

# Tecnologías para el estudio y prevención de tornados en el contexto del departamento del Atlántico

Technologies for the Study and Prevention of tornadoes in the Atlantico context

Gabriel Dario Piñeres Espitia

Facultad de Ingenierías, Corporación Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia

Correo-e: gpineres1@cuc.edu.co

**Resumen**— Los fenómenos meteorológicos han sido objetos de estudio y comprensión, para establecer parámetros de prevención y fórmulas de actuar ante la presencia de una eventualidad. Los cambios en el sistema climático global han ocurrido durante toda la historia del planeta a partir de los primeros miles de millones de años de formación, dichas modificaciones se han presentado por causas naturales que incluyen: cambios en la órbita terrestre, alteraciones en la excentricidad del planeta, actividad volcánica intensa e impactos de meteoritos [1]. En Barranquilla uno de estos fenómenos son los tornados, los cuáles se han presentado con reiteración en zonas, tales como el “corredor de Soledad”. Entidades como el Comando Aéreo de combate No 3 Barranquilla de la Fuerza Aérea Colombiana, con sede en Malambo se ha interesado en estudiar estos fenómenos, pensando no solamente en poder ahondar sobre el tema de la formación de los tornados, siendo necesario conocer los avances tecnológicos logrados hasta hoy en este campo y también en la posibilidad de diseñar instrumentos propios para ayudar en esta tarea haciendo uso de las tecnologías actuales en Electrónica y Telecomunicaciones.

**Palabras clave**— Tornado, Doppler, detección, simulador, alerta.

**Abstract**— Meteorological phenomena have been objects of study and understanding for setting prevention and ways to react to the presence of an eventuality. Changes in the global climate system have occurred throughout Earth's history from the first thousands of millions of years of its development, such changes have been introduced by natural causes which include changes in the Earth's orbit, changes in the eccentricity of planet, intense volcanic activity and meteorite impacts [1]. In Barranquilla one of these phenomena are tornadoes, which have occurred several times in areas such as the "corridor of Soledad". Entities such as the “Comando Aéreo de combate No 3 Barranquilla” from Colombian Air Force, in Malambo has been interested in studying these phenomena, thinking not only in going deeper in the way how tornadoes are shaped, but also in being necessary to know the technological achievements up to day in these field and also in the possibility to design our own instruments in order to help in this task using the latest technological improvements in Electronics and Telecommunications.

**Key Word** — Tornado, Doppler, Detection, Simulator, Warning

## I. INTRODUCCIÓN

Colombia, en los últimos años ha padecido de desastres causados por las lluvias e inundaciones. La mayor parte de ellos afectan las zonas costeras de las riveras de los ríos, tales como el Magdalena, Sinú y San Jorge. El departamento del Atlántico, aunque sufre de estos fenómenos, padece de otros tales como los arroyos, vendavales, microtornados y tornados. Estos últimos han afectado últimamente parte de su población, registrándose cada vez con mayor frecuencia. Atribuir éstos fenómenos a efectos como el calentamiento global no es claro aún, y no es demostrable, pero tratar de entender un poco más su formación y las condiciones en las que se presenta este fenómeno es el objeto de estudio por varias entidades del departamento, debido a la frecuencia con que se han incrementado en sectores donde se ve afectada la población.

Los tornados con el paso del tiempo se están presentando con mayor frecuencia en el departamento del Atlántico, generando en varias entidades el objeto de su estudio y su prevención. Una de las entidades que se ha encargado de iniciar labores de estudio es el Comando Aéreo de combate No 3 Barranquilla (CACOM 3), de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), en cabeza del Técnico Primero John Rodríguez realizando estudios de medición de vientos y análisis estadísticos de los mismos. Esta investigación se ha realizado en conjunto con la Corporación Universitaria de la Costa, CUC a través del grupo de investigación GIACUC.

Para tratar de entender un tornado, su formación, los efectos y daños que pueden producir y como estar preparados para los mismos, es necesario tratar de adentrarnos a los avances técnicos que existen para su estudio y prevención. Dentro de éstos avances se tienen los simuladores de tornados y sistemas detectores de tornados, que son unos medios de iniciales de estudio para comenzar un proceso de investigación que ayude a comprender y explicar cómo se forma este fenómeno meteorológico y de qué manera se puede prevenir a comunidad.

