betania, Las Terrazas y La Florida. Varios carros estaban debajo de gigantes árboles cuyas raíces alcanzan hasta dos metros de altura. Varias paredillas también estaban en el piso.

El cruce de la calle 80 B con carrera 38 parecía el de una ciudad bombardeada. Cerca de allí, la sede de la Emisora Riomar perdió el techo, se inundó y quedó fuera del aire.

Operarios de Electricaribe, Triple A, Telecom y Gases del Caribe, además de miembros del Cuerpo de Bomberos, Defensa Civil y Cruz Roja trabajaban para despejar las vías y recuperar los servicios, especialmente el eléctrico. Parte de la ciudad estaba a oscuras”.

El fragmento tomado de este artículo del diario El Tiempo destaca la gravedad de daños arrojados por el fenómeno en donde se destacan viviendas sin techo, estructuras poco cimentadas destruidas, árboles grandes arrancados de raíz, líneas eléctricas y postes de energía en el suelo y muchos damnificados. La aparición de este fenómeno fue poco usual, debido al lugar que afectó, que fue prácticamente el área metropolitana de Barranquilla al norte. Por los daños causados se pudo catalogar a este fenómeno en la escala F2 de Fujita, lo que hizo más preocupante su aparición. En la escala de Torro este tornado cabría en la categoría de T4, y se podrían afirmar que alcanzó velocidades de vientos de 110 – 130 m/h

En los registros de la web del Sigpad, se encuentra este evento y en su informe resume lo siguiente:

Tabla 6. Informe Sigpad tornado del 15 de septiembre de 2006 en Barranquilla²⁴

Fecha Ocurrencia:	15/09/2006
Número Radicado:	
Nombre Emergencia:	TORNADO EN BARRANQUILLA
Descripción:	AFECTADOS 24 BARRIOS: EL RECREO, LA PRADERA, EL SILENCIO, CAMPO ALEGRE, ZONA CACHACAL, LOS NOGALES, LAS MERCEDES, LAS DELCIAS, CIUDAD JARDIN, CENTRO Y NORTE DE BARRANQUILLA, OLAYA, LUCERO, NUEVA GRANADA, LA HACIENDA, MAKRO, MERCEDES SUR, BETANIA, LAS TERRAZAS, LA FLORIDA, EL REBOLO, LA CHINITA Y LAS PALMAS. CENTROS EDUCATIVOS: FUNDACIÓN HUMBOLDT, ESCUELA NORMAL LA HACIENDA Y COLEGIO AMERICANO. SITUACION EN EVALUACIÓN. GIRO DIRECTO AL CLOPAD PARA OPERATIVOS Y MEDIDAS DE EMERGENCIA ASÍ COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN POR VALOR DE \$100.000.000. MEDIANTE LA RESOLUCIÓN NO. 43 DEL 16 DE SEPTIEMBRE DE 2006 SE DECLARÓ LA SITUACIÓN DE CALAMIDAD PÚBLICA. APROBADAS 5000 TEJAS DE AC NO. 4; 41,050 NO. 6; 8000 NO. 8, 216,200 AMARRES Y 3,000 CABALLETES.
Lugar:	ATLÁNTICO - BARRANQUILLA - Barranquilla
Tipo Fenómeno:	TORNADO
Nivel Emergencia:	Local
Trámite:	SOLICITUD
AFECTACIONES	
HERIDOS:	36
PERSONAS:	10800
FAMILIAS:	2160
VIVIENDAS_AVERIADAS:	2160
CENTROS_EDUCATIVOS:	7

Distrito comenzó reparación por daños del tornado²⁵ (06 de Junio del 2007)

Este informe presentado el 8 de Junio del año 2007, destaca la presencia de un tornado que dejó daños en la ciudad de Barranquilla y arrojó daños en algunos barrios conocidos destacando lo siguiente:

“Haciendo uso de la urgencia manifiesta declarada mediante el decreto 0068 del 7 de junio, la Alcaldía de Barranquilla inició el proceso de contratación de obras, suministro de materiales y demás elementos o insumos que se requieran para mitigar los efectos de los daños causados por el tornado que azotó al Distrito el pasado 6 de junio, especialmente en sectores de los barrios San Isidro, Pumarejo, Los Andes, Lucero, El Carmen, Cevillar y La Victoria.

En la misma reunión, el Alcalde y la jefe de la oficina de Prevención y Atención de Desastres, Claudia González Herrera, informaron a los vecinos que resultaron damnificados por el tornado que el censo arrojó un total de 178 viviendas afectadas por los fuertes vientos y que se requieren 4.200 láminas de eternit, 320 caballetes y otros materiales. El Distrito ya tiene disponibles 3.000 láminas y se está gestionando la entrega de más materiales por parte de la oficina Nacional de Prevención y Atención de Desastres. La entrega de láminas y otros materiales a las familias damnificadas comenzará este sábado 9 de junio. Mientras

25

(ALCALDÍA DE BARRANQUILLA, 2007)

tanto, el Distrito adelanta labores de limpieza, recolección de escombros y poda de árboles derribados, en los sectores afectados por el fenómeno natural”.

Este informe destaca entre los daños principales las láminas de techos expelidas y árboles y ramas que fueron arrancadas de árboles por el tornado que afectó a la ciudad de Barranquilla. Este tornado, de acuerdo a los daños descritos presenta características de EF0 y T1 en la escala de Fujita mejorada y Torro, respectivamente.

528 familias damnificadas dejó tornado en Soledad (Atlántico)²⁶ (22 de mayo del 2008)

El artículo del diario El Tiempo abarca una noticia referida a un tornado que se produjo el día 22 de mayo del 2008 en el departamento del Atlántico, más específicamente en el municipio de Soledad. El artículo destaca entre otros aspectos los siguientes:

“El tornado se produjo tras un fuerte aguacero y afectó viviendas de los barrios La Esperanza, Juan Domínguez Romero, El Pasito, El Carnero, Pumarejo y San Antonio, en el casco viejo del municipio, reportó el Comité de Atención y Prevención de Desastres.

“Se conformó un comité técnico en el que la Gobernación y el Sena se comprometieron a evaluar las estructuras de las 413 viviendas afectadas y la reconstrucción de dos centro escolares”, contó la funcionaria y anunció que se harán brigadas médicas para evitar enfermedades.

26 (EL TIEMPO, 2008)



Figura 13. Casas destechada tras paso de tornado en Barranquilla en Mayo 22 del 2008 (RODRÍGUEZ, 2008)

Mientras tanto el alcalde Zapata manifestó que el municipio consiguió 4.000 láminas de eternit para reconstruir techos y las primeras 2.000 se entregarán desde hoy. Agregó que la Sociedad de Acueducto Alcantarillado y Aseo (Triple A) les donó 1.000 láminas más; y el gobernador, Eduardo Verano de la Rosa, se comprometió con la reconstrucción del colegio Josefa Donado, en el que reciben clases 839 estudiantes, cuatro de los cuales resultaron heridos de manera leve.

La zona afectada también la recorrió el alcalde de Barranquilla, Alejandro Char, quien con su grupo de Prevención de Desastres donó 2.000 láminas de eternit, 400 mercados y gestionaba la consecución de 500 colchones para las familias. El vendaval dejó 18 personas lesionadas levemente”

El artículo destaca los damnificados por el fenómeno, referenciando alrededor de 528 familias y dentro de los daños materiales se registran láminas de techos expelidas a metros de su ubicación. Dentro de las personas lesionadas se tuvieron unas 18 afectadas en total. Con relación a esto, este tornado se puede clasificar como EF1 T3 en las escalas de Fujita y Torro, respectivamente.

En la web de Sigpad se registró este evento, y en el informe presenta los siguientes aspectos:

Tabla 7. Informe Sigpad tornado del 22 de Mayo de 2008 en Barranquilla²⁷

Fecha Ocurrencia:	22/05/2008
Número Radicado:	
Nombre Emergencia:	TORNADO EN SOLEDAD
Descripción:	CINCO BARRIOS AFECTADOS, LOS MÁS AFECTADOS SAN ANTONIO Y EL CENTRO, JOSE DOMINGO GUERRERO, LA FLORESTA 1 Y 2 Y PUMAREJO. CENTROS EDUCATIVOS AFECTADOS: JOSEFA DONADO Y JOHN F. KENNEDY.
Lugar:	ATLÁNTICO - SOLEDAD - Soledad
Tipo Fenomeno:	TORNADO
Nivel Emergencia:	Local
Trámite:	SOLICITUD
AFECTACIONES	
HERIDOS:	18
PERSONAS:	2065
FAMILIAS:	413
VIVIENDAS_ AVERIADAS:	413
CENTROS_ EDUCATIVOS:	2

27 (SIGPAD, 2008)

Guía para reducir el impacto de un tornado²⁸ (01 de Mayo del 2010)

Este artículo resalta el compromiso de las autoridades gubernamentales del departamento del Atlántico en donde se evidencia que ante la constante presencia de los tornados se deben tomar algunas prevenciones. Algunos apartes del artículo son:

“En Barranquilla y el área Metropolitana la temperatura ha aumentado, lo que trae como consecuencia una mayor presencia de nubosidad y un incremento de las lluvias y de factores que favorecen la aparición de tornados, como los 16 que se han registrado en la ciudad en los últimos años, aunque no todos de la magnitud del que se dio el 15 de septiembre de 2006”, dijo Jhon Rodríguez, jefe de Meteorología del Cacom 3 de la Fuerza Aérea Colombiana. Jornadas pedagógicas, foros y entrega de amarres para techos en los sectores más vulnerables –que comenzaron en el barrio Siete de Abril– son las primeras medidas adoptadas por el Distrito de Barranquilla y la Corporación Andina de Fomento –CAF– con apoyo de empresas del sector privado.

El Gobierno Nacional, a través del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, también se vinculó a estas campañas pedagógicas.