## II. PROBLEMÁTICA DE TORNADOS EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO EN LOS ÚLTIMOS AÑOS

El departamento del Atlántico se ha visto afectado en los últimos años por la presencia de tornados y microtornados que se han generado causando grandes daños y temor en la población. La presencia de este fenómeno meteorológico ha sido tal que organismos como el CAF (Corporación Andina de Fomento) y el Departamento de Atención de desastres del departamento han tomado acciones para tratar de educar a la población en este aspecto. Algunos sólo terminan en amenazas, pero son índices de que la población del departamento es vulnerable a la presencia de tornados, lo que indica a que se tenga un especial cuidado en cuanto a las medidas de alertas y formas de educar y mitigar su efecto en la población que puede ser afectada ante este fenómeno meteorológico.



Fig. 1. Tornado [5]

Para tratar de ilustrar un poco la presencia de los tornados en el departamento se enumeran en la tabla 1 los que se han presentado en el Atlántico en los últimos 10 años, basados en fuentes noticiosas confiables, y reportes del Damab (Departamento administrativo del medio ambiente de Barranquilla), con el fin de generar una evidencia verificable.

La tabla muestra que el fenómeno se está incrementando en el departamento, y se destaca la zona del municipio de Soledad como una de las más afectadas en los últimos tiempos, teniendo un total de 7.128 damnificados y 65 heridos en total con cientos de millones en pérdidas materiales. Cabe resaltar que el de mayor envergadura se produjo en la ciudad de Barranquilla el 16 de Septiembre del 2006, llegando a ser catalogado por las escalas de Fujita y Torro (las más reconocidas y valederas en cuanto a la medición de tornados) como de categorías EF2 y T4, respectivamente. Esta tabla también registra que las zonas más afectadas son los municipios de Barranquilla y Soledad.

En consecuencia con esto la población vulnerable del departamento del Atlántico se concentra en estas zonas, punto de partida para promover la implementación de sistemas de alertas tempranas ante la presencia de tornados, como sucede en algunos países en donde ciertas regiones se ven afectadas por este fenómeno.

### A. AVANCES TECNOLÓGICOS PARA EL ESTUDIO DE TORNADOS.

Debido a la ya mencionada problemática de los tornados en el departamento del Atlántico, se considera prudente realizar una revisión de los principales avances tecnológicos en el estudio de este fenómeno, el cual pueda ayudar a encausar y concientizar algunas necesidades que son requeridas para mitigar los daños que puede causar la presencia de un tornado.



Fig. 2. Radar Doppler Illinois – Usa, similar al que se planea instalar en Medellín. [17]

Sin duda alguna el país que más se ve afectado es el de Estados Unidos, en donde la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) posee adelantos en cuanto a detección de este fenómeno, mediante tecnología basada en satélites y estudios de fotografías de mapas en las zonas en donde se presentan los tornados, generadas por dichos satélites. Esta también implementa radares terrestres meteorológicos que están basados en el principio físico del efecto Doppler y son los principales instrumentos que poseen para la detección de tornados en algunas zonas. El fenómeno físico del efecto Doppler consiste en la variación que sufre una frecuencia al ser emitida hacia un obstáculo cuando esta es reflejada. Otra agencia como la TORRO (TORNado and storm Research Organisation), también realiza estudios similares, pero en Europa

Existen también otros tipos de avances tecnológicos para el estudio de los tornados, algunos usados para la detección y generar alertas tempranas, como los mismos radares Doppler pero menos complejos, ubicados en la superficie terrestre. Para tomar datos para el estudio de los tornados existen grupos de investigadores y científicos que son llamados “cazatornados” y que con ayuda de las entidades meteorológicas se encargan de “cazar” los tornados y tomar mediciones cercanas.



Fig. 3. Misión Vortex 2. [18]

**Tabla 1. 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, 18 de mayo de 1993 [6]       |
| 6 mil damnificados  | No hay datos       | Viviendas afectadas, techos expulsados   | EF1               | T2    | Soledad, 02 de Junio del 2001 [7]          |
| No hay registro   | No hay datos       | Amenaza de tornado   | NA                | NA    | Barranquilla, 10 de agosto del 2003 [8]    |
| 19 Heridos  | No hay datos       | Casas sin techos, árboles arrancados de raíz, casas de poca cimentación expedidas, millonarios daños.        | EF2               | T4    | Barranquilla, Septiembre 16 del 2006 [9]   |
| 12 heridos  | No hay datos       | 158 edificaciones destechadas  |                   |       | Barranquilla 6 de Junio de 2007 [10]       |
| 18 heridos, 528 damnificados.                                 | No hay datos       | 413 viviendas afectadas, techos expelidos, árboles arrancados de raíz, muros derrumbados, millonarios daños. | EF0               | T1    | Soledad el 23 de Mayo de 2008 [11]         |
| No hay Registro Coletazo de tornado                           | No hay datos       | Láminas de techos expelidas  | NA                | NA    | Soledad, julio 20 del 2010 [12]            |
| No hay Registro   | No hay datos       | Amenaza de tornado   | NA                | NA    | Soledad, agosto 12 del 2010. [13]          |
| 600 damnificados  | No hay datos       | 116 casas destechadas. Líneas eléctricas caídas  | EF1               | T2    | Barranquilla, septiembre 22 del 2010. [14] |
| No hay registros  | No hay datos       | Amenaza de tornado   | NA                | NA    | Barranquilla, 25de octubre del 2010. [15]  |
| 36 damnificados   | No hay datos       | 36 viviendas destruidas y múltiples enseres completamente averiados  | EF0               | T1    | Piojón mayo 03 del 2011. [16]              |