28 (AGUILAR PRESTON, EL HERALDO, 2010)

Para esto en el Foro de Reducción de Riesgos ante Tornados se introdujo una guía de prevención, en donde distintos estamentos de la ciudad estuvieron reunidos, entre ellos la FAC y la Corporación Universitaria de la Costa, con docentes investigadores.

Coletazo de un tornado alarmó a los habitantes de Soledad, Atlántico²⁹ (19 de Julio del 2010)

El artículo del diario El Tiempo en su edición del 20 de Julio del 2010, señala la aparición de un tornado. Aunque no se registraron mayores daños, el artículo destaca en sus apartes lo siguiente:

“El fenómeno natural se registró ayer (19 de julio) a las 2 p.m. en el sector conocido como La Virgencita, al sur oriente de la localidad, en donde se encuentra un barrio marginal conocido como Patio Largo.

Varias láminas del techo de las bodegas de una cadena de supertiendas fueron arrancadas por el coletazo de un tornado que ayer disparó las alarmas en el municipio de Soledad, zona metropolitana de Barranquilla”.

29 (EL TIEMPO, 2010)



Figura 14. Peligro de tornado Soledad Atlántico, Julio 20 del 2010. (EL HERALDO, 2010)

El artículo señala que fue un tornado leve, pero que alcanzó a producir el desprendimiento de tejas de una bodega ubicada en Soledad. No hubo damnificados ni víctimas. De acuerdo a las características expresadas en el artículo el tornado puede ser catalogado de categoría EF0 en la escala de Fujita y de categoría T1 en la escala de Torro.

Ayer pánico en Soledad por nueva amenaza de tornado³⁰ (11 de Agosto del 2010)



**Figura 15. Peligro de tornado Soledad, Atlántico
Agosto 12 del 2010. (MOSCARELLA, 2010)**

30 (EL HERALDO, 2010)

“Por algunos minutos, el fenómeno natural, que se presentó a las 12:17 del mediodía y duró aproximadamente 30 segundos se fue diluyendo. Luego cayó un intenso aguacero acompañado de brisa fuerte. Al final salió un intenso sol.”

Esta fue una nueva amenaza que se registra en el año 2010 por la posible presencia de un tornado en el municipio de Soledad, Atlántico. En este caso el torbellino no tocó suelo, por lo que no se produjo el tornado como tal.

600 damnificados deja tornado en el suroriente de Barranquilla³¹ (22 de Agosto del 2010)

En la web de Caracol se hace referencia a la presencia de un tornado que afectó la ciudad de Barranquilla en la zona sur. El artículo de esta web destaca lo siguiente:

“Un tornado que se registró en los sectores Don Bosco II y III Etapa y Rebolo, en el suroriente de Barranquilla dejó 116 viviendas destechadas y 600 personas damnificadas.

La información la entregó el jefe de Prevención y Atención de Desastres del Distrito, Guillermo Sirtori, quien señaló que afortunadamente no hubo heridos entre la comunidad.

En los sectores Don Bosco Segunda y Tercera Etapa resultaron afectadas 75 familias que residen en 68 viviendas. Las tres bodegas de la

31 (WWW.CARACOL.COM.CO, 2010)

empresa Búfalo también resultaron afectadas. De acuerdo con el jefe de seguridad, el 40 por ciento del techo de las mismas se las llevaron los fuertes vientos.

De igual forma indicó que por las fuertes brisas, cayeron cables de redes eléctricas que ya están siendo recogidas y arregladas por cuadrillas de la empresa Electricaribe.”.



**Figura 16. Visita Alcalde Alex Char a damnificados tornado
22 de Septiembre del 2010. (FERNÁNDEZ, 2010)**

El Sigpad registró en su informe web los siguientes aspectos:

Tabla 8. Informe Sigpad tornado del 22 de Septiembre de 2010 en Barranquilla³²

Fecha Ocurrencia:	22/09/2010
Número Radicado:	
Nombre Emergencia:	TORNADO EN BARRANQUILLA
Descripción:	BARRIO RODELO, DON BOSCO 2 Y 3 SAN FELIPE, NUEVO COLOMBIA Y COLEGIO FÉ Y ALEGRÍA. REPORTE DE LA DEFENSA CIVIL.
Lugar:	ATLÁNTICO - BARRANQUILLA - Barranquilla
Tipo Fenomeno:	TORNADO
Nivel Emergencia:	Local
Trámite:	INFORMACIÓN
AFECTACIONES	
PERSONAS:	580
FAMILIAS:	116
VIVIENDAS_ DESTRUIDAS:	2
VIVIENDAS_ AVERIADAS:	114

Según el informe de daños del artículo y Sigpad, se puede decir que este tornado tiene características de EF1 y T2 en las escalas de Fujita y Torro, respectivamente.

32 (SIGPAD, 2008)

Tornado en Barranquilla³³ **(25 de Octubre del 2010)**

En un vídeo publicado por el diario El Espectador, en su edición web del 25 de Octubre del 2010, afirma que: “en un vídeo mostrado por un aficionado se observa la formación del cono de un tornado en donde se dimensiona la fuerza y velocidad del viento.

El tornado según testigos duró aproximadamente 10 minutos y luego se desintegró sin causar daños.

Las autoridades pidieron a los habitantes asegurar los techos de sus viviendas para evitar emergencias.”



Figura 17. Tornado Barranquilla, octubre del 2010.
(EL ESPECTADOR, 2010)

33 (EL ESPECTADOR, 2010)

El video muestra la formación del cono del tornado, pero este no llega a tocar superficie alguna, por lo que se puede denotar como una amenaza de este fenómeno meteorológico.

Una recopilación de todo los artículos indicando algunos datos importantes de los tornados se presentan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 9. Noticias de tornados presentados en el departamento del Atlántico.

TORNADOS Y AMENAZAS DE TORNADOS EN DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO					
HERIDOS Y DAMNIFICADOS REPORTADOS	MUERTES REPORTADAS	DAÑOS MATERIALES	ESCALA DE TORNADO		LUGAR Y FECHA
			FUJITA	TORRO	
No hay registro	No hay datos	Árboles arrancados de raíz, daños de fluido eléctrico, edificaciones averiadas	EF0	T2	Barranquilla (Mayo) (EL TIEMPO, 1993)
6 mil damnificados	No hay datos	Viviendas afectadas, techos expulsados	EF1	T2	Soledad (Junio) (LLANOS RODADO, 2001)

TORNADOS Y AMENAZAS DE TORNADOS EN DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO

HERIDOS Y DAMNIFICADOS REPORTADOS	MUERTES REPORTADAS	DAÑOS MATERIALES	ESCALA DE TORNADO		LUGAR Y FECHA
			FUJITA	TORRO	
No hay registro	No hay datos	Amenaza de tornado	NA	NA	Barranquilla (RCN NOTICIAS, 2003)
19 Heridos	No hay datos	Casas sin techos, árboles arrancados de raíz, casas de poca cimentación expedidas, millonarios daños.	EF2	T4	Barranquilla (Septiembre 16) (QUESADA FERNÁNDEZ, 2006)
12 heridos	No hay datos	158 edificaciones destechadas			Barranquilla (Junio) (ESTRADA, 2007)

TORNADOS Y AMENAZAS DE TORNADOS EN DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO

HERIDOS Y DAMNIFICADOS REPORTADOS	MUERTES REPORTADAS	DAÑOS MATERIALES	ESCALA DE TORNADO		LUGAR Y FECHA
			FUJITA	TORRO	
18 heridos, 528 damnificados.	No hay datos	413 viviendas afectadas, techos expelidos, árboles arrancados de raíz, muros derrumbados, millonarios daños.	EFO	T1	Soledad (Mayo) (EL TIEMPO, 2008)
16 heridos	No hay datos	200 casas destechadas, árboles arrancados de raíz, autos volcados, redes eléctricas en el piso, postes de energía caídos	EF1	T3	Soledad (Agosto) (MANCERA, 2008)
No hay Registro Coletazo de tornado	No hay datos	Láminas de techos expelidas	NA	NA	Soledad (julio 20) (EL TIEMPO, 2010)

TORNADOS Y AMENAZAS DE TORNADOS EN DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO					
HERIDOS Y DAMNIFICADOS REPORTADOS	MUERTES REPORTADAS	DAÑOS MATERIALES	ESCALA DE TORNADO		LUGAR Y FECHA
			FUJITA	TORRO	
No hay Registro	No hay datos	Amenaza de tornado	NA	NA	Soledad (agosto 12) (EL HERALDO, 2010)
600 damnificados	No hay datos	116 casas destechadas. Líneas eléctricas caídas	EF1	T2	Barranquilla (septiembre 22) (EL HERALDO, 2010)
No hay REGISTROS	No hay datos	Amenaza de tornado	NA	NA	Barranquilla (octubre) (EL ESPECTADOR, 2010)

Analizando esta tabla se puede determinar que los meses de Mayo a Octubre son los más afectados por los tornados, no siendo ésta una tendencia que sea continua. Incluso en estos meses no se presentan las ráfagas de vientos de mayor velocidad, ya que en estudios de medición de velocidades de vientos realizados por el

Comando Aéreo de Combate N°3 Barranquilla de la Fuerza Aérea Colombiana de los últimos 10 años se puede determinar que los meses de Enero a Abril son los que presentan picos de velocidades de vientos altos.

Tecnologías Implementadas en Estudio y Análisis de Tornados

El estudio de los tornados sigue siendo bastante complejo en la actualidad, puesto que muchas de las tecnologías que se usan para la recolección de información ameritan la presencia de un tornado, y además deben estar bastante cercanas a este fenómeno. Los avances más importantes conocidos se obtienen a través de proyectos como el Vortex que ya ha pasado una segunda fase conocida como “VORTEX 2”. La tecnología que utilizan para su estudio es bastante desconocida en la actualidad, se conocen sus grandes equipamientos de vehículos con acoples de radares que operan bajo principios como el del efecto Doppler. Existen otras tecnologías que se usan para la prevención y alerta temprana ante la presencia de un tornado que permiten dar a la población vulnerable un espacio de tiempo prudencial para poder albergarse o tomar las medidas necesarias que mitiguen los daños y ayude a proteger las vidas de las personas que se pueden ver afectadas por el paso de este fenómeno meteorológico. Otras tecnologías que se conocen se

encargan de realizar simulaciones del fenómeno que permitan, en dado caso, recrear a cierta escala el fenómeno y puedan predecir ciertos comportamientos de un tornado. Algunas son usadas simplemente para educar y entender de una mejor manera el fenómeno meteorológico.

Tecnologías de recolección de información

Dentro de las que más se destacan se encuentra la misión Vortex 2, que es la que más información aporta para el estudio de este fenómeno, y hace referencia a los famosos “cazatornados”. La NOAA es una de las entidades que más apoya este tipo de misiones.

Misión VORTEX 2

El estudio de tornados se ha venido incrementado en el mundo, y esto debido a las mayores frecuencias de aparición de los mismos, como ya antes se ha mencionado. Son muchos los avances tecnológicos que se han logrado obtener en los últimos años. En filmes de cine es recordada la famosa cinta “TWISTER” en donde un grupo de intrépidos investigadores trataban de obtener datos de tornados, introduciéndose en el centro de éstos. Actualmente existe una investigación que se ha denominado “VORTEX 2”, en donde esta película no está lejos de la realidad. Para entendimiento de este proyecto, se destaca el siguiente artículo alojado en la web www.publico.es, el cual explica las finalidades y alcances propuestos en esta investigación. Algunos fragmentos que se destacan del artículo se enuncian a continuación:

- *Cazadores de tornados*³⁴

Un ejército de 100 científicos a bordo de 40 vehículos recorre las grandes llanuras de EEUU persiguiendo a estos fenómenos esquivos y destructores.

La temporada de tornados ha comenzado en las grandes llanuras de Estados Unidos. Hace unas semanas se abrió la veda y más de un centenar de científicos de una docena de universidades se han echado literalmente a la carretera para cazar a uno de los fenómenos meteorológicos más destructivos a la par que desconocidos de la Tierra. Montados en una flota de 40 vehículos con la tecnología más avanzada, recorren un trayecto de 1.500 kilómetros a la caza de uno.

La misión [VORTEX 2](#) (siglas en inglés de Experimento de Verificación del Origen de la Rotación en Tornados) se puso en marcha el pasado 1° de mayo y recorre hasta el 15 de junio las planicies desde Texas, al sur, hasta Minnesota, al norte. Los estados que hay entremedias y los limítrofes, como Nuevo México y Colorado, al oeste; Misuri y Iowa, al este, y Oklahoma, Kansas, Nebraska y Dakota del Sur, en el corredor central, forman el llamado *callejón de los tornados*.

34 (NOAA, 2010)



Figura 18. Misión Vortex 2. (NOAA, 2009)

Estos diez estados están en mal sitio. Forman un gigantesco valle entre las cordilleras de las Montañas Rocosas, al oeste, y los Apalaches, al este, y sobre sus cielos chocan las corrientes de aire que vienen de Canadá y las zonas polares con las que suben desde el tórrido golfo de México: aire frío contra caliente, la explosiva mezcla de la meteorología. La primavera y el verano son las estaciones de mayor diferencia de temperatura, convirtiendo a la zona en la de mayor concentración de grandes tornados del mundo.

Es una ofensiva en toda regla. Por la mañana, los científicos analizan la información y diseñan un plan. En su versión resumida, se trata de rodear al tornado y obligarlo a revelar todos sus secretos. Para ello, VORTEX2 cuenta

con todo un arsenal, a bordo de la flotilla de coches, todoterrenos y camiones.

Desde un vehículo convertido en comando central de operaciones, lanzan el ataque. Una avanzadilla clava en el terreno centenares de estaciones meteorológicas, sondas y cámaras. Tras la infantería, una treintena de vehículos se acerca lo más posible a la tormenta. Llevan a bordo instrumental para medir datos como la temperatura, humedad, presión, velocidad o dirección del viento, e incluso detalles tan pequeños como el grosor de las gotas de lluvia.

Una decena de radares móviles a lomos de otros tantos camiones forman la división acorazada de esta cacería. Rastrear los vientos y las lluvias con un detalle no conseguido hasta ahora. Los radares operan en distintas bandas (C, Ka, X o W) para cubrir la mayor cantidad de longitudes de onda posibles. Estos radares ofrecen una resolución de hasta 30 metros, actualizada cada diez segundos. La estrella de estos acorazados es el *Rapid-Scan DOW*, un radar Doppler que envía seis haces de rayos de forma simultánea. Con su rebote sobre el fenómeno, los científicos pueden crear casi en tiempo real una imagen tridimensional del tornado.

Este tipo de radares aprovecha un efecto de distorsión conocido como Doppler. De la misma manera que el tono de un sonido emitido por un objeto en movimiento se hace más o menos agudo según se acerque o aleje del que lo escucha, las ondas emitidas por un radar cambian de frecuencia al pasar por un tornado. Las variaciones registradas permiten estudiar elementos de su estructura como su radio, altitud desde el suelo hasta la nube de la

que parece colgar, la velocidad de movimiento del viento, o la de su desplazamiento sobre el terreno. Detalles que, sin el concurso de esta tecnología, no se pueden conocer o no se vive para contarlos.

El ejército de VORTEX2 aún no se ha topado con ninguno en el mes que lleva recorriendo las grandes llanuras de EEUU. Le quedan aún 10 días para cazarlo. Con la información que obtenga, espera desentrañar los secretos de este fenómeno y, a medio plazo, mejorar los sistemas de alerta de tornados. A pesar de que la red de voluntarios SkyWarn tiene 250.000 cazadores de tornados, la administración sólo es capaz de avisar 13 minutos antes de que golpeen y, para desazón de la población, en el 70% de los casos acaban en falsas alarmas.

Como se analiza en este artículo, en aproximadamente tres años se verán avances de la información que se recolectó en este proyecto, y a lo mejor en un futuro se cuente con herramientas y tecnología que permitan mejorar como enfrentar un fenómeno meteorológico que puede llegar a ser catastrófico, como lo es un tornado. También poder determinar su dirección y predecirlo con bastante antelación a su formación.

Sistemas de mediciones de variables ambientales y meteorológicas

Desde tiempos anteriores se han estado tratando de implementar dispositivos que puedan ser ubicados en sitios y midan algunas variables que se presentan en el momento que aparece un tornado. La NOAA y algunas empresas externas han presentado algunos desarrollos, y dentro de los más relevantes se tienen:

*Totable Tornado Observatorio (TOTO)*³⁵



Figura 19. Dispositivo para medición de variables meteorológicas ante un tornado - TOTO. (NOAA, 2010)

35 (www.spc.noaa.gov, 2001)

Consiste en un dispositivo que implicaba la conformación de una pequeña estación meteorológica que implementaba varios dispositivos que medían variables meteorológicas como velocidad del viento, humedad y presión atmosférica.

Para su ubicación se debía tener un espacio libre disponible y la zona debía estar libre de la posible llegada de un posible escombros que pudiera caer.

Este dispositivo poseía un centro de gravedad pesado, pero muchas veces era derribado por el paso de un tornado. Fue deshabilitado en 1987 debido a su poca efectividad.

Este dispositivo fue desarrollado por el Dr. Al Bedard. A día de hoy se encuentra en un museo, debido a que por parte de la NOAA nunca pudo ser implementado. (NOAA, 2006)

Dillo-Cam36

Este dispositivo fue creado por Charles Edwards y Casey Crosby, estudiantes de meteorología de la Universidad de Oklahoma, y su nombre proviene de la semejanza con un armadillo de la estructura del dispositivo.

Este dispositivo está formado por una cámara que posee un revestimiento en fibra de vidrio y que posee un peso de 70 libras a través de plomo.

Este equipo fue utilizado en 1997 en un tornado, pero no pudo trabajar exitosamente, debido a que el lente de la cámara se ensució de barro. El sonido si pudo ser reproducido después del paso del tornado.

36 (The Tornado Project, 2001)

Sonda en Sitio HITPR

En cuanto a la medición de variables ambientales y meteorológicas que se presentan y varían ante la presencia de un tornado existen algunas herramientas usadas como método para obtener información ante la presencia de un tornado como lo son las llamadas sondas en situ o sombrero chino por su particular diseño, que se asemeja a este particular tipo de sombreros. Éstas pueden calcular la presión atmosférica al paso de un tornado, y han tenido gran efectividad, soportando velocidades alrededor de los 80 Km/h. Al igual que en la ya mencionada película “Twister”, estas sondas son dejadas en una zona de posible paso de un tornado, midiendo actividad en el interior del fenómeno meteorológico. Diseñadas por Timothy M. Samaras y varios de sus colegas de la empresa ARA Inc., han tenido éxitos al paso de algunos tornados, tomando medidas destacadas de presión atmosféricas, antes jamás tenidas. (RAM, 2010).



Figura 20. Sonda para medir presión atmosférica en interior de tornados - HITPR. (RAM, 2010)

Estas sondas pueden guardar información de temperatura y humedad en el centro del tornado por espacio de dos horas. Luego de este tiempo entra en un estado de hibernación hasta que es recuperada y la información es descargada³⁷.

Sensores y alertas ante la aparición de tornados

Existen actualmente sistemas de alertas tempranas ante la presencia de un tornado. Los más sofisticados están basados en radares de efecto Doppler. Como se explicaba el artículo de la misión Vortex 2, estos radares basan su funcionamiento en ondas que se emiten de este radar y al chocar con el tornado cambian sus frecuencias y permiten determinar algunas variables del fenómeno meteorológico. Este fenómeno se basa en objetos en movimiento a los cuales se les emite una frecuencia y ésta cambia al rebotar sobre éstos. En este caso el objeto es un tornado. (TECNORADAR.ES, 2002).