En el año 2010 desde el 1° de Mayo al 15 de Junio se realizó una misión denominada VORTEX 2, (siglas en inglés de Experimento de Verificación del Origen de la Rotación en Tornados) en donde científicos e investigadores de Norteamérica y Europa realizaron en Estados Unidos la caza de tornados con el fin de generar nueva información con relación a este fenómeno para estudiar más a fondo las causas exactas de formación de tornados ya que aún se desconocen del todo. Vortex 2 posee una flotilla de vehículos equipados con una variedad de sensores para medir parámetros de los tornados. La mayoría de estos sensores son de efecto Doppler y generan diversas frecuencias.



**Fig. 4. Detector de Tornado O’Conner. [19]**

Dentro de los avances tecnológicos para alertar a la población de la presencia de tornados se tienen los sistemas de alertas de este fenómeno. Dentro de estos sistemas de alertas ante tornados se encuentran algunos basados en el efecto Doppler, los cuales se ubican a algunos metros de una población o edificación que se tiene catalogada como vulnerable, con el fin de generar una alerta con algo de anterioridad ante la presencia de un tornado, y así poder dar a las personas algo de tiempo para poder realizar acciones de protección ante la posible llegada de este fenómeno meteorológico. [19]

El dispositivo como tal es ubicado sobre un mástil o poste público de aproximadamente dos a tres metros de altura, apuntando en determinada dirección. Este además posee un panel solar, el cual brinda la suficiencia de energía para poder operar correctamente. Su consumo

energético es bajo, por lo que no se requiere de un gran panel para esto. Las señales de alertas son transmitidas vía wireless. Su frecuencia de operación es de 2,4GHz, una frecuencia libre y tiene un alcance de 1,5 km aproximadamente (1 milla). La señal del radar es enviada constantemente a determinada altura a la frecuencia descrita, de tal manera que ante la aparición de un tornado se debe recibir una frecuencia reflejada en determinado rango o valor, lo cual indicará la aproximación de un tornado en la medida que este se acerque, cumpliendo con el principio del efecto Doppler.