Radares de efecto Doppler

Estos radares con fines meteorológicos y para alertas contra tornados no existen en Colombia, pero se piensa implementar uno en el departamento de Antioquia. Este es un radar que se usará con fines meteorológicos y será construido e instalado por la firma norteamericana Enterprise Electronics Corporation, la cual se encarga de este tipo de temáticas y equipos. En los siguientes fragmentos del artículo alojado en la web del diario El Tiempo, se hace referencia a esta noticia:

37 (SAMARAS, LEE, & APPLIED RESEARCH ASSOCIATES, 2003)



Imagen 21. Radar Doppler Illinois – USA, similar al que se instalará en Medellín. (NOAA, 2007)

Este sistema, que fue presentado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), será diseñado, construido e instalado por la firma norteamericana Enterprise Electronics Corporation, especialista en el tema. De acuerdo con Alejandro González, subdirector ambiental del AMVA, la alta tecnología de este radar permite pronosticar eventos hidro-meteorológicos con tiempo suficiente para lograr evacuar a las personas que estén en las áreas más vulnerables.

Éste será instalado en el corregimiento de Santa Elena, donde ya se hicieron los estudios geográficos necesarios, y funcionará de manera remota, mediante la emisión y recepción de señales electromagnéticas que rebotan en las gotas de lluvia. El director del Simpad, Camilo Zapata, señaló que esta herramienta fortalecerá el Sistema de Alerta Temprana (Siata) que opera hace varios años, ya que arrojará datos más precisos que, comparados con la información que se tiene gracias a otros equipos, podrán generar alertas de situaciones climáticas.

Casos de éxito: Todos los países desarrollados en el mundo cuentan con monitoreo constante meteorológico mediante el uso de radares de este tipo. El mejor ejemplo Estados Unidos, que tiene una cobertura total de su territorio con más de 45 radares «Doppler» como herramienta fundamental para la generación de alertas por tornados, tormentas severas y huracanes”.

En el departamento del Atlántico se ha presentado una propuesta similar pero enfocada con fines de determinar la cantidad de lluvia y así tener prevención en cuanto a los arroyos de la ciudad³⁹.

Cuando se hablan de alertas y prevención de poblaciones también existen detectores de tornados, basados en radares de efecto Doppler, los cuales generan una pequeña alarma que dependiendo de la velocidad del tornado puede alertar 5 minutos antes de la presencia de este fenómeno meteorológico, dando a las personas un tiempo prudencial para poder refugiarse o adoptar las

39 (EL HERALDO, 2011)

medidas que se deban tomar ante la presencia de dicho fenómeno.

Un ejemplo de este es el radar del fabricante O'Conner, el cual puede ser instalado en zonas rurales y posee alimentación con celdas solares, con su backup de baterías. (O'CONNER, 2002).

Este sistema es práctico y económico, y es de gran ayuda para pueblos o zonas rurales. Aunque no es tan sofisticado como otros más costosos puede ser una herramienta de apoyo para las comunidades.



Figura 22. Detector de Tornado O'Conner. (O'CONNER, 2002)

Otros sistemas de Alertas.

Detectores similares se han desarrollado, pero basándose en vibraciones terrestres, esto teniendo en cuenta las versiones de personas que han sido azotadas por un tornado, las cuáles han manifestado que la tierra se mueve en cercanías de este fenómeno. En Massachusetts Institute of Technology, investigadores corroboraron esta teoría y desarrollaron un sistema de alerta temprana que es considerado bastante económico, y bastante pequeño. Éste está basado en un sensor que va al aire libre, el cual al detectar un movimiento o vibración terrestre emite una señal a la población o edificación que se pueda ver afectada. (VITTON, 1997)

Organizaciones como NOAA “National Predict Services”, cuentan con un centro de predicción de tormentas (Storm Prediction Center), el cual vigila el territorio estadounidense y ofrece servicios como predicción meteorológica a través de mapas aéreos, gráficas de mesoanálisis, entre otras; también ofrece sondeo de la nación, monitoreando algunas variables atmosféricas y meteorológicas, reportando alertas de tormentas, gráficas de radares. Esta empresa es el equivalente, guardando las proporciones, del Ideam en Colombia. También ofrece un servicio a través de radio, avisando alertas importantes ante la aparición de cualquier fenómeno atmosférico o meteorológico.

Otros avances tecnológicos con relación a los tornados y a la detección de los mismos se dan por medio de sensores de ultrasonidos. El principio en el que se basan para realizar las detecciones bajo este fenómeno es el que

algunos fenómenos meteorológicos producen sonidos no audibles para el ser humano, pero que si podrían ser captados por equipos diseñados para su detección. Estaríamos hablando de infrasonidos, los cuales, según estudios, se presentan en tornados, y podrían ofrecer mejoras y aportes en la detección de tornados. En la web de Meteored en su artículo “Infrasonidos naturales y fenómenos atmosféricos severos: los tornados silbadores”, destaca (RAM, 2008):

“He aquí cómo una red adecuada de infrasonidos puede mejorar la alerta sobre detección temprana de un tornado (tomado de la página del ETL):

- Puede detectar un vórtice allí donde la señal convencional radar no llega (grandes distancias, obstáculos, apantallamientos, etc.).
- Detección continua en el tiempo frente a los 5 o 10 min., de tiempo de exploración de los radares meteorológicos.
- Suministrar información de una resolución más baja que las proporcionadas por los radares: detección de vórtices de diámetro muy pequeño.
- Suministra información vertical de los vórtices sin límites como los que posee el radar meteorológico.
- Sus datos se pueden usar para optimizar las exploraciones de un radar allí donde se detecta por infrasonidos.
- Suministrar información sobre el núcleo principal del vórtice.”

Los estudios en materia de infrasonido son realizados por la NOAA, en donde el diario El País de España en su artículo “Alerta de volcanes y tornados por infrasonido” destaca (EL PAIS, 2003):

“Los tornados y otros vórtices pueden generar infrasonidos de distintas formas, desde inestabilidades del fluido en torno al núcleo hasta vibraciones de los vórtices”, explicó Alfred J. Bedard, de la NOAA (Agencia Nacional Oceánica y Atmosférica).

Este especialista presentó varios estudios y casos reales que muestran cómo determinados rasgos de las tormentas, observables en infrasonidos, indican que se formarán tornados, por lo que este sistema de vigilancia puede ayudar en la predicción”.

Sistemas de simulación de Tornados.

Otra forma que se ha experimentado en el estudio de los tornados es a través de “simuladores de tornados”, los cuales a pequeña escala generan el fenómeno meteorológico, del cual se puede estudiar su formación e incluso los estragos que podría producir. Éstos existen en una gran variedad, pues los hay desde decorativos, hasta algunos con fines científicos para prevención de desastres y toma de medidas de seguridad por parte de las personas que se puedan ver afectadas. En el capítulo 4 se presentan una gran variedad de los mismos.

Simulador de Tornados en la Fuerza Aérea Colombiana – Cacom 3

El Comando Aéreo de Combate No. 3 Barranquilla de la FAC es consciente de los enigmas y problemas que se presentan ante la aparición de un tornado, por lo que inicialmente ha manifestado el interés de empezar un estudio para tratar de entender de una mejor manera cómo se produce este fenómeno meteorológico y realizar una campaña de concientización en las personas que habitan las zonas que se ven afectadas por esta amenaza, de la cual el denominado “corredor de Soledad” hace parte activa, quedando en cercanías de la ubicación del comando.

Para tratar la temática de los tornados y basados en estudios ya existentes, el comando ha tomado la iniciativa de estudiar la viabilidad de construir un simulador de tornados que pueda ser implementado como una herramienta de apoyo educativo y que en un futuro permita obtener desarrollos para interpretar mejor el fenómeno meteorológico.

Las simulaciones como modelos de enseñanza y aprendizaje son muy usadas, incluso desde antes del uso de las computadoras se hablaba de simulaciones. Las simulaciones se podrían clasificar en 4 tipos, que son:

- Simuladores físicos
- Simuladores procedimentales
- Simuladores situacionales
- Simuladores de procesos