**A. 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

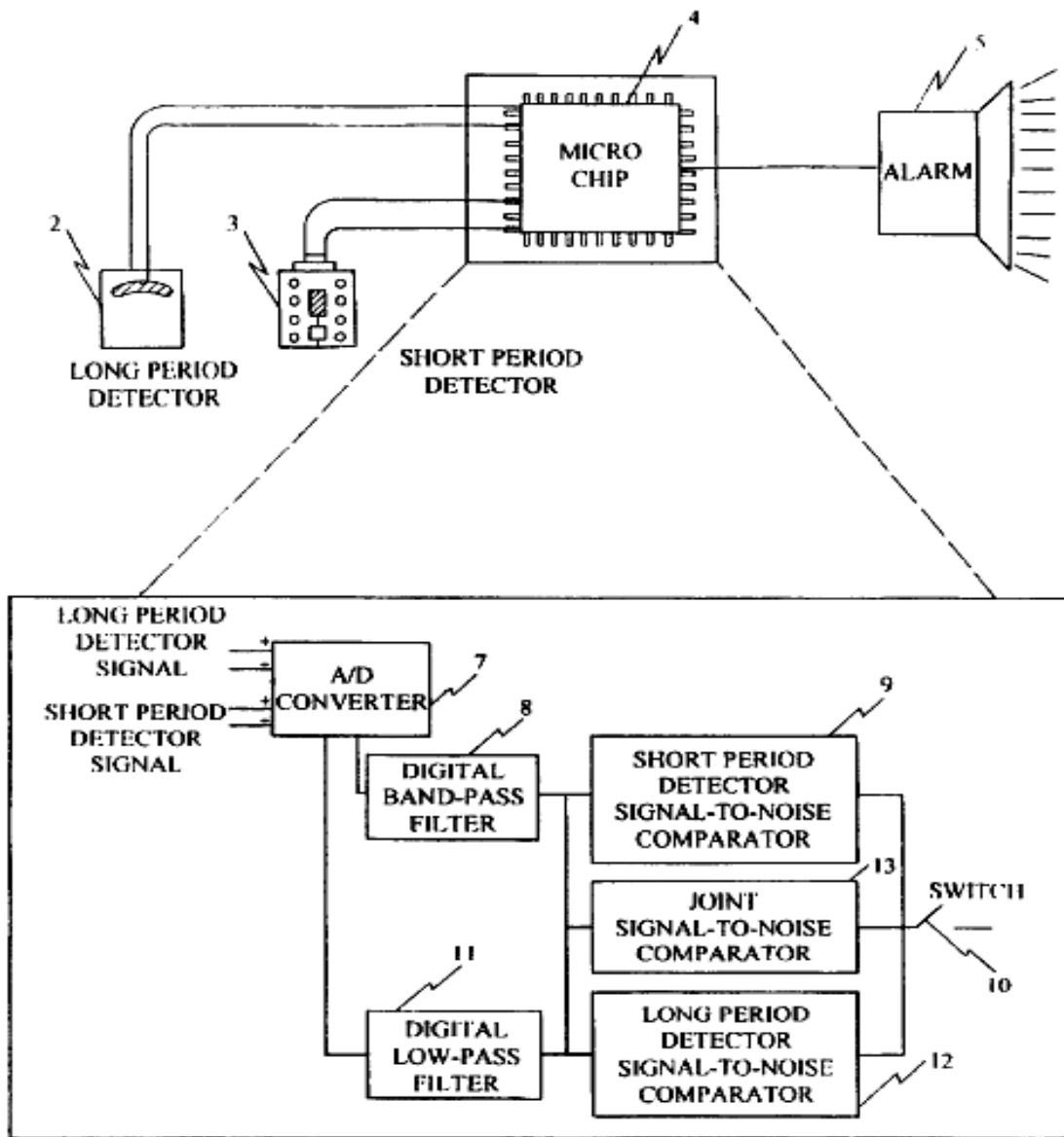


Fig. 5. Esquema del método de detección de tornados mediante vibraciones [24]

por un tornado, las cuáles han manifestado que la tierra se mueve en cercanías de este fenómeno. En el Massachusetts Institute of Technology, investigadores corroboraron esta teoría y desarrollaron un sistema de

alerta temprana que es considerado bastante económico (entre US\$ 40 y US\$50), y bastante pequeño. [20]

Está basado en un sensor que va al aire libre el cual al detectar un movimiento o vibración terrestre emite una

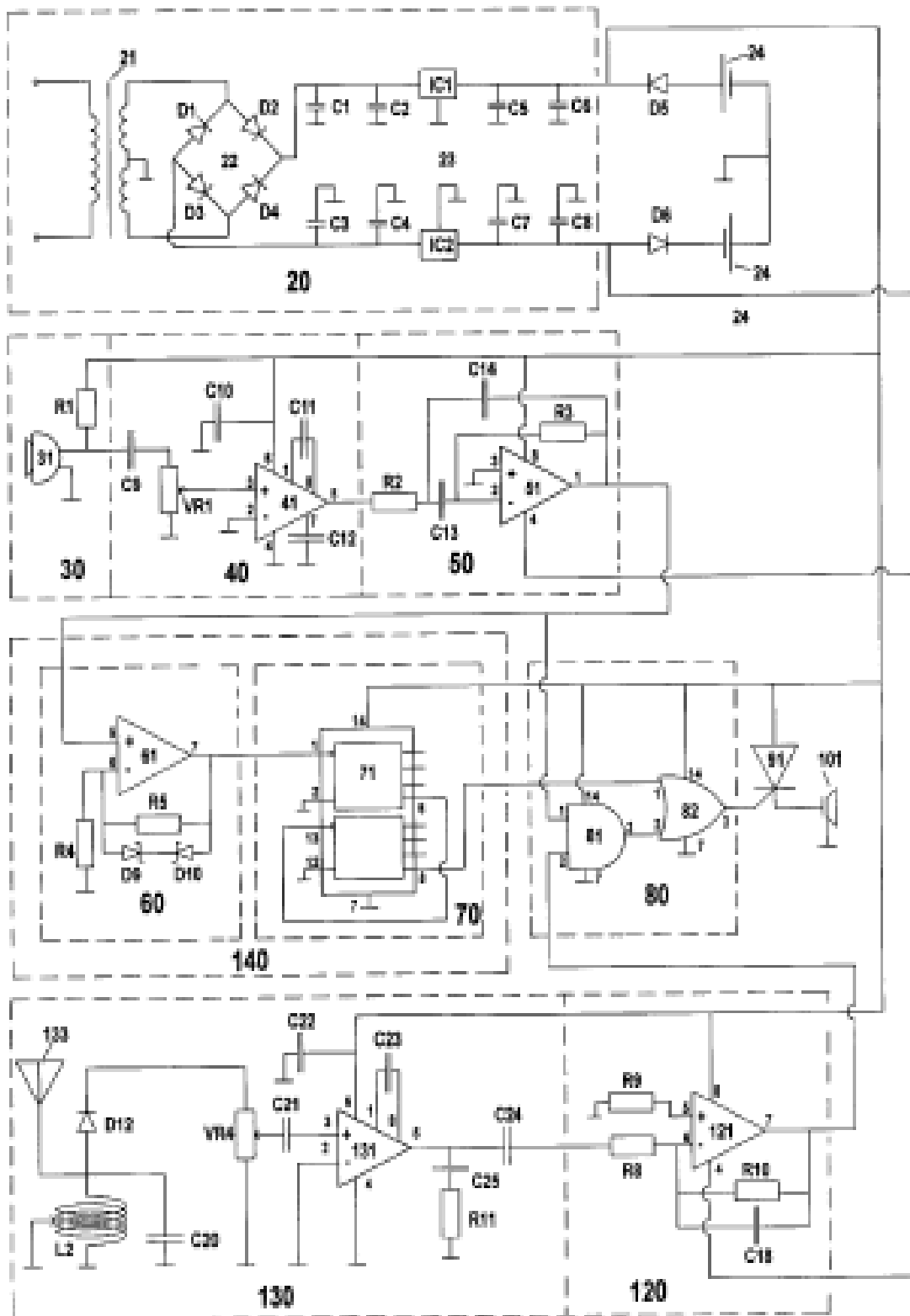


Fig. 6. Esquema del método de detección de tornados mediante infrasonido [23]

señal a la población o edificación que se pueda ver afectada. La señal de frecuencia emitida por esta vibración es mucho mayor que la que los sismógrafos captan por lo normal, según este estudio realizado por Frank B. Tatom y Stanley J. Vitton. Este método fue patentado en 1998 por estos autores, y data de que genera frecuencias entre los 0,01Hz y 0,001 Hz, las cuales son generadas debido a que un tornado tocar la tierra este genera una leve inclinación de la superficie, siendo bastante útil en la medición de largos y cortos períodos de movimientos sísmicos. El tornado entraría en lo referido a largos períodos sísmicos, en donde se generan frecuencias bastante bajas, que anteriormente se mencionaron. [23]

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 y gráficas, entre otras; también ofrece sondeo de la nación, monitoreando algunas variables atmosféricas y meteorológicas, reportando alertas de tormentas, gráficas de radares. [21] Esta empresa es el equivalente, guardando las proporciones, del Ideam (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) 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 relacionados con la detección de los mismos se dan por medio de sensores de infrasonidos. El principio en el que se basan para realizar las detecciones bajo este fenómeno es el que algunos tornados producen sonidos no audibles para el ser humano, pero que sí podrían ser captados por equipos diseñados para su detección; se estaría hablando de frecuencias mucho más baja que la de la voz (menores de 20 Hz), consideradas infrasonidos, los cuáles 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” [21], destaca:

“He aquí cómo una red adecuada de infrasonidos puede mejorar la alerta sobre detección temprana de un tornado:

- 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 [26]:

“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.”

Aunque los estudios en infrasonidos aún se encuentran en desarrollo, se tiene que los tornados generan ondas infrasonicas con períodos entre 0.4 a 1.0 segundos y amplitudes de 10 microbars. Un microbaroms es una forma de onda característica de vientos que se encuentra entre 0.125 a 0.333 Hz. Son una fuente continua de infrasonido que tiene alto grado de coherencia para distancias alrededor de los 0.6 Km. y baja coherencia para 5 Km, es decir, la correlación cruzada entre las señales de dos detectores separados por estas distancias tendrá un valor alto en el caso de los 0.6 Km y bajo sobre los 5 Km. [27]

En el departamento del Atlántico este tipo de sistemas de alertas de prevención no se encuentran, y podrían ser objeto de desarrollos y mejoras mediante investigaciones enfocadas a su implementación final, con el fin de generar un sistema que provea alertas tempranas ante la presencia de tornados en las zonas que se ven afectadas, como son los municipios de Soledad y Barranquilla. La mayoría de estos sistemas son económicos, y podrían prevenir heridos, y mitigar en algunos casos los daños que producen los tornados, ahorrando costos al departamento.