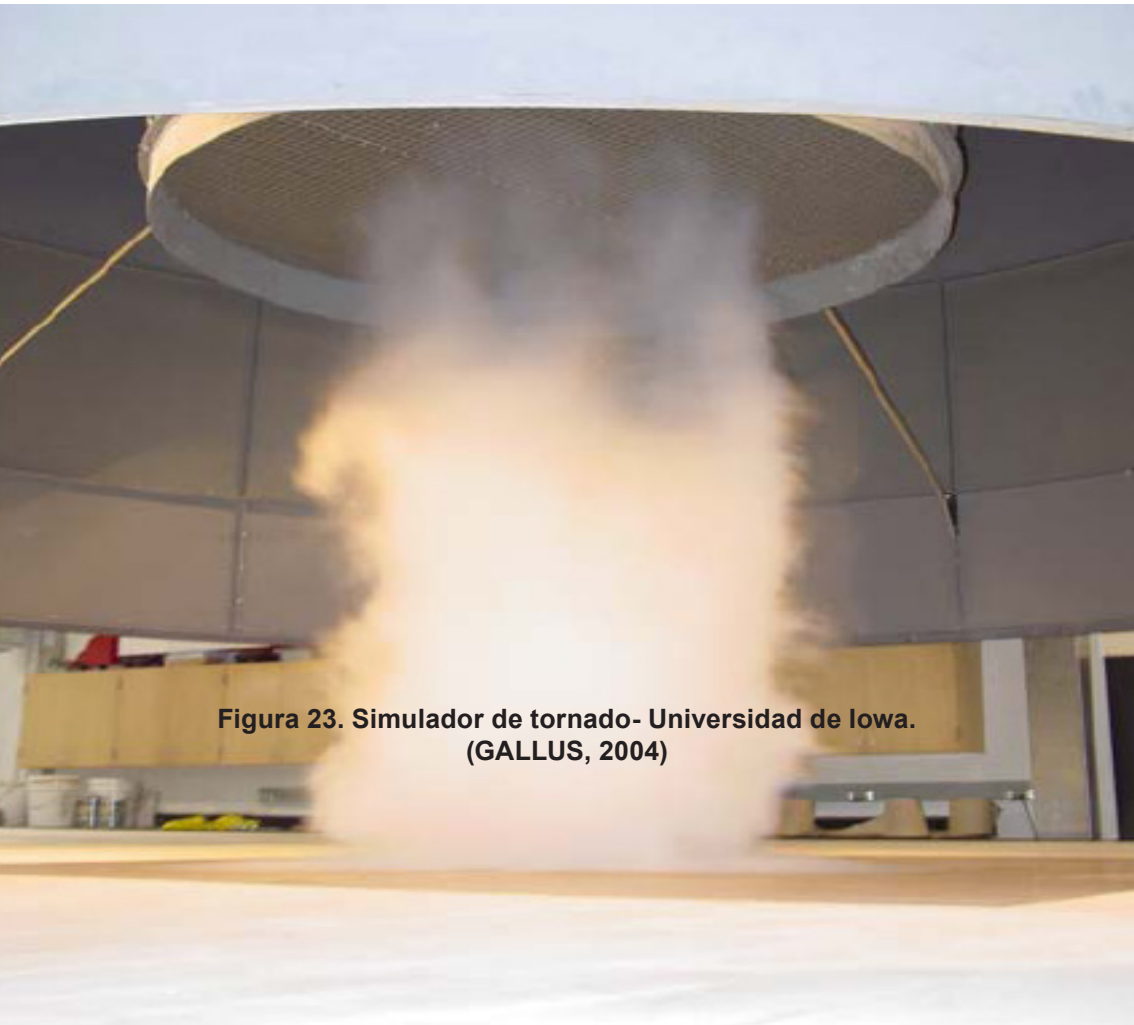
En los simuladores físicos un fenómeno es simulado y el estudiante puede aprender de él, reforzando conocimientos teóricos y confrontando con una experiencia práctica⁴⁰.

Para el caso del comando CACOM 3 de la FAC y los simuladores de tornados, se ha considerado prudente entrar en análisis de las distintas opciones a seguir dentro de este campo, revisando los avances que se tienen en este tipo de dispositivos y los desarrollos que pueden ser tomados como modelos de un diseño, y empezar así una fase posterior de implementación de un prototipo que sea el inicio de un mecanismo que permita educar una población e iniciar estudios básicos de los tornados. A continuación se destacan los diseños más relevantes, algunos de bastante connotación científica, otros menos complejos, pero que explican el fenómeno, y algunos que aunque no tengan carácter educativo, pueden llegar a ser mejorados y poder ser utilizados para tales fines.

40 (VAQUERO LÓPEZ & GONZÁLEZ SANTOS, 2010)

Simulador de tornados Universidad de Iowa

Como se ha mencionado antes, los Estados Unidos son fuertemente afectados por los tornados en muchos de sus estados. Iowa es uno de los estados en donde se presentan tornados frecuentemente, por lo que la Universidad de Iowa, ha adelantado estudios a través de la implementación de simuladores de tornados, teniendo uno de los más especializados y analizando velocidades de vientos y pronosticando posibles daños que pueden ocurrir en una población.



**Figura 23. Simulador de tornado- Universidad de Iowa.
(GALLUS, 2004)**

Para esto la Universidad construyó un simulador de bastante uso científico, el cual a escala genera el fenómeno y muestra cómo afecta a una pequeña población representada en una maqueta. Su idea es basada en el estudio realizado por el proyecto VORTEX. (MYERS, 2004)

La inversión en este proyecto es bastante costosa, por lo que para CACOM 3, se hace en este momento poco viable, pero podría ser una meta a mediano o largo plazo a desarrollar, empezando con diseños un poco más simples.

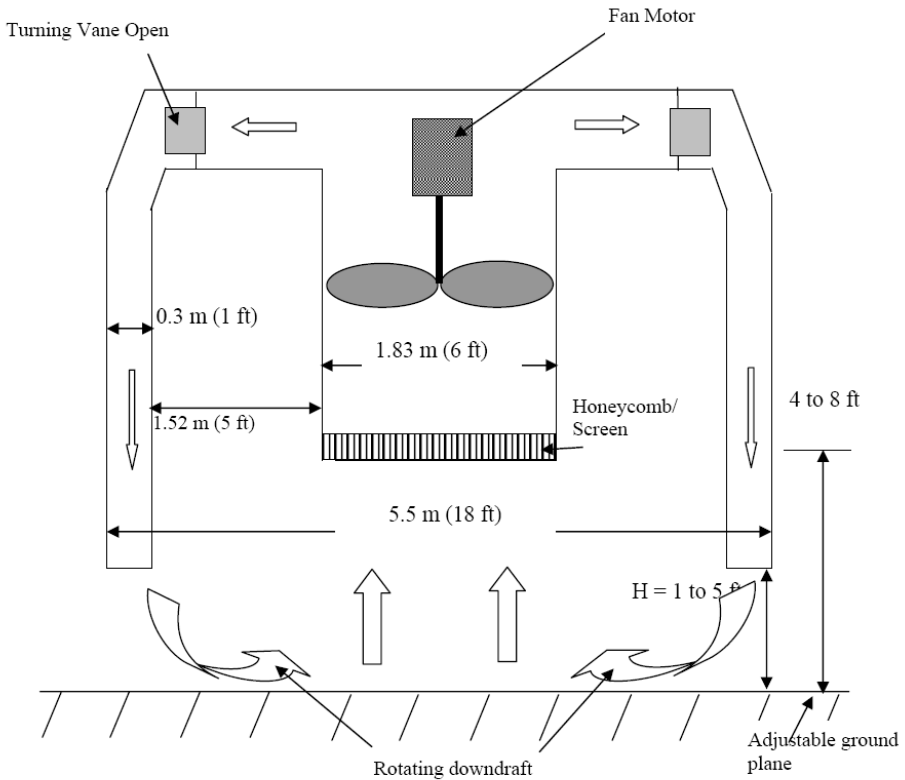


Figura 24. Esquemático de simulador de tornado Universidad de Iowa (GALLUS, 2004).

Este simulador tiene como aspecto destacado que además de estar basado en túneles de viento, puede moverse y las velocidades de vientos son bastante apreciables. También tiene la posibilidad de producir ráfagas de vientos. La altura del simulador también es ajustable, y se puede variar con relación al piso, cambiando la base del tornado que se simula. Con este simulador se pretende estudiar mejor lo ocurrido en el vórtice del tornado y la interacción con las estructuras y daños que se producen a su paso. Además, ofrece una relación de escala 1:4,5, ofreciendo resultados similares a los registrados por radares de efecto Doppler utilizados por los cazatormentas. (GALLUS, 2004).

Simulador de tornados Túnel de viento de la Nasa

Otro simulador de tornados de corte científico es el que se implementó en la NASA para realizar estudios de los denominados “Dust Devil” (Demonios de polvo, explicados en el capítulo 1). Este simulador genera este fenómeno con base en datos obtenidos por las sondas espaciales, y cuyo principio de formación es similar a los producidos en la tierra. En el dispositivo utilizan un túnel de viento, por el cual circula aire a velocidades de 11 m/s aproximadamente y que no son generadas por un ventilador, sino por inyección de aire a alta presión.

El efecto de inyectar aire de alta presión a través del túnel de viento simula mejor el proceso, debido a que con un ventilador se requeriría de alta velocidad para poder generar las velocidades necesarias.

El Dust Devils se genera añadiendo arena carbonada roja y silicio a una superficie con hielo, al producirse el tornado y arrastrar este material hacia el túnel, se genera el fenómeno.



Figura 25. Simulador de tornado de la NASA. (BLUCK, 2005)

Este dispositivo también es usado por la Universidad de Arizona para generar Dust Devils que se generan en la superficie de la tierra y compararlos con los de la superficie marciana. (BLUCK, 2005)

Este dispositivo, también requeriría de gran inversión, debido a lo sofisticado, y resalta el uso de túneles de vientos, con aire inyectado, como novedad.

Simulador de tornados de Harald E. Edens

Existen otros simuladores más sencillos de realizar y educativos. Serían un primer paso para entender el fenómeno antes de avanzar en situaciones de mayor complicación y que exigen mayor inversión económica. De este tipo de simuladores han desarrollados algunos como el propuesto por Harald E. Edens, el cual es para cuartos. Dicho simulador se basa en los principios de formación que se conocen de un tornado, que son generar una zona de baja presión para que el aire caliente suba y baje el aire frío. Se usa un generador que mueve un ventilador, esto con el fin de crear el efecto Coriolis (en un tornado real el efecto Coriolis crea la rotación del viento).

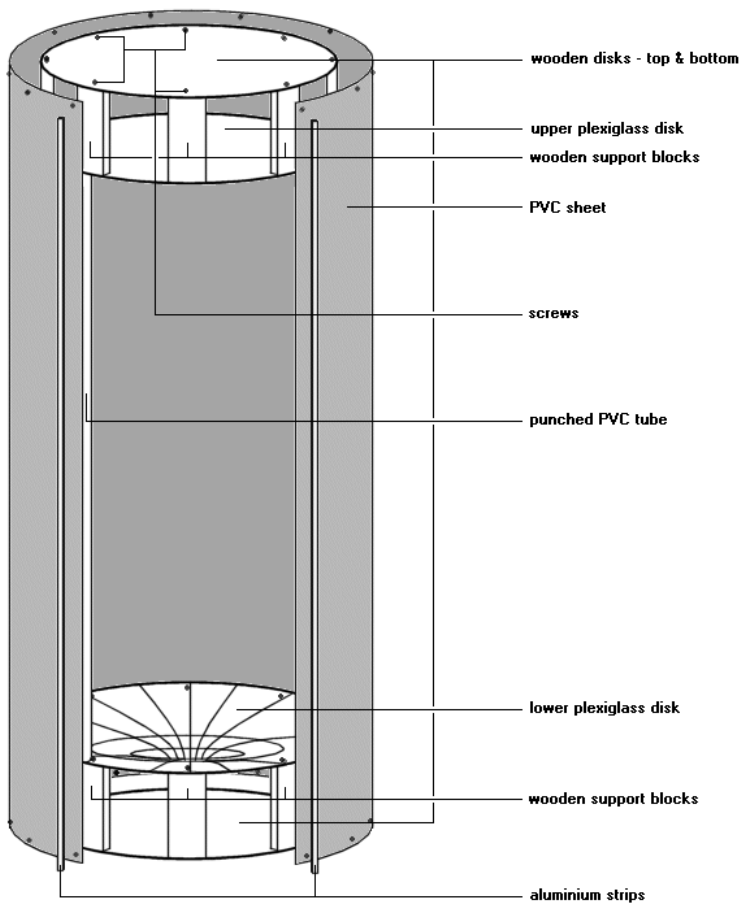


Figura 26. Diseño de simulador de tornado para un cuarto y de uso educativo propuesto por Harald E. Edens⁴¹

Se utiliza el sistema de ventilación en la parte superior para llevar también el aire a una tubería que puede ser

41 (EDENS E., 2001)

diseñada en PVC (si se desea), para que el aire frío se traslade al interior, esto con el fin de crear una baja presión atmosférica.

Básicamente los materiales relevantes que requiere son tubos de PVC porque son fáciles de trabajar, se podría pensar en un material distinto), un ventilador que pueda generar una rotación similar a la de una aspiradora, un control de velocidad para el ventilador y la fuente de alimentación, que va a depender del diseño final del dispositivo.

Una imagen del dispositivo desarrollado por Harald Edens es la que se muestra a continuación:



Figura 27. Simulador de tornado para un cuarto y de uso educativo propuesto por Harald E. Edens. (EDENS E., 2001)

Este dispositivo se acerca más a las necesidades actuales de CACOM 3 y puede ser el punto de inicio para la construcción del simulador que se requiere inicialmente, pues con base en el principio de formación de tornados del capítulo 1, simula un tornado. Las implicaciones económicas no serían de gran envergadura, por lo que sería viable en este aspecto.

Otros simuladores de tornados

A partir del modelo de Harald Edens se han creado otros similares, que a lo mejor no son usados para estudios científicos, pero pueden dar luces para una propuesta de diseño a desarrollar, por lo que se abordarán y se mostrarán sólo con este fin.

Uno de estos es el propuesto en la Universidad Autónoma de México (UNAM), en donde se realiza un estudio previo del fenómeno del tornado y se utiliza un “humidificador” como principal novedad, para que se pueda apreciar el pequeño tornado que se genera dentro del dispositivo.

El principio de funcionamiento es el mismo que el analizado en el simulador de Harald Edens, que se basa en un ventilador que opera con un variador de velocidad y mangueras agujereadas para redistribuir el aire al interior. Este dispositivo estudia teorías de cambios de velocidad en el tornado para apreciar fenómenos de turbulencia relacionadas con el flujo laminar y el flujo turbulento.

Un esquema que ilustraría el dispositivo descrito anteriormente utilizando el humidificador se aprecia a continuación:

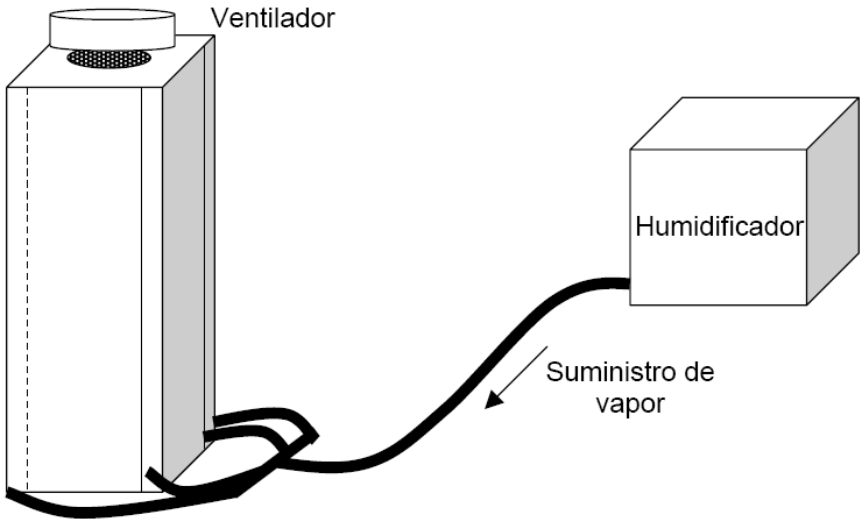


Figura 28. Esquema de simulador de tornado desarrollado en la Universidad UNAM⁴²

Como se aprecia en el esquema anterior, otra novedad en el dispositivo es el hecho de que posee el ventilador en la parte superior y además es totalmente cerrado.

Una imagen del dispositivo funcionando se ilustra a continuación, por lo que se puede analizar que es muy similar al mostrado anteriormente de Harald Edens.

42 (UNAM, 2007)



Figura 29. Simulador de tornado desarrollado en la Universidad UNAM⁴³

43 (UNAM, 2007)

Existen otros simuladores de tornados que aunque poseen una complejidad tienen usos y aplicaciones distintas, como el encontrado en el aeropuerto de San Francisco en los Estados Unidos, que genera un tornado y es observado por las personas que esperan su vuelo. Es muy ilustrativo y tiene un tamaño de 2 metros aproximadamente. Una imagen de este simulador es la siguiente:



Figura 30. Simulador de tornado ubicado en el aeropuerto de San Francisco – Estados Unidos. (FLICKR, 2008)

Este simulador también es similar al desarrollado por Harald Edens, pero el diseño del mismo es mucho mejor. Este diseño podría ser una de las propuestas del Comando aéreo de combate N° 3 de Barranquilla para desarrollar un modelo con éstas características, en la medida que se den las condiciones tecnológicas para la implementación.

En el museo de la Mercedes Benz también se encuentra un simulador de tornados, el cual tiene como finalidad ser un dispositivo que recoge el humo que se podría generar en caso de producirse un incendio. Pedro Gómez en su artículo “El Museo Mercedes-Benz contiene el tornado artificial más grande del mundo”⁴⁴ expresa lo siguiente:

“El museo de Mercedes-Benz en Stuttgart, Alemania, tiene espacio no sólo para exhibir automóviles. La última atracción del lugar es el tornado artificial más grande del mundo, que ya ha sido reconocido como tal por el Libro de Récord Guinness. El tornado tiene una altura de 43,4 metros y además de cautivar a los visitantes, sirve para evitar que el humo se extienda por el edificio en caso de incendio. Como el diseño de la estructura es completamente abierto en su interior y carece de salas o puertas anti incendio, los arquitectos debieron pensar en la manera de suplir dicha carencia, y esta fue la solución.

44 (HADIPARAWIRA, 2011)



Imagen 31. Simulador de tornado ubicado en salón de museo de Mercedes Benz. (HADIPARAWIRA, 2011)

La formación del tornado requiere siete minutos, y para ello se utilizan 144 turbinas que mueven 28 toneladas de aire. La zona de baja presión que se crea en el vórtice produce una corriente que extrae el humo de los pasillos y lo lleva hacia una salida en el techo. Para lograr que el cono sea visible en circunstancias normales, se le inyecta dióxido de carbono.”

Este simulador no sería viable en CACOM 3, por los costos implicados para su implementación.

Consideraciones para un simulador de tornados en CACOM 3

Después de revisar las diferentes opciones existentes en cuanto a la temática de los simuladores de tornados, y revisando la necesidad de inicial de entender la formación del fenómeno meteorológico y de poder ayudar a tener una herramienta que permita capacitar a una población sobre este tema, la opción de un diseño basado en el expuesto por Harald Edens es el más viable. Además en este diseño los costos de desarrollo no serían elevados, como ya se expuso.

En una fase posterior este diseño debería ser mejorado en cuanto a los materiales a utilizar y en relación a las mejoras que este podría llevar, como podría ser la instalación de sensores de temperatura, humedad y presión que podrían implementarse en el dispositivo, con el fin de medir dichas variables a escala y de esta manera analizar esos datos.

La automatización del dispositivo podría ser otra mejora en cuanto a lo propuesto inicialmente por Harald Edens, pero deberá ser objeto de estudio en la fase de diseño e implementación, de acuerdo a los aspectos presupuestales.

Se propone como primera medida realizar un prototipo experimental que permita generar el fenómeno, con pruebas de análisis de los materiales que se pretenden usar. El desarrollo de los sensores de las variables que se decidan medir, puede ser un paso que se adelante inicialmente, ya que no requiere que esté el simulador terminado. Una vez se tenga el prototipo experimental,

los sensores podrían ser adaptados a este dispositivo, determinando ubicación de los mismos y veracidad de las medidas.

Una vez terminada la fase experimental el dispositivo se implementaría en una estructura final que le otorgue un plus estético al simulador de tornados.

Bibliografía

AGUILAR, T. (1 de Mayo de 2010). El Heraldo. *Guía para reducir el impacto de un tornado*.