## B. Simuladores de Tornados



Fig. 7. Simulador de tornado Universidad de Iowa. [24]

Existen otros tipos de avances pero enfocados para el estudio de los tornados, y son los denominados simuladores de tornados.

En la actualidad CACOM 3 de la FAC en conjunto con el Programa de Ingeniería Electrónica de la Corporación Universitaria de la Costa, realizan estudios pertinentes a estas temáticas, debido a que la ubicación de dicho comando es cercana al municipio de Soledad, donde ya se ha expresado que se vienen presentando tornados con mayor frecuencia. Este dispositivo podría servir de inicio para fuentes de datos de análisis más profundas en cuanto a los tornados. Esto da pie a que se revise de manera constructiva, qué tipo de avances se vienen presentando en esta área de investigación en cuanto a este tipo de dispositivos y analizar la manera de escoger una línea que permita conducir a la construcción de un dispositivo para tales fines.

Existen algunos simuladores de gran tecnología como el encontrado en la Universidad de Iowa [3], el cual simula condiciones de un tornado en movimiento y puede variar la altura y desplazamiento. Este fue resultado de avances obtenidos en cuanto a condiciones tomadas de la misión VORTEX.

También se encuentra el de la NASA, el cual aunque es usado para investigaciones de torbellinos generados en la superficie marciana, también se utiliza para estudiar los torbellinos que se generan en la superficie terrestre con fines de comparación.

Otro tipo de simuladores de tornados, de menos tecnología, pero que sirven para educar a personas y puede ser un inicio para estudios, son los que se trabajan en ambientes cerrados, tales como el desarrollado por Harald Edens, el cual ha servido de prototipo de otros existentes, y en donde se pueden iniciar los primeros acercamientos para generar un estudio de los tornados. Este desarrollo se basa en un motor, con un variador de velocidad que mueve un ventilador axial ubicado en la parte inferior, que simula el efecto Coriolis de la tierra. El diseño va sobre un dispositivo cilíndrico en donde se genera el tornado. Se trata de simular el ambiente de aire caliente en la parte inferior y aire frío en la superior, con el fin de que se genere una diferencia de presión atmosférica y se genere el torbellino como tal.



**Fig. 8. Simulador de tornado para un cuarto y de uso educativo propuesto por Harald E. Edens. [4]**

Otros simuladores utilizan en su diseño un humidificador con el fin de que se pueda observar este fenómeno con mayor claridad y el ventilador lo ubican en la parte superior.



**Fig. 9. Simulador de tornado ubicado en el aeropuerto de san Francisco – Estados Unidos. [22]**

Existen otros como el implementado en el aeropuerto de San Francisco en Estados Unidos, que es usado para que las personas puedan entender un poco mejor como se produce el fenómeno, pero en si está basados en la aplicación que se analiza en el de Harald Edens, simplemente que se mejora su diseño, pero es más apreciable la región en donde se simula el tornado. Este mismo prototipo se ha replicado en muchos museos de otros países. Su intención es meramente educativo.

Todo esto da pie a pensar en la construcción de un dispositivo basado en el diseño de Harald Edens, que pueda ser utilizado, como ya pasa en muchos otros países, para educar a poblaciones en cuanto a cómo se genera este fenómeno meteorológico, analizando sus condiciones iniciales. Dentro de las posibles avances a este diseño original, podría ser el de automatizar el fenómeno, graduar su velocidad y analizarla, medir algunas condiciones ambientales en la región que se genera para reproducir el tornado a escala, tales como temperatura y presión atmosférica, y realizar un análisis posterior de las mismas, pensando en la necesidad que se refleja en CACOM 3 de la FAC, para realizar un estudio más profundo de los tornados. El modelamiento físico y matemático del fenómeno, sería otro plus que se le podría dar a este diseño, en aras de profundizar su estudio y relevancia investigativa.

### III. CONCLUSIONES

Después de realizar una revisión de cómo afectan los tornados al departamento del Atlántico, se puede determinar que hay un aumento significativo del mismo a través de los años. Las zonas más afectadas son los municipios de Soledad y Barranquilla, y

aunque estas no eran estimadas para que este fenómeno se formara es claro que el cambio climático está provocando la presencia de tornados.

Las cifras en cuanto a daños, heridos y pérdidas económicas son enormes, por lo que se debe pensar en generar estrategias que permitan preparar a las poblaciones vulnerables a este fenómeno para que puedan enfrentar la presencia de un tornado, como se realiza en otros países, donde es mucho más frecuente este fenómeno meteorológico.