AGUILAR, T. (1 de Mayo de 2010). *Guía para reducir el impacto de un tornado*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2010, de <http://www.elheraldo.com.co>: http://www.elheraldo.com.co/ELHERALDO/BancoConocimiento/0/0guia_para_reducir_el_impacto_de_un_tornado/0guia_para_reducir_el_impacto_de_un_tornado.asp

ALCALDÍA DE BARRANQUILLA. (08 de Junio de 2007). <http://www.barranquilla.gov.co>. Recuperado el 06 de Junio de 2011, de DISTRITO COMENZÓ REPARACIÓN POR DAÑOS DEL TORNADO: http://www.barranquilla.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=1402%3ADISTRITO+COMENZ%D3+REPARACI%D3N+POR+DA%D1OS+DEL+TORNADO&catid=57%3Anoticias&Itemid=170&lang=es

ALERTA TIERRA. (3 de Noviembre de 2008). <http://www.alertatierra.com>. Recuperado el 20 de Septiembre de 2010, de Formación de tornados: <http://www.alertatierra.com/TorFormacion.htm>

APARICIO, J. A. (15 de Febrero de 2009). *TORNADOS. Guía de riesgos*. Recuperado el 16 de Octubre de 2010, de <http://www.proteccioncivil-andalucia.org>: http://www.proteccioncivil-andalucia.org/index.php?option=com_content&view=article&id=209:tornados&catid=38&Itemid=208

BERNAL, I. (6 de Febrero de 2009). <http://www.elheraldo.com.co>. Recuperado el 15 de Noviembre de 2010, de Brisas causan estragos en Barranquilla, Soledad y Cartagena: http://www.elheraldo.com.co/ELHERALDO/BancoConocimiento/0/0latigazos_de_brisa_azotan_la_costa_caribe/0latigazos_de_brisa_azotan_la_costa_caribe.asp?CodSeccion=48

BLUCK, J. (3 de Marzo de 2005). <http://www.nasa.gov>. Recuperado el 15 de Noviembre de 2010, de NASA Simulates Small Martian 'Dust Devils' and Wind in Vacuum Tower: <http://www.nasa.gov/centers/ames/research/exploringtheuniverse/vaccumchamber.html>

EDENS E., H. (1 de Febrero de 2001). <http://www.weatherscapes.com>. Recuperado el 20 de Junio de 2010, de How to build a tornado machine: <http://www.weatherscapes.com/Techniques/Tornado/tornado.pdf>

EL ESPECTADOR. (25 de Octubre de 2010). <http://www.elespectador.com>. Recuperado el 15 de Noviembre de 2010, de Tornado en Barranquilla: <http://www.elespectador.com/noticias/nacional/video-231389-tornado-barranquilla>

EL HERALDO. (12 de Agosto de 2010). *Ayer, pánico en Soledad por nueva amenaza de tornado.*

EL HERALDO. (22 de Septiembre de 2010). <http://www.elheraldo.com.co>. Recuperado el 24 de Septiembre de 2010, de Casas destechadas en Don Bosco, Reboloy Nueva Colombia: <http://www.elheraldo.com.co/ELHERALDO/BancoConocimiento/A/arroyoslluvia22sept/arroyoslluvia22sept.asp?CodSeccion=48>

EL HERALDO. (20 de Julio de 2010). <http://www.elheraldo.com.co>. Recuperado el 1 de Noviembre de 2010, de Tornado cerca al aeropuerto puso a correr a los soledefños: <http://www.elheraldo.com.co/ELHERALDO/historico/2010/07/20/Home.asp#H>

EL HERALDO. (05 de Junio de 2011). www.elheraldo.co. Recuperado el 05 de Junio de 2011, de Proponen crear sistema de alertas con radar meteorológico: http://www.elheraldo.co/local/proponen-crear-sistema-de-alertas-con-radar-meteorologico-21698?quicktabs_1=2

EL PAIS. (19 de Marzo de 2003). <http://www.elpais.com>. Recuperado el 15 de Noviembre de 2010, de Alerta de volcanes y tornados por infrasonido: http://www.elpais.com/articulo/futuro/Alerta/volcanes/tornados/infrasonido/elpfutpor/20030319elpepifut_4/Tes

EL TIEMPO. (18 de Mayo de 1993). www.eltiempo.com. Recuperado el 21 de Agosto de 2010, de EMERGENCIA POR LLUVIAS EN LA COSTA: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-128363>

EL TIEMPO. (23 de Mayo de 2008). <http://www.eltiempo.com>. Recuperado el 21 de Agosto de 2010, de 528 Familias Damnificadas Dejó Tornado En Soledad (Atlántico): <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4205211>

EL TIEMPO. (20 de Julio de 2010). <http://www.eltiempo.com>. Recuperado el 24 de Setiembre de 2010, de Coletazo De Un Tornado Alarmó A Los Habitantes De Soledad, Atlántico: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-7817842>

ESTRADA, J. (23 de Diciembre de 2007). <http://www.elheraldo.com.co>. Recuperado el 28 de Octubre de 2010, de Hay que convivir con los tornados: <http://www.elheraldo.com.co/ELHERALDO/BancoConocimiento/R/resumenpersojunio/resumenpersojunio.asp>

FLICKR. (30 de Mayo de 2004). *Tornado and Lightning*. Recuperado el 03 de Junio de 2011, de <http://www.flickr.com>: <http://www.flickr.com/photos/lindenbaum/328304747/>

FLICKR. (21 de Junio de 2005). <http://www.flickr.com>. Recuperado el 01 de Junio de 2011, de TORNADO: <http://www.flickr.com/photos/poodog/279438788/>

FLICKR. (23 de Agosto de 2007). <http://www.flickr.com>. Recuperado el 01 de Junio de 2011, de Fire Twister / Tornado - Magna Science Adventure Centre: <http://www.flickr.com/photos/ell-r-brown/3805099909/>

FLICKR. (10 de Noviembre de 2008). <http://www.flickr.com>. Recuperado el 01 de Junio de 2011, de SFO Tornado: <http://www.flickr.com/photos/melissaclark/3019080101/>

FLICKR. (24 de Agosto de 2008). *Parker Tornado*. Recuperado el 09 de Junio de 2011, de <http://www.flickr.com>: <http://www.flickr.com/photos/roper/2795365370/>

FLICKR. (24 de Mayo de 2009). <http://www.flickr.com>. Recuperado el 09 de Junio de 2011, de Rped Out: <http://www.flickr.com/photos/roper/3562778097/>

GALLUS, W. A. (7 de Octubre de 2004). *ams.confex.com*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2010, de A TRANSLATING TORNADO SIMULATOR FOR ENGINEERING TESTS: COMPARISON OF RADAR,

NUMERICAL MODEL, AND SIMULATOR WINDS: ams.
confex.com/ams/pdfpapers/81394.pdf

GONZÁLEZ DEL CAPRIO, C. (2009). *Navegando en la atmósfera: meteorología aeronáutica*. México: Instituto Politécnico Nacional.

HADIPARAWIRA, J. (20 de Enero de 2011). <http://www.flickr.com>. Recuperado el 09 de Junio de 2011, de Benz Museum.: <http://www.flickr.com/photos/jonathanhadiprawira/5671273403/>

<http://mikesenese.com>. (19 de Enero de 2010). *Simulated Tornado Machine at SFO Airport and DIY Plans To Build Your Own*. Recuperado el 15 de Julio de 2010, de <http://mikesenese.com>: <http://mikesenese.com/DOIT/2010/01/simulated-tornado-machine-at-sfo-airport-and-diy-plans-to-build-your-own/>

IAEM. (15 de Febrero de 2009). <http://www.iaem.es>. Recuperado el 06 de Junio de 2011, de Tornados: <http://www.iaem.es/GuiasRiesgos/Tornados.pdf>

Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. (1 de Febrero de 2002). <http://meteoro.imn.ac.cr>. Recuperado el 9 de 11 de 2010, de Tornado: <http://meteoro.imn.ac.cr/educacion/tornado.html>

LANDON, D. (26 de Agosto de 2010). *Bushfire meets tornado - vicious stuff*. Recuperado el 8 de Noviembre de 2010, de <http://www.tntmagazine.com>: <http://www.tntmagazine.com/tnt-today/archive/2010/08.aspx?PageIndex=2>

LANKFORD, T. T. (1999). *Pilot's Guide to Weather Report*. Blacklick, OH, USA: McGraw-Hill Professional Book Group.

LINACRE, E., & GEERTS, B. (1997). *Climates and Weather Explained : An Introduction from a Southern Perspective*. Londres - Inglaterra: Routledge.

LLANOS, R. (02 de Junio de 2001). *www.eltiempo.com*. Recuperado el 21 de Agosto de 2010, de NO TUVE TIEMPO DE NADA: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-439749>

MACÍAS, J. M. (2001). *Descubriendo tornados en México. El caso del tornado Tzintzuntzan*. Michoacán, México: CIESAS.

MACÍAS, J. M. (2001). *Los tornados, su meteorología y su significación como amenaza*. México: Ciesas.