Dentro de las estrategias que pueden ayudar a mitigar los daños que genera un tornado se tienen los sistemas de alertas tempranas, los cuales son basados en su mayoría en fenómenos físicos, tales como el efecto Doppler, estudio de infrasonidos y estudio de vibraciones de tierra. Existen ya desarrollos en cuanto a métodos y equipos que son basados en estos principios, por lo que se debe buscar la forma de incentivar la investigación en cuanto a esta temática, tratando que las autoridades locales del departamento entiendan la importancia de contar con estos sistemas.

Para realizar estudios más profundos en cuanto a la comprensión de los tornados y educar a poblaciones vulnerables se sugiere la construcción de un simulador de tornados. Este equipo es bastante popular en el tema educativo, y para empezar en esta temática se puede iniciar con desarrollos como el sugerido por el Phd. Harald Edens, el cual con una serie de modificaciones, podría además de educar una comunidad, generar aportes que puedan ser estudiados a escala en cuanto a la generación de tornados. En el entorno de la FAC, esto podría establecer ciertas condiciones de viento y variables meteorológicas que podrían ser consideradas en el momento de realizar un sobrevuelo en determinada zona, con el fin de realizar estas maniobras de una manera segura y fiable, que no implique desperdiciar recursos y no genere imprevistos.

## RECOMENDACIONES

Dentro del contexto de la investigación se hace necesario que las autoridades locales tomen medidas en cuanto al apoyo para el estudio de estos fenómenos meteorológicos.

Se pueden iniciar estudios en cuanto a establecer condiciones meteorológicas que permitan estimar ciertas condiciones ambientales cuando se produce un tornado, para lo que se requiere de un sistema de información propio que pueda monitorear variables ambientales, tales como temperatura, humedad relativa y presión atmosférica.

En cuanto a la población es indudable que se requieren sistemas de alertas tempranas que permitan a la población poder prepararse ante la aparición de este fenómeno. Los radares meteorológicos son una alternativa para este caso, y en la actualidad existen desarrollos que podrían ser

adaptados a las condiciones de geográficas y ambientales del departamento del Atlántico.

## REFERENCIAS

### Referencias de publicaciones periódicas:

- [1] Santiago Lastra, J.A. Tendencias del cambio climático global y los eventos. Xhiami. Septiembre de 2008. Recuperado de: <http://www.uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-12articulosPDF/6-Dr%20Santiago%20UNICH.pdf>.
- [2] Gallus, W. A. A Translating Tornado Simulator For Engineering Tests: Comparison Of Radar, Numerical Model, And Simulator Winds. 7 de Octubre de 2004. Recuperado de [ams.confex.com/ams/pdfpapers/81394.pdf](http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/81394.pdf)
- [3] Myers, S. Country's first lab tornado whirls inside ISU simulator. 29 de Marzo de 2004. Recuperado de [http://www.iowastatedaily.com/news/article\\_3fef4edb-1f9f-5451-84f0-fd58f7a20465.html](http://www.iowastatedaily.com/news/article_3fef4edb-1f9f-5451-84f0-fd58f7a20465.html)
- [4] EDENS E., H. How to build a tornado machine. 1 de Febrero de 2001. Recuperado de: <http://www.weatherscapes.com/Techniques/Tornado/tornado.pdf>

### Reportes técnicos

- [5] FLICKR. Parker Tornado. Recuperado el 24 de agosto del 2008 de <http://www.flickr.com/photos/roper/2795365370/>
- [6] El Tiempo. Emergencia por lluvias en la costa. 18 de Mayo de 1993. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-128363>
- [7] Llanos Rodado, R. No tuve tiempo de nada. 02 de Junio de 2001. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-439749>.
- [8] Rcn Noticias. Tornado amenazó Barranquilla. 10 de Agosto de 2003. Recuperado de <http://www.rcnradio.com/noticias/locales/03-08-10/tornado-amenaz-barranquilla>
- [9] Quesada Fernández, E. Fuerte tornado que afectó a Barranquilla dejó 19 personas heridas. 16 de Septiembre de 2006, Recuperado de: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3245492>.
- [10] Alcaldía de Barranquilla. Distrito comenzó reparación por daños del tornado. Recuperado el 07 de Junio de 2007, de [http://www.barranquilla.gov.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1402%3ADISTRITO+COMENZO+REPARACION+POR+DAÑOS+DEL+TORNADO&catid=57%3Anoticias&Itemid=170&lang=es](http://www.barranquilla.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=1402%3ADISTRITO+COMENZO+REPARACION+POR+DAÑOS+DEL+TORNADO&catid=57%3Anoticias&Itemid=170&lang=es)
- [11] El Tiempo. 528 familias damnificadas dejó Tornado en Soledad (Atlántico). Recuperado el 23 de Mayo de 2008, de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4205211>
- [12] El Tiempo. Coletazo de un tornado alarmó a los habitantes de Soledad, Atlántico. Recuperado el 20 de Julio de 2010,