MANCERA, A. C. (23 de Mayo de 2008). <http://www.elheraldo.com.co>. Recuperado el 21 de Agosto de 2010, de Tornado se ensañó con el Centro de Soledad: http://www.elheraldo.com.co/ELHERALDO/BancoConocimiento/L/lotornado_destecha_soledad/lotornado_destecha_soledad.asp

METEORED. (29 de Junio de 2009). *Tornado o un gran Dust Devil* . Recuperado el 6 de Noviembre de 2010, de <http://foro.meteored.com>: <http://foro.meteored.com/meteorologia+general/video+tornado+o+un+gran+dust+devil-t105352.0.html>

MOSCARELLA, Y. (12 de Agosto de 2010). <http://www.elheraldo.com.co>. Recuperado el 1 de Noviembre de 2010, de Ayer, pánico en Soledad por nueva amenaza de

tornado: <http://www.elheraldo.com.co/ELHERALDO/BancoConocimiento/0/0breves120810/0breves120810.asp>

MYERS, S. (29 de Marzo de 2004). <http://www.iowastatedaily.com>. Recuperado el 14 de Noviembre de 2010, de Country's first lab tornado whirls inside ISU simulator: http://www.iowastatedaily.com/news/article_3fef4edb-1f9f-5451-84f0-fd58f7a20465.html

NOAA. (10 de Septiembre de 1969). *WATERSPOUT - NOAA*. Recuperado el 09 de Junio de 2011, de <http://www.flickr.com>: <http://www.flickr.com/photos/relentlesslyoptimistic/3641404/>

NOAA. (1 de Febrero de 2001). <http://www.spc.noaa.gov>. Recuperado el 20 de Octubre de 2010, de Fujita Tornado Damage Scale: <http://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/f-scale.html>

NOAA. (22 de Diciembre de 2005). *National Weather Services (Storm Prediction Center)*. Recuperado el 21 de Octubre de 2010, de Enhanced F Scale for Tornado Damage: <http://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/ef-scale.html>

NOAA. (01 de Marzo de 2006). <http://www.nssl.noaa.gov>. Recuperado el 08 de Junio de 2011, de About Toto...: http://www.nssl.noaa.gov/faq/faq_toto.php

NOAA. (19 de Enero de 2007). <http://www.flickr.com>. Recuperado el 09 de Junio de 2011, de ILX - Central Illinois Doppler Radar - NOAA: <http://www.flickr.com/photos/yodudedan/363045232/>

NOAA. (09 de Junio de 2009). <http://www.flickr.com>. Recuperado el 31 de Mayo de 2011, de nssl0308: <http://www.flickr.com/photos/neaaphotolib/5053923515/>

NOAA. (17 de Junio de 2009). <http://www.spc.noaa.gov>. Recuperado el 05 de Junio de 2011, de The Enhanced Fujita Scale (EF Scale): <http://www.spc.noaa.gov/efscale/>

NOAA. (5 de Octubre de 2010). <http://www.flickr.com>. Recuperado el 08 de Junio de 2011, de nssl0030: <http://www.flickr.com/photos/neaaphotolib/5054524742/>

O'CONNER. (31 de Enero de 2002). <http://www.oconnerengineering.com>. Recuperado el 13 de Noviembre de 2010, de Tornado Detector: <http://www.oconnerengineering.com/PDF/Tornado.pdf>

Organisation, T. T. (s.f.). http://www.torro.org.uk/site/classify_info.php. Recuperado el Octubre de 2010, de <http://www.torro.org.uk>

ORTIZ, M. (4 de Marzo de 2006). *TORNADOS*. Recuperado el 16 de Octubre de 2010, de <http://www.revista.dominicas.org>: <http://www.revista.dominicas.org/tornados.htm>

PAKER, S. P. (2003). *McGraw-Hill Dictionary of Earth Science*. Blacklick, OH, USA: McGraw-Hill.

PANIAGUA, S. (2002). *Desastres y emergencias. prevención, mitigación y preparación*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

PLATA ACEVEDO, P. (4 de Agosto de 2010). *Nueva amenaza de tornado en cielo barranquillero*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2010, de <http://www>.

barranquillaestereo.com: <http://www.barranquillaestereo.com/news.php?newsid=211>

QUESADA FERNÁNDEZ, E. (16 de Septiembre de 2006). <http://www.eltiempo.com>. Recuperado el 26 de Agosto de 2010, de Fuerte Tornado Que Afectó A Barranquilla Dejó 19 Personas Heridas: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3245492>

RAM. (1 de Octubre de 2002). <http://www.meteored.com>. Recuperado el 15 de Octubre de 2010, de Tipos de tornados: <http://www.meteored.com/ram/277/tipos-de-tornados/>

RAM. (19 de Octubre de 2006). <http://www.meteored.com/ram>. Recuperado el 04 de 06 de 2011, de Hacia una base de datos de fenómenos severos en Europa: <http://www.meteored.com/ram/2719/hacia-una-base-de-datos-de-fenmenos-severos-en-europa/>

RAM. (23 de Junio de 2008). <http://www.meteored.com>. Recuperado el 15 de Noviembre de 2010, de Infrasonidos naturales y fenómenos atmosféricos severos: los tornados silbadores: <http://www.meteored.com/ram/2656/infrasonidos-naturales-y-fenmenos-atmosfricos-severos-los-tornados-silbadores/>

RAM. (17 de Junio de 2010). <http://www.meteored.com>. Recuperado el 15 de Noviembre de 2010, de El registrador de medidas in situ de presión dentro un tornado HIRTP: <http://www.meteored.com/ram/1684/el-registrador-de-medidas-in-situ-de-presin-dentro-un-tornado-hirtp/>

RCN NOTICIAS. (10 de Agosto de 2003). <http://www.rcnradio.com>. Recuperado el 16 de Septiembre de 2010,

de Tornado amenazó Barranquilla: <http://www.rcnradio.com/noticias/locales/03-08-10/tornado-amenaz-barranquilla>

Revista del Aficionado a la Meteorología. (01 de Octubre de 2002). <http://www.meteored.com/ram>. Recuperado el 20 de 06 de 2010, de Tipos de tornados: <http://www.meteored.com/ram/numero4/pdf/tipotornado.pdf>

REY, E. (26 de Agosto de 2003). *El tornado de La Pobra de Vallbona (Valencia)(II)*. Recuperado el 15 de Octubre de 2010, de <http://www.meteored.com>: <http://www.meteored.com/ram/1046/el-tornado-de-la-pobla-de-vallbona-valenciaii/>

RINAMED. (9 de Marzo de 2005). <http://www.rinamed.net>. Recuperado el 5 de Octubre de 2010, de Riesgos climatológicos. Tornados: http://www.rinamed.net/es/es_ris_clim_tornados.htm

RODRÍGUEZ, L. (22 de Mayo de 2008). *Grandes pérdidas materiales dejó vendaval en Soledad*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2010, de <http://www.elheraldo.com.co>: <http://www.elheraldo.com.co/ELHERALDO/historico/2008/05/22/Home.asp#H>

SAMARAS, T., LEE, J., & APPLIED RESEARCH ASSOCIATES, I. (15 de Mayo de 2003). *ams.confex.com*. Recuperado el 08 de Junio de 2011, de PRESSURE MEASUREMENTS WITHIN A LARGE TORNADO: ams.confex.com/ams/pdfpapers/74267.pdf

SIGPAD. (15 de Septiembre de 2006). <http://www.sigpad.gov.co>. Recuperado el 06 de Junio de 2011,

de EMERGENCIAS: <http://www.sigpad.gov.co/sigpad/emergencias.aspx>

SIGPAD. (22 de Mayo de 2008). <http://www.sigpad.gov.co>. Recuperado el 06 de Junio de 2011, de EMERGENCIAS: <http://www.sigpad.gov.co/sigpad/emergencias.aspx>

TECNORADAR.ES. (1 de Febrero de 2002). <http://www.tecnoradar.es>. Recuperado el 3 de Noviembre de 2010, de Eco y efecto Doppler: <http://www.tecnoradar.es/ecoydoppler.html>

The big picture. (19 de Noviembre de 2010). *National Geographic's Photography Contest 2010*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2010, de <http://www.boston.com>: http://www.boston.com/bigpicture/2010/11/national_geographics_photograp.html

The Tornado & Storm Research Organisation. (s.f.). <http://www.torro.org.uk>. Recuperado el Octubre de 2010, de http://www.torro.org.uk/site/classify_info.php

The Tornado Project. (01 de Febrero de 2001). <http://www.tornadoproject.com>. Recuperado el 08 de Junio de 2011, de The Curiosity Corner: <http://www.tornadoproject.com/cellar/curiosity.htm>

TORRO. (01 de Febrero de 2002). <http://www.torro.org.uk/>. Recuperado el 30 de Junio de 2010, de Severe Storm Definitions & Whirlwind Classification: http://www.torro.org.uk/site/classify_info.php

TORRO. (22 de Febrero de 2007). *The International Tornado Intensity Scale*. Recuperado el 1 de 10 de 2010, de TORRO: <http://www.torro.org.uk/site/tscale.php>

UNAM. (21 de Diciembre de 2007). <http://www.cch.unam.mx>. Recuperado el 20 de Junio de 2010, de Construcción y Estudio Teórico de un Simulador de un Tornado": <http://www.cch.unam.mx/ssaa/naturales/pdf/tornados.pdf>

VAQUERO, J., & GONZÁLEZ, A. I. (2010). *Un simulador como apoyo visual para el aprendizaje de las técnicas del control predictivo*. En: *Memorias Universidad 2008*. Cuba: Editorial Universitaria.

VÁSQUEZ, N. (26 de Agosto de 2010). <http://elobservadorm.blogspot.com>. Recuperado el 03 de Septiembre de 2010, de Barranquilla, entre tormentas y tornados: una aproximación a la comprensión de su formación en la ciudad: <http://elobservadorm.blogspot.com/2010/08/barranquilla-entre-tormentas-y-tornados.html>

VELÁSQUEZ, T., & GONZÁLES, K. (15 de Junio de 2008). El Heraldo. *Vendavales y tornados siembran terror en Atlántico: 43 en 10 años*.

VERBEL, C. (3 de Agosto de 2010). EL HERALDO. *Conato de tornado sobre Barranquilla*.

VITTON, S. (1997). <http://www.scienceblog.com>. Recuperado el 11 de Noviembre de 2010, de Tornado Sensor May Become Reality: <http://www.scienceblog.com/community/older/1997/A/199700711.html>

WWW.CARACOL.COM.CO. (23 de Septiembre de 2010). <http://www.caracol.com.co>. Recuperado el 07 de Junio de 2011, de 600 damnificados deja tornado en el

suroriente de Barranquilla: <http://www.caracol.com.co/nota.aspx?id=1361875>

www.spc.noaa.gov. (01 de Febrero de 2001). *http://www.spc.noaa.gov*. Recuperado el 07 de Junio de 2011, de THE TOTO HOE PAGE: <http://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/toto.htm>