- de  
<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-7817842>
- [13] El Herald. Ayer, pánico en Soledad por nueva amenaza de tornado. Tomado el 12 de Agosto de 2010 de versión impresa de El Herald.
- [14] Caracol Radio. 600 damnificados deja tornado en el suroriente de Barranquilla. Recuperado el 17 de Julio de 2011 de <http://www.caracol.com.co/nota.aspx?id=1361875>
- [15] El Espectador. Tornado en Barranquilla. 25 de Octubre de 2010. Recuperado de: <http://www.elespectador.com/noticias/nacional/video-231389-tornado-barranquilla>
- [16] Radio Nacional de Colombia. Tornado genera múltiples destrozos en Piojón, Atlántico. 03 de mayo del 2011. Recuperado de [http://beta.radionacionaldecolombia.gov.co/index.php?option=com\\_topcontent&view=article&id=17612:tornado-genera-multiples-destrozos-en-piojo-atlantico&catid=1:noticias](http://beta.radionacionaldecolombia.gov.co/index.php?option=com_topcontent&view=article&id=17612:tornado-genera-multiples-destrozos-en-piojo-atlantico&catid=1:noticias)
- [17] NOAA. ILX - Central Illinois Doppler Radar – NOAA. 19 de Enero de 2007. Recuperado de <http://www.flickr.com/photos/yodudedan/363045232/>
- [18] NOAA. Nssl0308. 09 de Junio del 2009. Recuperado de <http://www.flickr.com/photos/noaaphotolib/5053923515/>
- [19] O'CONNOR. Tornado Detector. 31 de Enero de 2002. Recuperado de: <http://www.oconnerengineering.com/PDF/Tornado.pdf>
- [20] VITTON, S. Tornado Sensor May Become Reality. 1997. Recuperado de: <http://www.scienceblog.com/community/older/1997/A/199700711.html>
- [21] NOAA. Storm Prediction Center. 15 de Marzo de 2011. Recuperado de <http://www.spc.noaa.gov/>
- [22] FLICKR. SFO Tornado. 10 de Noviembre de 2008. Recuperado de: <http://www.flickr.com/photos/melissaclark/3019080101/Patentes>
- [23] Santos, Garza; Cleavelin, Cloves. Apparatus and method for detecting tornadoes. United State Patents. Agosto 1 del 2000. Recuperado de: [http://www.google.com/patents?id=Ex0EAAAEBAJ&pg=PA19&dq=Method+and+apparatus+for+sounds+tornado+detection&hl=en&ei=IN8kTuqJClyTswbP982yCQ&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=2&ved=0CCoQ6AEwAQ#v=onepage&q&f=false](http://www.google.com/patents?id=Ex0EAAAEBAJ&pg=PA19&dq=Method+and+apparatus+for+sounds+tornado+detection&hl=en&ei=IN8kTuqJClyTswbP982yCQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CCoQ6AEwAQ#v=onepage&q&f=false)
- [24] Tatom, Frank; Vitton, Stanley. Method and apparatus for seismic tornado detection. United State Patent. Septiembre 1 de 1998. Recuperado de: [http://www.google.com/patents?id=cIcbAAAEBAJ&printsec=abstract&source=gbs\\_overview\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://www.google.com/patents?id=cIcbAAAEBAJ&printsec=abstract&source=gbs_overview_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Consultas Blog
- [25] RAM. Infrasonidos naturales y fenómenos atmosféricos severos: los tornados silbadores. 23 de Junio de 2008. Recuperado de: <http://www.meteored.com/ram/2656/infrasonidos-naturales-y-fenmenos-atmosfricos-severos-los-tornados-silbadores/>
- [26] EL PAIS. Alerta de volcanes y tornados por infrasonido. 19 de Marzo de 2003. Recuperado de: [http://www.elpais.com/articulo/futuro/Alerta/volcanes/tornados/infrasonido/elpfutpor/20030319elpepifut\\_4/TesConsulta Tesis](http://www.elpais.com/articulo/futuro/Alerta/volcanes/tornados/infrasonido/elpfutpor/20030319elpepifut_4/TesConsulta Tesis)
- [27] MUÑOZ DIPARDI, Juan Carlos. Tesis de grado Introducción a los infrasonidos y su recepción. 2002. Universidad Austral de Chile. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2002/bmfcim971i/doc/bmfcim971i.pdf>